



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**CULTIVO DE MAÍZ ASOCIADO A LEGUMINOSAS
INOCULADAS Y NO INOCULADAS CON BACTERIAS
FIJADORAS DE NITRÓGENO**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
MODALIDAD: TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR-TRABAJOS
EXPERIMENTALES**

Requisito parcial para la obtención del título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

Autora: Katherine Patricia Munzon Maura

LA LIBERTAD, 2024



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**CULTIVO DE MAÍZ ASOCIADO A LEGUMINOSAS
INOCULADAS Y NO INOCULADAS CON BACTERIAS
FIJADORAS DE NITRÓGENO**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
MODALIDAD: TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR-TRABAJOS
EXPERIMENTALES**

Requisito parcial para la obtención del título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

Autora: Katherine Patricia Munzon Maura

Tutora: Ing. Nadia Rosaura Quevedo Pinos, Ph.D.

LA LIBERTAD, 2024

TRIBUNAL DE GRADO

Trabajo de Integración Curricular presentado por **KATHERINE PATRICIA MUNZON MAURA** como requisito parcial para la obtención del grado de Ingeniero/a Agropecuario de la Carrera de Agropecuaria.

Trabajo de Integración Curricular **APROBADO** el: 10 /12 / 24



Firmado electrónicamente por:
**JAVIER OSWALDO SOTO
VALENZUELA**

Ing. Verónica Andrade Yucailla, Ph.D
**DIRECTORA DE CARRERA
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

Blgo. Javier Soto Valenzuela, Ph.D
**PROFESOR ESPECIALISTA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:
**NADIA ROSAURA
QUEVEDO PINOS**

Ing. Nadia Quevedo Pinos, Ph.D.
**PROFESORA TUTORA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:
**NADIA ROSAURA
QUEVEDO PINOS**

Ing. Nadia Quevedo Pinos, Ph.D.
**PROFESORA GUÍA DE LA UIC
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:
**WASHINGTON VIDAL
PERERO VERA**

Ing. Washington Perero Vera, MSc
**ASISTENTE ADMINISTRATIVO
SECRETARIO**

AGRADECIMIENTOS

A las autoridades y personal académico de la Facultad de Ciencias Agrarias de la universidad Estatal Península de Santa Elena por impartir su conocimiento y hacer posible mi formación profesional.

A mi tutora de tesis Ing. Nadia Quevedo, por brindarme su apoyo y guiarme durante el proceso de este trabajo investigativo.

A mi familia, especialmente a mis padres y amigos por darme siempre apoyo moral y ayudarme durante este proceso de aprendizaje y de formación académica.

Katherine Munzon

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de titulación en primer lugar a Dios por brindarme salud y vida, y por permitirme lograr unos de mis objetivos propuestas.

En segundo a mi familia, especialmente a mis abuelitos, por su apoyo incondicional, su guía en cada etapa de mi vida y por haberme edificado como una mujer de bien. A mis amigos, por estar a mi lado y brindarme su apoyo constante durante el transcurso de mi formación profesional, y a todas las personas que contribuyeron incondicionalmente en el desarrollo y finalización de esta tesis.

Katherine Munzon

RESUMEN

El estudio se realizó en Manglaralto, en el Centro de Apoyo de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE) y tuvo como objetivo evaluar el efecto de la asociación entre el cultivo de maíz y leguminosas inoculadas y no inoculadas con bacterias fijadoras de nitrógeno en los parámetros morfológicos y el rendimiento del maíz. Se empleó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), con siete tratamientos y tres repeticiones, que incluyeron: 1. Maíz en monocultivo; 2. Maíz asociado a soya sin inocular; 3. Maíz asociado a soya inoculada con BFN. Se aplicaron tres dosis de nitrógeno (100, 75 y 50 % de la dosis recomendada). Se evaluaron variables morfológicas, como altura, diámetro del tallo, número de hojas, además de variables productivas como longitud, diámetro, peso de mazorca y el rendimiento (T/ha). También se midieron características específicas del desarrollo y nodulación de la soya. Los resultados indicaron variaciones estadísticamente significativas entre tratamientos, el maíz en asociación con soya mostró una tendencia positiva en las variables morfológicas de altura, número de hojas y diámetro del maíz. En cuanto al rendimiento de grano se observó un valor ligeramente más alto en el monocultivo de maíz que alcanzó un rendimiento de 6.65 T/ha, mientras que el cultivo asociado a soya inoculada con 75% de fertilización nitrogenada obtuvo 6.09 T/ha. Estas diferencias no fueron estadísticamente significables lo que indica la asociación con soya, bajo las condiciones edafoclimáticas de Manglaralto, no tuvo ningún efecto en el rendimiento del maíz.

Palabras claves: Agricultura sostenible, *Rizhobium*, soya

ABSTRACT

The study was conducted in Manglaralto, at the Santa Elena Peninsula State University Support Center (UPSE) and its objective was to evaluate the effect of the association between corn and legumes inoculated and non-inoculated with nitrogen-fixing bacteria on nitrogen availability and corn yield. A completely randomized block design (CRBD) was used, with seven treatments and three replications, which included: 1. Corn in monoculture (T1); 2. Corn associated with uninoculated-uninoculated-uninoculated-uninoculated-uninoculated-uninoculated-uninoculated soybean; 3. Three doses of nitrogen were applied (100, 75 and 50 % of the recommended dose). Morphological variables were evaluated, such as height, stem diameter, number of leaves, as well as productive variables such as length, diameter, ear weight and yield (T/ha). Specific characteristics of soybean development and nodulation were also measured. The results indicated statistically significant variations among treatments; corn in association with soybeans showed a positive trend in the morphological variables of height, number of leaves and diameter of the corn. As for grain yield, a slightly higher value was observed in the corn monoculture, which reached a yield of 6.65 T/ha, while the crop associated with soybeans inoculated with 75% nitrogen fertilization obtained 6.09 T/ha. These differences were not statistically significant, indicating that the association with soybean, under the edaphoclimatic conditions of Manglaralto, had no effect on corn yield.

Key words: Sustainable agricultura, Rizhobium, soybean

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

El presente Trabajo de Integración Curricular titulado “**CULTIVO DE MAIZ ASOCIADA A LEGUMINOSAS INOCULADAS Y NO INOCULADAS CON BACTERIAS FIJADORAS DE NITRÓGENO**” y elaborado por **Katherine Patricia Munzon Maura**, declara que la concepción, análisis y resultados son originales y aportan a la actividad científica educativa agropecuaria.

Transferencia de derechos autorales.

"El contenido del presente Trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena".

 Firmado electrónicamente por:
**KATHERINE
PATRICIA MUNZON
MAURA**

Firma del estudiante

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
Problema Científico.....	3
Justificación.....	3
Objetivos.....	4
Objetivo General	4
Objetivos Específicos	4
Hipótesis	4
CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
1.1 Simbiosis entre leguminosas y Bacterias Fijadoras de Nitrógeno (BFN) ...	5
1.1.1 Características de las leguminosas y su capacidad de fijación de nitrógeno ..	5
1.1.2 Papel de las bacterias fijadoras de nitrógeno en la nodulación de las raíces ..	6
1.1.3 Factores que afectan a la fijación de Nitrógeno.....	7
1.1.4 Mecanismos de acción de las BFN en la disponibilidad de nitrógeno para las plantas	8
1.2 Importancia del nitrógeno en el cultivo de maíz (<i>Zea mays L.</i>).....	9
1.2.1 Funciones del nitrógeno en el desarrollo vegetal del maíz	9
1.2.2 Influencia del nitrógeno en el desarrollo vegetal del maíz	10
1.2.3 Limitaciones del suministro de nitrógeno en suelos agrícolas.....	10
1.3 Interacción entre Leguminosas Inoculadas y No Inoculadas con BFN y el Maíz	11
1.4 Métodos de Inoculación con Bacterias Fijadoras de Nitrógeno en Leguminosas.....	12
1.4.1 Procedimientos y tipos de inoculantes	13
1.4.2 Factores que afectan la eficacia de la inoculación	15
1.4.3 Consideraciones prácticas para la aplicación en campo	16
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
2.1 Caracterización del área	17
2.2 Materiales, equipos y reactivos	17
2.2.1 Material biológico.....	17
2.2.2 Material de campo para colecta de muestras	18
2.2.3 Equipos de laboratorio	18
2.2.4 Insumos.....	18
2.3 Tipo de investigación	18
2.4 Diseño de investigación	19
2.4.1 Diseño experimental	19
2.5 Manejo del experimento.....	21
2.5.1 Preparación del terreno	21
2.5.2 Inoculación de semillas de soya.....	21
2.5.3 Siembra.....	21
2.5.4 Plan de fertilización	21
2.5.5 Manejo fitosanitario	21
2.5.6 Frecuencia de riego	22
2.6 Parámetros evaluados	22
2.6.1 Morfológicos.....	22
2.6.2 Productivos	23
2.7 Análisis estadístico de los resultados.....	24
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
3.1 Efectos en los parámetros morfológicos evaluados en la planta de maíz ..	25
3.1.1 Altura de la planta.....	25

3.1.2	Diámetro del tallo	25
3.1.3	Número de hojas/planta	26
3.2	Efectos en los parámetros productivos del maíz.....	27
3.2.1	Altura de la inserción de la mazorca.....	27
3.2.2	Longitud de la mazorca	28
3.2.3	Diámetro de la mazorca	29
3.2.4	Peso de la mazorca.....	29
3.2.5	Numero de granos por mazorca	30
3.2.6	Rendimiento.....	31
3.3	Efectos en los parámetros morfológicos de la soya.....	32
3.3.1	Altura de la planta.....	32
3.3.2	Diámetro del tallo	32
3.3.3	Numero de hojas/planta	33
3.3.4	Peso fresco de la raíz.....	34
3.3.5	Peso seco de la raíz	35
3.3.6	Nodulación.....	36
3.4	Efectos en los parámetros productivos de la soya.....	36
3.4.1	Numero de vainas por planta	36
3.4.2	Peso fresco de las vainas.....	37
3.4.3	Peso seco de las vainas	38
3.4.4	Masa fresca	38
3.4.5	Masa seca.....	39
3.1	DISCUSIÓN.....	40
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
	Conclusiones.....	43
	Recomendaciones.....	43
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
	ANEXOS	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de los tratamientos de experimento	19
Tabla 2. Grados de libertad del experimento	19
Tabla 3. Delineamiento experimental.....	19
Tabla 4. Plan de fertilización.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Toma satelital del centro de apoyo Manglaralto (Google Maps, 2024).....	17
Figura 2. Diseño de bloques experimentales con su distribución de tratamientos	20
Figura 3. Valores promedios de la altura de la planta de maíz en los diferentes tratamientos a los 30,45,60 y 75 días después de la siembra. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p>0.05$)	25
Figura 4. Valores promedios del diámetro del tallo de planta de maíz en los diferentes tratamientos a los 30, 45, 60 y 75 días después de la siembra. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p>0.05$)	26
Figura 5. Valores promedios del número de hojas/planta en los diferentes tratamientos a los 30, 45, 60 y 75 días después de la siembra. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p>0.05$)	27
Figura 6. Valores promedios de la inserción de la mazorca en los diferentes tratamientos al momento de la cosecha. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p>0.05$).....	28
Figura 7. Valores promedios de la longitud de la mazorca en los diferentes tratamientos al momento de la cosecha. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p>0.05$).....	28
Figura 8. Valores promedios del diámetro de la mazorca en los diferentes tratamientos al momento de la cosecha. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p>0.05$)	29
Figura 9. Valores promedios del peso de la mazorca en los diferentes tratamientos al momento de la cosecha. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p>0.05$).....	30
Figura 10. Valores promedios del número de granos por mazorca en los diferentes tratamientos al momento de la cosecha. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p>0.05$).....	31
Figura 11. Rendimiento en toneladas por hectárea del maíz de los diferentes tratamientos. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p>0.05$)	31
Figura 12. Valores promedios de la altura de planta de soya en los diferentes tratamientos a los 30,45,60,75 y 90días después de la siembra. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p>0.05$)	32
Figura 13. Valores promedios del diámetro del tallo de soya en los diferentes tratamientos a los 30,45,60,75 y 90días después de la siembra. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p>0.05$)	33
Figura 14. Valores promedios del número de hojas por planta de soya en los diferentes tratamientos a los 30,45,60,75 y 90días después de la siembra. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p>0.05$)	34
Figura 15. Valores promedios del peso fresco de la raíz de soya en los diferentes tratamientos a los 90 y 115 DDS. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p>0.05$).....	35
Figura 16. Valores promedios del peso seco de la raíz de soya en los diferentes tratamientos a los 90 y 115 días después de la siembra. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p>0.05$).....	35
Figura 17. Valores promedios del número de nódulos en los diferentes tratamientos a los 90 y 115 días después de la siembra. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p>0.05$).....	36

Figura 18. Valores promedios del número de vainas en los diferentes tratamientos a los 90 y 115 días después de la siembra. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p>0.05$).....37

Figura 19. Valores promedios del peso fresco de vainas en los diferentes tratamientos a los 90 y 115 días después de la siembra. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p>0.05$).....37

Figura 20. Valores promedios del peso seco de vainas en los diferentes tratamientos a los 90 y 115 días después de la siembra. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p>0.05$).....38

Figura 21. Valores promedios de la masa fresca en los diferentes tratamientos a los 90 y 115 días después de la siembra. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p>0.05$).....39

Figura 22. Valores promedios de la masa seca en los diferentes tratamientos a los 90 y 115 días después de la siembra. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p>0.05$).....39

ÍNDICE DE ANEXOS

Figura 1A. Análisis de varianza de la altura de la planta a los 30, 45, 60 y 75 días después de la siembra (DDS).

Figura 2A. Análisis de varianza del diámetro del tallo a los 30, 45, 60 y 75 días después de la siembra (DDS).

Figura 3A. Análisis de varianza del número de hojas por planta a los 30, 45, 60 y 75 días después de la siembra (DDS).

Figura 4A. Análisis de varianza de la inserción, longitud, diámetro y peso de la mazorca; rendimiento del grano y numero de granos por mazorca.

Figura 5A. Análisis de varianza de la altura de la planta de soya a los 30, 45, 60, 75 y 90 días después de la siembra (DDS).

Figura 6A. Análisis de varianza del numero de vainas por planta; numero de nódulos; masa fresca; peso fresco de la raíz; peso fresco de vaina y masa seca a los 90 DDS.

Figura 7A. Análisis de varianza del peso seco de la raíz y peso seco de vainas de la soya a los 90 DDS.

Figura 8A. Análisis de varianza del número de vainas por planta y número de nódulos a los 115 días después de la siembra (DDS).

Figura 9A. Análisis de varianza de la masa fresca; peso fresco de la raíz; peso fresco de vainas y masa seca a los 115 días después de la siembra (DDS).

Figura 10A. Análisis de varianza del peso seco de la raíz y vainas de soya a los 115 días después de la siembra (DDS).

Figura 11A. Análisis de varianza del diámetro del tallo de soya a los 30, 45, 60 y 75 días después de la siembra (DDS).

Figura 12A. Análisis de varianza del diámetro del tallo de soya a los 90 días después de la siembra (DDS).

Figura 13A. A) Toma de datos de cultivo de maíz a los 30 días; B) Aplicación de insecticida; C) Cultivo de maíz asociado a soya.

Figura 14A. A) Toma de datos del cultivo de soya; B) Pesado de muestras; C) Secado de muestras de plantas de soya.

Figura 15A. A) Cosecha de maíz; B) Inoculante comercial utilizado; C) Nódulos encontrados en las raíces de soya.

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays*) es uno de los cereales más importantes a nivel mundial, destacado por su gran versatilidad. Su relevancia no se limita únicamente al volumen de producción, ni a su rol en la alimentación humana y animal, sino que también desempeña un papel clave como materia prima en diversas industrias (Ranum *et al.*, 2014).

No obstante, su cultivo enfrenta importantes desafíos relacionados con la fertilidad del suelo, especialmente en lo que respecta al nitrógeno, un nutriente esencial para el crecimiento, la producción y la calidad de las plantas, siendo además el nutriente que con mayor frecuencia limita su desarrollo. Desarrollar prácticas efectivas de fertilización, como el uso de residuos orgánicos, estiércol, rotación de cultivos o el cultivo conjunto con leguminosas, es esencial para evitar el agotamiento del suelo y mitigar los impactos en el crecimiento, el rendimiento y el valor nutricional del maíz (Tanumihardjo *et al.*, 2020).

Las leguminosas juegan un papel fundamental en los sistemas agrícolas debido a su capacidad de fijar nitrógeno atmosférico, lo que mejora la fertilidad del suelo y reduce la dependencia de insumos externos. El nitrógeno fijado se acumula en el suelo y puede ser aprovechado por los cultivos siguientes, ya sea en rotación o sistemas intercalados. Además, las leguminosas no solo mejoran la disponibilidad de nitrógeno, sino también de fósforo, lo que contribuye a incrementar la productividad de los cereales asociados (Kinama y Pierre, 2018).

Una práctica agronómica común para garantizar la disponibilidad adecuada de nitrógeno en el cultivo de leguminosas es el uso de inóculos rizobianos. La inoculación con la cepa adecuada de rizobio es crucial, especialmente en suelos donde no se han cultivado leguminosas en los últimos cinco años. Esta técnica optimiza la fijación biológica del nitrógeno (FBN), incrementando la fertilidad del suelo y los rendimientos de los cultivos. Al asegurar la presencia de rizobios adecuados en el momento y cantidad necesarios, se facilita una infección rápida y eficiente, promoviendo un mayor crecimiento, absorción de nutrientes y rendimiento. Además, el uso de inóculos ha facilitado la incorporación exitosa de leguminosas en nuevos sistemas agrícolas donde los rizobios compatibles estaban ausentes o eran deficientes en los suelos (Kebede, 2021).

En varios estudios se ha documentado que la asociación de maíz con leguminosas mejora significativamente su rendimiento. Khan et al. (2018), reportaron que algunos atributos de rendimiento del maíz se vieron significativamente influenciados por el sistema de cultivo asociado, logrando un aumento del rendimiento de maíz entre 1,83 a 5,12 % en comparación con el monocultivo. De manera similar, Kheroar y Patra (2013) observaron mejoras en los componentes del rendimiento del maíz y un incremento en el rendimiento del grano al asociarlo con distintas leguminosas.

Kushwaha y Chandel (1997) encontraron que la asociación de maíz y soja, con la aplicación de 100 kg N/ha mejoro significativamente varios parámetros de rendimiento del maíz y alcanzo el máximo rendimiento de grano. Al incrementar la dosis no encontraron beneficios adicionales.

En la actualidad, la producción agropecuaria se sustenta en un modelo que simplifica los agroecosistemas con monocultivos; a pesar de que la biodiversidad es necesaria para la seguridad alimentaria de la población.

La consolidación de este enfoque reduccionista y altamente dependiente de insumos químicos ha contribuido al deterioro del suelo, contaminación del agua e incluso a la salud humana. Para superar estos problemas, es necesario transitar hacia un modelo de agricultura más sostenible, que priorice el uso eficiente de los recursos naturales, la calidad de vida de las actuales y futuras generaciones y la articulación con las condiciones y culturas locales (Tamayo Ortiz y Alegre Orihuela, 2022).

Con base en lo mencionado, el estudio evalúa el efecto de la asociación entre el cultivo de maíz y leguminosas inoculadas y no inoculadas con bacterias fijadoras de nitrógeno en los parámetros morfológicos y el rendimiento del maíz. Se espera que este estudio contribuya a mejorar el conocimiento sobre esta asociación y proporcione información relevante para los agricultores locales, fomentando prácticas agrícolas más sostenibles y rentables.

Problema Científico

¿Cómo afecta la asociación entre el cultivo de maíz (*Zea mays L.*) y leguminosas inoculadas y no inoculadas con bacterias fijadoras de nitrógeno en los parámetros morfológicos y el rendimiento del maíz en las condiciones edafoclimáticas de Manglaralto?

Justificación

La agricultura en la provincia es una de las actividades más relevantes, especialmente para las comunidades rurales. Siendo el maíz uno de los principales cultivos, pues desempeña un rol fundamental en la seguridad alimentaria y en la generación de ingresos para los pequeños y medianos agricultores. No obstante, la siembra tradicional del mismo ha empezado a generar problemas como la degradación del suelo, pérdida de la biodiversidad, uso excesivo de fertilizantes sintéticos, etc. lo que ha dificultado su producción.

En este contexto es crucial desarrollar prácticas agrícolas más sostenibles y eficientes. La asociación entre el cultivo de maíz y leguminosas tanto inoculadas como no inoculadas con bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) representa una alternativa prometedora para incrementar la productividad, mejorar la calidad del suelo y reducir la dependencia de fertilizantes químicos.

Evaluar el efecto de la inoculación en esta asociación permitirá identificar si la simbiosis con BFN incrementa la disponibilidad de nitrógeno en el suelo y, por lo tanto, si aumenta la productividad del maíz. Este conocimiento contribuirá no solo a mejorar las prácticas agrícolas, sino que también impulsará al desarrollo sistemas de producción más sostenibles y el uso eficiente de los recursos naturales.

Además, que permitirá generar conocimiento científico sobre la interacción entre maíz y leguminosas, y sobre el papel de las BFN en la fijación biológica del nitrógeno en condiciones locales. Esta información será de gran utilidad para los agricultores de la región.

Objetivos

Objetivo General:

Evaluar el efecto de la asociación entre el cultivo de maíz y leguminosas inoculadas y no inoculadas con bacterias fijadoras de nitrógeno en los parámetros morfológicos y el rendimiento del maíz.

Objetivos Específicos:

1. Determinar los efectos de la asociación con leguminosas inoculadas y no inoculadas en el crecimiento, desarrollo y rendimiento del maíz.
2. Evaluar el crecimiento y desarrollo del cultivo de soya inoculada y no inoculada.
3. Evaluar la nodulación en las raíces de leguminosas inoculadas con *Rizhobium* y no inoculadas en asociación con el cultivo de maíz.

Hipótesis

La asociación entre el cultivo de maíz y leguminosas inoculadas con bacterias fijadoras de nitrógeno resultará en una mayor nodulación y fijación de nitrógeno en comparación con las leguminosas no inoculadas. Además, se espera que esta asociación incremente la disponibilidad de nitrógeno en el suelo, mejorando así el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cultivo de maíz en las condiciones edafoclimáticas de Manglaralto.

CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Simbiosis entre leguminosas y Bacterias Fijadoras de Nitrógeno (BFN)

Dentro de las bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno encontramos dos grupos de organismos. Al primer grupo pertenecen bacterias móviles del suelo (Rizobios) como *Rhizobium* (nodulan en raíces de leguminosas de climas templados y subtropicales), *Azorhizobium* (nódulos en tallos y raíces) y *Bradyrhizobium* (nodula raíces de soja). El segundo grupo está formado por Actinomicetos (bacterias Gram positivas) como *Frankia*, que nodulan raíces de muchos árboles y arbustos siendo de gran importancia para plantas leñosas perennes, porque aporta nitrógeno al suelo en zonas pobres o repobladas (García, 2011).

Kopp y Peticari (2016) destacan que la asociación *Rhizobium*-leguminosa es uno de los mejores ejemplos de una auténtica simbiosis mutualista, pues las plantas que crecen en suelos carentes de nitrógeno (o con niveles muy reducidos), se ven beneficiadas por la fijación biológica realizada por las bacterias, a cambio las plantas les brindan un ambiente que las protege y nutre dentro del nódulo y alrededor del mismo, en la rizosfera. En el caso de los rizobios, el nitrógeno atmosférico es fijado dentro de estructuras especializadas llamadas nódulos, que se desarrollan en la raíz o raramente en el tallo de las leguminosas.

1.1.1 Características de las leguminosas y su capacidad de fijación de nitrógeno

Las leguminosas, pertenecientes a la familia de las Fabaceae, constituyen la tercera familia de plantas más grande y diversa, con casi 20.000 especies y 750 géneros que incluyen árboles, arbustos y herbáceas que a veces son trepadoras. Económicamente, ocupan el segundo lugar entre las plantas cultivadas de mayor importancia, después de la familia de las gramíneas. Su valor nutricional, especialmente en sus semillas las convierte en un alimento básico en muchas dietas. Una característica destacada de las leguminosas es que alberga en sus raíces bacterias fijadoras del nitrógeno atmosférico, lo que les permite obtener el nitrógeno necesario para su desarrollo, sin requerir fertilizantes y al mismo tiempo se utilizan como cultivos alternantes, permitiendo que las tierras de cultivo se mantengan fertilizadas de forma natural (Llamas y Acedo, 2018).

El nitrógeno (N) es un elemento básico para la vida de todos los seres vivos, se encuentra formando parte de moléculas tan esenciales como las proteínas y los ácidos

nucleicos. Aunque es el gas más abundante en la atmósfera, no está disponible directamente para la mayoría de los seres vivos. Para que el nitrógeno atmosférico pueda ser utilizado por los organismos, es necesario un proceso denominado fijación del nitrógeno, llevado a cabo por bacterias especializadas que poseen la enzima nitrogenasa, en el cual el nitrógeno gaseoso (N_2) es reducido hasta amonio, una forma combinada del nitrógeno asimilable por otros seres vivos. Dado que solo un pequeño grupo de seres vivos es capaz de realizar este proceso de fijación de nitrógeno, este elemento suele ser el principal factor limitante para el desarrollo de los vegetales (León Barrios, 2012).

1.1.2 Papel de las bacterias fijadoras de nitrógeno en la nodulación de las raíces

Andrews y Andrews (2017) mencionan que los rizobios entran en las raíces de la mayoría de las especies de leguminosas a través de la infección de los pelos radicales. En este proceso las bacterias entran en los pelos radicales, y el material de la pared celular del huésped crece alrededor de la "infección" en desarrollo, formando un hilo de infección, que crece a través de la corteza de la raíz, ramificándose repetidamente. Finalmente, los rizobios se liberan de las puntas de estos hilos de infección y se establecen estructuras unidas a la membrana dentro de las células huésped, conocidas como simbiosis donde se diferencian en su forma fijadora de N_2 conocida como bacteroides.

Dupont et al. (2012) señalan que la interacción simbiótica comienza con el proceso de infección, que se inicia por un intercambio recíproco de señales entre la planta y las bacterias compatibles. Las plantas secretan compuestos aromáticos, principalmente flavonoides, en la rizosfera y activan las proteínas bacterianas NodD que son miembros de la familia LysR de activadores transcripcionales, que a su vez inducen la expresión de los genes nod. Esto da como resultado la secreción por parte de las bacterias de moléculas de oligosacáridos de lipoquitina llamadas factores Nod, que son reconocidos por las células epidérmicas a través de quinasas receptoras específicas que contienen dominios LysM extracelulares. El espectro de flavonoides exudados por una legumbre, así como las estructuras químicas específicas de la cepa de los factores Nod, son determinantes primarios de la especificidad del huésped.

Los factores Nod desencadenan una serie de respuestas a nivel celular, entre ellas, cambios en el citoesqueleto de los pelos radicales como consecuencia de un flujo de calcio (*calcium spiking*). De esta forma actúan remodelando la epidermis de la planta

huésped y hacen que los pelos radicales se deformen y doblen para atrapar a las bacterias dentro de ese bucle. Los rizobios atrapados se dividen y forman colonias que producen focos potenciales de infección. A partir de ahí se comienzan a formar los hilos de infección que se alargan, ramifican y penetran en el interior del nódulo emergente. La función de estas estructuras es guiar a las bacterias a través del pelo radical, atravesando de esta forma la corteza de la raíz. Dentro del nódulo, los rizobios quedan separados del citoplasma por una membrana derivada de la planta hospedadora, llamada membrana peribacteroidal. Luego comienzan a dividirse de manera sincronizada y sufren profundas alteraciones morfológicas, diferenciándose en bacteroides, los cuales poseen características importantes, entre las que se destaca la expresión de la actividad nitrogenasa y de ciertos citocromos que no están presentes en las bacterias de vida libre (Bianco, 2020).

1.1.3 Factores que afectan a la fijación de Nitrógeno

Mohammadi et al. (2012) mencionan que entre los factores que influyen significativamente en el crecimiento, la supervivencia y la actividad metabólica de las bacterias fijadoras de nitrógeno se encuentran:

- **Salinidad:** Disminuye la permeabilidad de los nódulos, lo que se asocia con una contracción de las células de la corteza interna del nódulo y un aumento del contenido de ácido abscísico del nódulo. Esto puede inhibir la actividad de la nitrogenasa y de la respiración del nódulo.

- **Contenido de agua en el suelo y estrés:** El agua del suelo está relacionada con el espacio poroso del suelo, ya que los suelos con espacios porosos más grandes retienen menos agua. Mientras que los agregados del suelo que tienen espacios porosos internos más pequeños son entornos más favorables para el crecimiento de rizobios y la mayoría de los microbios del suelo. El contenido de agua del suelo también influye directamente en el crecimiento de los microorganismos de la rizosfera, como los rizobios, al disminuir la actividad del agua por debajo de los límites críticos de tolerancia e indirectamente al alterar el crecimiento de las plantas, la arquitectura de las raíces y las exudaciones. Los rizobios han desarrollado una variedad de mecanismos para adaptarse al estrés osmótico, principalmente mediante la acumulación intracelular de solutos inorgánicos y orgánicos.

Sin embargo, la mala nodulación de las legumbres en suelos áridos probablemente se deba a la disminución de los niveles de población de rizobios durante la estación seca.

- **Nutrientes del suelo:** El estado de los nutrientes del suelo tiene un impacto significativo en la fijación de nitrógeno en las leguminosas. La deficiencia de nutrientes

como el calcio, el fósforo y el nitrógeno pueden afectar a la nodulación y la fijación de nitrógeno. Por otro lado, la aplicación de fertilizantes nitrogenados o el exceso de nitrógeno pueden disminuir la fijación de nitrógeno. La suplementación del suelo y de los inóculos con glutamato, glicerol y materia orgánica mejora la supervivencia y la cantidad de rizobios en los suelos y aumenta tanto la nodulación temprana como la fijación de N_2 .

- **Estrés por pH del suelo:** El pH bajo del suelo tiene un impacto significativo en la simbiosis entre leguminosa y rizobios, afectando tanto el crecimiento de la planta como el proceso de nodulación y fijación de nitrógeno. Además de los efectos directos de los factores de acidez del suelo en las plantas, el crecimiento de las legumbres puede reducirse indirectamente a través de la depresión de la nodulación y la fijación de nitrógeno. Los rizobios pueden tener diferentes tolerancias a los factores de acidez del suelo que la planta hospedante. La acidez del suelo también puede interferir en el intercambio de señales entre plantas y bacterias, reduciendo la formación y función de los nódulos. Por otra parte, las leguminosas noduladas parecen ser más sensibles a la toxicidad de los metales por Mn y Al en comparación con las plantas que no nodulan.

- **Temperatura del suelo:** La temperatura de suelo tiene un impacto significativo en la supervivencia y persistencia de las cepas de rizobios en los suelos, y su influencia depende tanto de la cepa como del suelo. También influye en gran medida en la competencia entre diferentes cepas bacterianas. La temperatura de la raíz también juega un papel importante en la infección, la capacidad de fijación de N_2 y el crecimiento de las legumbres, y tiene una fuerte influencia en las interacciones específicas entre cepas y cultivares. De hecho, cada combinación de leguminosas y *Rhizobium* tiene una temperatura óptima para una interacción exitosa.

1.1.4 Mecanismos de acción de las BFN en la disponibilidad de nitrógeno para las plantas

Nadal Moyano et al. (2008) indican que una vez que ocurre el proceso de infección, los bacteroides son los responsables de la fijación del nitrógeno atmosférico en los nódulos de las raíces. En este proceso, el nitrógeno molecular se transforma en amoníaco, que posteriormente se convierte en glutamina y glutamato mediante las enzimas glutamina sintetasa y glutamato sintetasa. El elemento clave en este proceso es el complejo enzimático nitrogenasa presente en todos los organismos que fijan nitrógeno- Esta enzima está formada por dos componentes: nitrogenasa (componente I) que consta de cuatro subunidades proteicas que contienen molibdeno, hierro y azufre; y nitrogenasa-reductasa (componente

II) una proteína muy sensible al oxígeno, compuesta por dos subunidades que también contienen hierro y azufre.

Para preservar el ambiente anaerobio en el nódulo, se produce leghemoglobina, una proteína encargada de captar el oxígeno y es la responsable del característico color rojizo que se observa al cortar un nódulo, lo que indica una nodulación efectiva. Este proceso de fijación es altamente demandante de energía que proviene de la fotosíntesis (Bécquer, 2009).

1.2 Importancia del nitrógeno en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*)

En el cultivo de maíz, el nitrógeno es el nutriente más esencial y requerido en mayor cantidad, su importancia radica en su papel fundamental en procesos químicos y físicos de la planta, en la fotosíntesis, crecimiento, desarrollo, maduración del grano, reducción de la susceptibilidad a plagas y enfermedades, entre otros. Así, como este nutriente es crucial para el metabolismo de las plantas, al estar ligado a la síntesis de fotoasimilados y otras sustancias esenciales, afecta al número de granos por espiga, diámetro, altura, número de hojas (área foliar), crecimiento, productividad y masa de mil granos (Shimada *et al.*, 2021).

1.2.1 Funciones del nitrógeno en el desarrollo vegetal del maíz

Fageria (2014) señala que las funciones del nitrógeno en las plantas son amplias y variadas. Actúa como un componente esencial de enzimas, clorofila, ácidos nucleicos, proteínas de almacenamiento, paredes celulares y entre otros componentes celulares. Además, es indispensable en la estructura y función de aminoácidos, amidas, nucleótidos, ácidos nucleicos, pigmentos y algunas hormonas. Su presencia en la molécula de clorofila es crucial, ya que su deficiencia provoca una condición clorótica de la planta. Así mismo, el nitrógeno es un elemento estructural de las paredes celulares y participa activamente en la síntesis de sacarosa, proceso crucial para el suministro de energía para el crecimiento de la planta y el mantenimiento celular. Por lo tanto, una deficiencia de nitrógeno en las plantas impacta profundamente en el crecimiento, desarrollo y en última instancia en el rendimiento.

En un estudio realizado sobre el efecto de la tasa de nitrógeno y la fuente de N sobre la reflectancia del dosel, los pigmentos de clorofila, la fotosíntesis, el rendimiento, la calidad del grano y la eficiencia del uso de N en el maíz demostró que una tasa óptima de N puede maximizar el rendimiento y la calidad del grano sin comprometer demasiado la eficiencia de uso de N. La aplicación de la dosis correcta de nitrógeno aumentó la biomasa del rastrojo, el rendimiento de grano y la calidad del grano (humedad, densidad y tamaño del grano). Además, se observó un aumento en el contenido de clorofila foliar, la reflectancia del dosel

y la tasa fotosintética. Sin embargo, al aplicar cantidades excesivas de nitrógeno no siempre se tradujo en mayores rendimientos y, en algunos casos, incluso disminuyó la eficiencia con la que la planta utilizaba este nutriente. Así mismo el tipo de fertilizante nitrogenado empleado influyó en el crecimiento y rendimiento del maíz.

Los resultados sugieren que una tasa óptima de N para maximizar el rendimiento y la calidad del grano sin comprometer demasiado la eficiencia de uso de N está alrededor de 150 kg N ha⁻¹ (Biswas y Ma, 2016).

Además, otros estudios mostraron que la altura de la planta, la longitud de la mazorca, el peso de la mazorca, el rendimiento del grano y el número de granos/mazorca se ven afectados significativamente por las tasas y el momento de aplicación de N (Gul *et al.*, 2021).

1.2.2 Influencia del nitrógeno en el desarrollo vegetal del maíz

La deficiencia de nitrógeno (N) afecta negativamente el crecimiento, el desarrollo, el rendimiento y la calidad del maíz. En condiciones de baja disponibilidad de N, la tasa de crecimiento del cultivo se reduce debido a una menor intercepción de la incidencia de radiación y una disminución en la eficiencia de conversión. La disminución en la eficiencia de intercepción se debe a una menor área foliar y a una reducción en su duración. Esta menor área foliar es consecuencia del tamaño reducido de las hojas, no del número de hojas diferenciadas, mientras que la baja eficiencia de conversión debe a una menor tasa fotosintética, provocada por el bajo contenido de nitrógeno en la hoja (Simón *et al.*, 2018).

Los mismos autores mencionan que el estrés de nitrógeno provoca retrasos en la fenología del maíz y reducen el rendimiento en grano, afectando tanto el número como el peso de los granos.

Además, la deficiencia de nitrógeno en las plantas de maíz provoca clorosis en las hojas caracterizado por manchas en forma de “V”, que se extiende desde el ápice hacia el nervio central, debido a la disminución en el contenido de clorofila. Esta deficiencia también provoca la formación de mazorcas pequeñas y con granos incompletos en su extremo (Mateo Box, 2008).

1.2.3 Limitaciones del suministro de nitrógeno en suelos agrícolas

Mahmud *et al.* (2021) destacan que el nitrógeno es uno de los macronutrientes más susceptibles a las pérdidas ambientales en los suelos agrícolas, lo que representa una

limitación significativa para la producción de cultivos. Entre las principales formas de pérdida se encuentran:

Volatilización del amoníaco: Es una de las principales causas de pérdida de N en la agricultura, afectadas por diferentes condiciones del suelo como el pH, la temperatura, y la humedad. Los suelos alcalinos son más propensos a perder cantidades significativas de amoníaco, sin embargo, el suelo neutro o ácido también pueden sufrir pérdidas, especialmente después de la aplicación de fertilizantes inorgánicos como la urea o enmiendas orgánicas. La volatilización aumenta cuando la urea se descompone, elevando el pH local y transformando el amonio en amoníaco gaseoso. Estas pérdidas contribuyen a problemas ambientales como lluvia ácida, la eutrofización de los cuerpos de agua superficiales y la contaminación atmosférica. Además, tienen implicaciones económicas que son particularmente amenazantes para los países en desarrollo.

Emisiones de óxido nitroso y óxidos de nitrógeno: ocurren principalmente durante los procesos de nitrificación (condición aeróbica) y desnitrificación (condición anaeróbica) donde se pierde nitrógeno. El óxido nitroso (N₂O) se considera uno de los gases de efecto invernadero más peligrosos debido a su larga vida atmosférica, se genera como subproducto de ambos procesos. Estas pérdidas de nitrógeno en forma gaseosa no solo limitan su disponibilidad para las plantas, sino que también tienen un impacto ambiental significativo, al contribuir al cambio climático y a la destrucción de la capa de ozono.

Lixiviación de nitratos: es un proceso en el que el nitrato, una forma preferida de nitrógeno para las plantas, se pierde del suelo debido a su alta movilidad. Debido a su naturaleza aniónica, el nitrato se mueve fácilmente en suelos bien drenados, siendo el primer nutriente que se elimina del perfil del suelo, especialmente con lluvias abundantes o riego. Factores como las temperaturas más frías, la estructura y textura del suelo, influyen en este proceso, siendo mayor en suelos arenosos. Además, el movimiento de la macrofauna del suelo y el crecimiento de las raíces de las plantas a menudo permiten un rápido movimiento de nitrato en el suelo. Esto provoca una degradación de la calidad del agua subterránea y superficial, contribuyendo a la eutrofización y proliferación de algas.

1.3 Interacción entre Leguminosas Inoculadas y No Inoculadas con BFN y el Maíz

Según estudios realizados en sistemas de cultivo asociado de maíz/legumbres complementadas con rizobios, se ha demostrado que *Rhizobium* y los sistemas de cultivos

intercalados aumentan el rendimiento general de granos de maíz y leguminosas intercaladas. Los altos rendimientos de grano que se obtuvieron en las parcelas tratadas con *Rhizobium* sugieren que la tecnología de biofertilizantes es un proveedor eficiente de N en las leguminosas analizadas. Además, los hallazgos del estudio informan que la inoculación con rizobios de leguminosas afectó significativamente los componentes del rendimiento del maíz y el rendimiento del grano durante dos temporadas. Los incrementos observados en las parcelas con *Rhizobium* puede deberse a una relación simbiótica entre nódulos radiculares de rizobios y leguminosas que fijan nitrógeno atmosférico en una forma utilizable para el crecimiento de las plantas como se refleja en los parámetros de rendimiento (Massawe *et al.*, 2017).

1.4 Métodos de Inoculación con Bacterias Fijadoras de Nitrógeno en Leguminosas

De acuerdo con García-Blasquez Morote & Sato Palomino (2019), la Inoculación es el proceso de aplicar inoculantes a las semillas o en el suelo para asegurar la simbiosis con bacterias fijadoras de nitrógeno. Existen varias técnicas para aplicar el inoculante:

a) Inoculación en seco, consiste en mezclar las semillas con el inoculante, asegurando que se adhiera adecuadamente. Luego las semillas inoculadas se depositan en la sembradora y durante el proceso de siembra, tanto la semilla como como el inoculante se colocan simultáneamente en el surco del suelo.

b) Inoculación en forma húmeda o simple, consiste en aplicar una solución adherente a las semillas en un lugar fresco y a la sombra. Las semillas se colocan sobre una superficie limpia (una tina, lona, plástico, entre otros.) y se distribuye de manera homogénea. Luego se añade una solución adherente como goma arábica, cellofax, solución de harina de trigo o yuca, asegurando que las semillas se humedezcan, pero sin quedar excesivamente mojadas.

c) Inoculación con inoculante líquido, este método consiste en mezclar el inoculante con las semillas en un recipiente limpio, siguiendo las recomendaciones sobre las cantidades específicas de ambos componentes. Las semillas e inoculante se homogenizan

bien, se dejan orear y luego se siembran preferentemente en horas de menor temperatura, como por la mañana o al atardecer.

d) La inoculación en forma de "pellet" o pelletización, es otro método utilizado más en semillas pequeñas de leguminosas forrajeras (alfalfa, tréboles, vicias, etc.), puede realizarse de forma manual o mediante máquinas especializadas. Consiste en tratar las semillas con un inoculante y un adhesivo adecuado (goma arábica, el cellofax, CMC) y recubrirlas con un polvo como carbonato de calcio o cal dolomítica. En el proceso mecánico, las semillas se colocan en una mezcladora que las humedece y luego les aplica el polvo de recubrimiento. El resultado son semillas cubiertas con una capa que les da apariencia de píldoras o pellets. Este método es efectivo porque las bacterias (Rhizobios), pueden sobrevivir hasta 15 días los pellets si se almacena en un lugar fresco y sombreado. Sin embargo, la semilla debe sembrarse rápidamente debido a la alta tasa de mortalidad de las bacterias después de la inoculación.

e) La inoculación sobre parcela establecida se realiza aplicando el inoculante directamente en el suelo. Se puede usar inoculante granular a base de turba, especialmente cuando las semillas están tratadas con productos químicos (fungicidas, herbicidas, etc.). El inoculante se coloca debajo de la semilla en el surco de siembra, o en forma líquida en campos de leguminosas ya establecidas, disuelto en agua. Este método es adecuado cuando hay fallas en la inoculación y debe realizarse en condiciones óptimas del suelo y baja insolación, hasta el estado vegetativo V5 de la planta.

1.4.1 Procedimientos y tipos de inoculantes

Según Drew et al. (2019), existen diferentes tipos de inoculantes, los cuales se pueden agrupar en las siguientes categorías:

- Inoculantes de turba

Consisten en turba finamente molida que contiene una cepa de rizobios. Se aplican generalmente como una suspensión sobre la cubierta de la semilla para garantizar el contacto directo de los rizobios con la semilla. También pueden aplicarse como líquido directamente al suelo. La mejor manera de sembrar las semillas inoculadas con turba es el día de la inoculación para maximizar la cantidad de rizobios vivos que llegan al suelo con la semilla, especialmente en suelos húmedos.

El procedimiento adecuado para la inoculación implica mezclar el inoculante de turba con agua limpia, a veces añadiendo un adhesivo que mejora el contacto de los rizobios con la semilla y los protege de la desecación. Es preferible utilizar agua de lluvia o agua potable y se debe controlar el pH del agua, que debe estar entre 5.5 y 7.0 para evitar la muerte rápida de los rizobios. La mezcla debe aplicarse en un lecho de semillas húmedas. Además, es fundamental que el equipo utilizado este limpio y libre de residuos químicos, pesticidas o detergentes, ya que estos pueden afectar la viabilidad de los rizobios.

- Inoculantes liofilizados

Contienen rizobios en forma de polvo. Estos rizobios se activan al mezclarse con líquido. El producto incluye un polímero protector en una botella separada, que ayuda a prolongar la vida de los rizobios. Se aplican de dos maneras: se pueden inyectar como una solución líquida en los surcos de siembra o recubrir las semillas justo antes de la siembra. Las semillas tratadas deben secarse antes de sembrar y plantarse en el suelo húmedo en un plazo de cinco horas tras su aplicación. Es fundamental evitar el contacto con pesticidas y fungicidas para proteger los rizobios.

- Inoculantes líquidos

Se utilizan exclusivamente en lechos de siembra húmedos. El inóculo concentrado debe diluirse con agua limpia y de pH neutro antes de aplicarse. Una vez diluido, se administra en los surcos de siembra. Es importante inyectar el inoculante en el surco de siembra inmediatamente o dentro de las seis horas posteriores a su preparación.

- Inóculos granulares

Se aplican utilizando una caja de siembra separada, ya que no es recomendable mezclarlo con semillas o fertilizantes. Estos inoculantes están hechos a partir de turba granulada, arcilla (bentonita o atapulgita) o una mezcla de ambas y son una alternativa práctica a la inoculación en suspensión sobre las semillas. Proporciona mayor flexibilidad en las operaciones de siembra, permitiendo el uso de insecticidas y fungicidas que normalmente podrían dañar a los rizobios. Los gránulos deben sembrarse en surcos junto con la semilla, asegurando que los rizobios estén cerca de las raíces emergentes.

- Semillas preinoculadas y personalizadas

Algunas empresas ofrecen semillas que ya contienen rizobios en su recubrimiento, lo que incluye además insecticidas, fungicidas y micronutrientes. Este recubrimiento proporciona flexibilidad para enfrentar retrasos en la siembra, aunque se recomienda sembrar las semillas lo antes posible tras el tratamiento. Este tipo de semilla se utiliza

mayormente en especies forrajeras como alfalfa, ya que los rizobios en estas semillas sobreviven bien en esta forma de almacenamiento.

1.4.2 Factores que afectan la eficacia de la inoculación

De acuerdo con Allito et al. (2015), en su revisión la eficacia de la inoculación en leguminosas depende de diversos factores bióticos y abióticos. Entre los factores abióticos, destacan la sequía, la salinidad, el anegamiento, la temperatura, la acidez del suelo, la nutrición mineral inadecuada y las toxicidades minerales. Estos factores pueden afectar la supervivencia de los rizobios, el proceso de infección, el crecimiento de los nódulos y la fijación de nitrógeno. En cuanto a los factores bióticos la competencia de rizobios autóctonos ineficaces juega un papel crucial. Los rizobios locales ineficaces pueden competir con los rizobios introducidos, reduciendo la ocupación de los nódulos por el inoculo. Por esta razón, es esencial que las cepas rizobianas introducidas sean altamente competitivas y efectivas para superar la ineficacia de las poblaciones locales. Estas cepas deben competir por la nodulación, persistir en el suelo y asegurar una fijación de nitrógeno adecuado en las futuras temporadas de cultivo. Aunque la competencia con los rizobios locales no siempre es el principal factor que limita la respuesta a la inoculación, la presencia de rizobios ineficaces puede reducir la eficacia de la nodulación si no se introducen cepas más eficientes. Además, es importante considerar otros factores bióticos como las plagas de insectos y las enfermedades.

Por otro lado, Thilakarathna y Raizada (2017), en su metaanálisis menciona que otros factores que afectan la eficacia de la inoculación son la desecación, la depredación por protozoos, la calidad del inoculo y la cantidad de rizobios viables, que son determinantes críticos para una nodulación exitosa. Dado que la movilidad de los rizobios en el suelo es limitada en condiciones reales de campo, los métodos de inoculación deben asegurar que haya suficientes rizobios alrededor de las semillas para promover la nodulación. Si la demanda de N puede ser satisfecha por la población de rizobios autóctonos, incluso la inoculación con cepas eficientes de rizobios puede no mejorar el rendimiento ni la fijación simbiótica de nitrógeno.

Ambos autores coinciden en que, para garantizar una fijación efectiva de nitrógeno, es crucial que las cepas de rizobios introducidas sean competitivas y se adapten a las condiciones locales del suelo, como lo han señalado investigaciones anteriores.

1.4.3 Consideraciones prácticas para la aplicación en campo

Según Grasso y Díaz-Zorita (2020), es fundamental considerar ciertos aspectos claves en la aplicación al campo, como:

- Buena elección del inoculante: un inoculante debe contener una alta concentración de rizobios viables para garantizar una nodulación rápida y efectiva. Además, es fundamental que se preparen y envasen bajo condiciones asépticas libres de contaminantes.
- La conservación y transporte de los inoculantes varían según su formulación y es esencial evitar la exposición directa al sol, temperaturas superiores a los 20°C y el contacto con productos químicos para mantener su calidad.
- Buena elección de proceso de aplicación (inoculación): Al tratar las semillas se busca asegurar que cada una reciba suficientes microorganismos para cumplir con los objetivos.
- Independientemente del tipo de producto o lugar de aplicación, es crucial elegir y calibrar el equipo adecuado para asegurar una distribución uniforme del producto sin afectar la calidad del inoculantes ni de las semillas tratadas.
- Durante la inoculación es importante realizar el proceso a la sombra, con temperaturas moderadas (inferiores a los 30°C) y si se usan inoculantes sin protectores microbianos, sembrar las semillas dentro de las 12 horas posteriores al tratamiento. Si hay riesgo elevado de supervivencia de los microorganismos el tiempo entre la inoculación y la siembra debe reducirse a 4 horas.
- Para tratamientos anticipados de inoculación (“pre-inoculados”) es fundamental almacenar las semillas en ambientes frescos y ventilados, y rotular los lotes con la fecha de aplicación para asegurar que se siembra dentro del periodo de efectividad del producto.
- El éxito del tratamiento biológico no solo depende de la calidad del inoculante y su correcta aplicación si no también asegurar un entorno favorable para el crecimiento optimo de los cultivos. Si las plantas no crecen de manera saludable, la efectividad del inoculante se ve comprometida.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Caracterización del área

El trabajo de investigación se llevó a cabo en el Centro de Apoyo Manglaralto durante los meses de octubre a febrero de 2024. El centro de apoyo Manglaralto se encuentra ubicado en la parroquia Manglaralto, a 55 km al norte del cantón Santa Elena, provincia de Santa Elena, a 01°50'32" latitud sur, 80°44'22" longitud oeste. La zona posee una altura de 12 msnm, con un suelo franco-arcilloso, ligeramente alcalino, topografía plana y con una pendiente menor al 1%; las condiciones climáticas que presenta la zona son de 100 - 200 mm de precipitación al año, temperatura media/anual 20 -30 °C, heliofanía 12 horas.

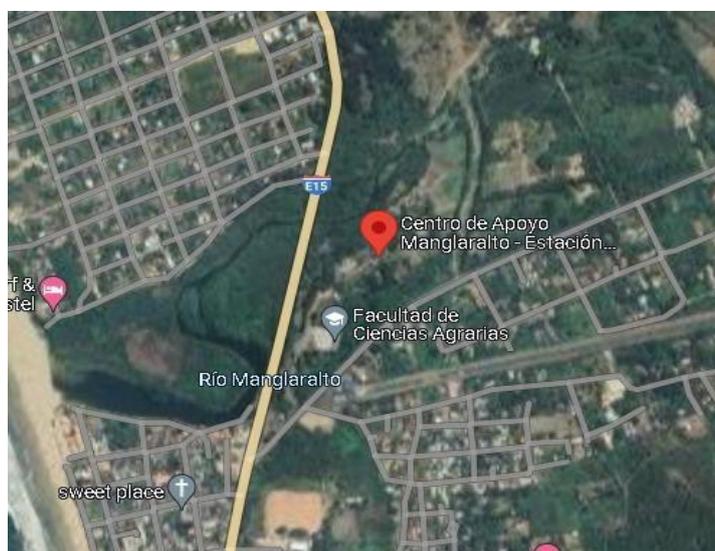


Figura 1. Toma satelital del centro de apoyo Manglaralto
(Google Maps, 2024)

2.2 Materiales, equipos y reactivos

2.2.1 *Material biológico*

Para el desarrollo del experimento se utilizó semillas certificadas de maíz ADVANTA (AZOR) y semillas de soya del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias del Ecuador (INIAP) variedad INIAP-307.

Como inoculante se empleó el producto comercial Biogen “*Rhizobium spp* BFN”, inoculante de uso agrícola y ambiental de la marca BIOGEN, compuesto por esporas a partir de cepas de bacterias *Rhizobium spp.*, en concentración de 1×10^9 unidades formadoras de colonias.

Para el control de plagas se utilizaron métodos de control biológico como: Parasitoides (*Tetrastichus howardi*, *Telenomus renlus*) y Bt (*Bacillus thuringiensis var. kurstaki*)

2.2.2 *Material de campo para colecta de muestras*

- Cámara fotográfica
- Libreta de apuntes
- Esferos
- Flexómetro
- Calibrador Vernier
- Azadón
- Letreros de identificación
- Fundas de papel
- Sacos
- Piola
- Estilete
- Machete

2.2.3 *Equipos de laboratorio*

- Balanza analítica
- Estufa
- Microscopio

2.2.4 *Insumos*

- Fertilizantes: YaraMila, DAP, Novatec, Nitrato de amonio
- Atta-kill

2.3 Tipo de investigación

La presente investigación fue de tipo experimental, ya que sometió a un grupo de individuos (plantas) a ciertas condiciones, estímulos o tratamientos (variable independiente), con el objetivo de observar los efectos o reacciones resultantes (variable dependiente) (Arias, 2012).

2.4 Diseño de investigación

2.4.1 Diseño experimental

Para la presente investigación se aplicó el diseño bloques completamente al azar (DBCA), constituido por 7 tratamientos y 3 repeticiones, con un total de 21 unidades experimentales (Tabla 2).

Tabla 1. Descripción de los tratamientos de experimento

Tratamientos	Descripción	Fertilización nitrogenada (%)	
T1	Maíz	Monocultivo	100
T2	Asociación Maíz + Soya	Sin inocular	100
T3	Asociación Maíz + Soya	Sin inocular	75
T4	Asociación Maíz + Soya	Sin inocular	50
T5	Asociación Maíz + Soya	Con inoculante	100
T6	Asociación Maíz + Soya	Con inoculante	75
T7	Asociación Maíz + Soya	Con inoculante	50

Tabla 2. Grados de libertad del experimento

Fuentes de variación	Grados de libertad
Total	20
Bloques	2
Tratamientos	6
Error	12

Para el establecimiento del experimento se utilizó un área de 2.068 m², donde cada unidad experimental tuvo un área de 68.5 m² (13.7 m x 5 m).

Tabla 3. Delineamiento experimental

Diseño experimental	DBCA
Tratamientos	7
Repeticiones	3
Total, de unidades experimentales	21
Área de parcela	68,5 m ²
Área útil de parcela	23,4 m ²

Área del bloque	602,8 m ²
Área útil del bloque	163,8 m ²
Efecto de borde	1m
Distancia entre plantas	0,20 m
Nº de plantas por sitio	1
Nº de hileras	6
Distancias entre hilera	1m
Distancia entre parcela	1,5 m
Distancia entre bloques	0,45 m
Área útil del experimento	491,4 m ²
Área neta del experimento	1,848 m ²
Área total del ensayo	2,068 m ²

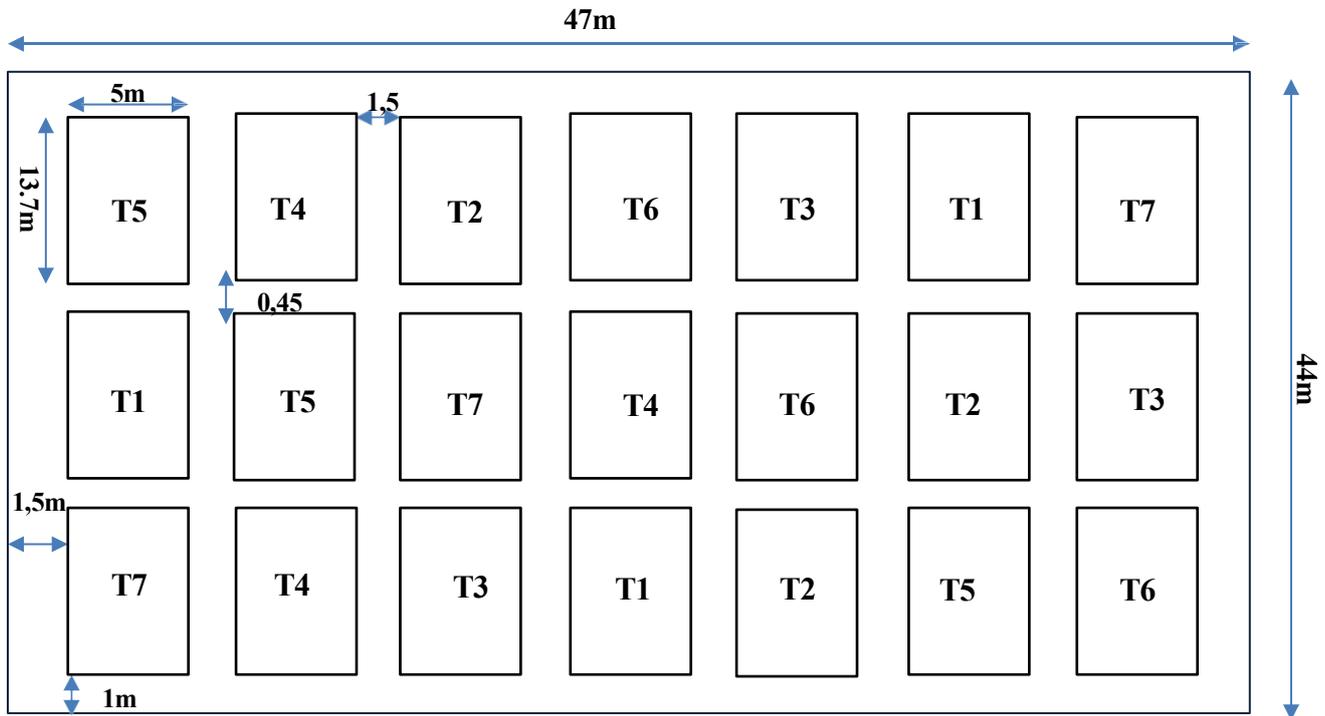


Figura 2. Diseño de bloques experimentales con su distribución de tratamientos

2.5 Manejo del experimento

2.5.1 Preparación del terreno

Para preparar el terreno para la siembra, se realizó un proceso de desmalezado y arado utilizando un tractor agrícola que se encargó de voltear la tierra y eliminar todo tipo de vegetación que se encontraba en el sitio.

Una vez preparado el terreno se procedió a dividir las parcelas experimentales de acuerdo con el croquis de campo.

2.5.2 Inoculación de semillas de soya

Para la inoculación de semillas de soya, se implementó el método vía Drench. Este método consistió en aplicar una solución compuesta por 250 mL de BFN diluidos en 38 L de agua se sobre la semilla ya sembrada. La aplicación se realizó mediante una bomba, que permitió distribuir la solución de manera uniforme.

2.5.3 Siembra

La siembra de maíz se la realizó de forma manual por espeque, ubicando una semilla por sitio a una distancia de 0.20 m entre plantas y 1 m entre hileras.

Posteriormente, a los 15 días de emergidas las plantas de maíz, se sembró la soya colocando dos semillas entre cada planta de maíz.

2.5.4 Plan de fertilización

Se diseñó un plan de fertilización en base a los requerimientos del cultivo con una dosis de 150-30-60-21-21-7 kg de N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg y S como se muestra en la tabla 5. Se realizaron tres aplicaciones de fertilizantes durante el ciclo vegetativo de acuerdo con los tratamientos descritos anteriormente.

2.5.5 Manejo fitosanitario

El control de plagas se llevó a cabo utilizando en la mayor medida posible, métodos de control biológico, entre ellos la liberación de Parasitoides (*Tetrastichus howardi*, *Telenomus renlus*) y la aplicación de Bt (*Bacillus thuringiensis var. kurstaki*) mediante el producto BIOLEP 2X, en una dosis de 150 g del producto por cada 50 L de agua.

Adicionalmente, se empleó el insecticida químico Atta kill para el control de hormigas.

Por otro lado, el control de maleza se lo realizó de manera manual hasta que los cultivos cierran calle.

2.5.6 Frecuencia de riego

Se empleó un sistema de riego por goteo, de dos a tres horas diarias, cuatro veces a la semana, considerando las precipitaciones que se presentaron en la zona de estudio.

2.6 Parámetros evaluados

Para las evaluaciones se tomaron únicamente las plantas de los surcos centrales con la finalidad de reducir el efecto de borde.

2.6.1 Morfológicos

Altura de la planta (cm)

Se midió la altura de 10 plantas seleccionadas al azar de cada unidad experimental, utilizando un flexómetro desde la base del tallo hasta la parte terminal de la planta. En el caso del maíz esta evaluación se llevó a cabo a los 30,45, 60 y 75 días después de la siembra. Para la soya, las mediciones se realizaron a los 30, 45, 60,75 y 90 días después de la siembra.

Diámetro del tallo

Asimismo, se midió el diámetro del tallo utilizando un calibrador de vernier. Esta evaluación se realizó teniendo en cuenta como referencia una altura de 10 cm desde el ras del suelo. Sus valores fueron expresados en milímetros.

Número de hojas

Se contabilizó el número total de hojas por planta de las 10 plantas seleccionadas.

Peso fresco de la raíz

Se realizaron dos evaluaciones para esta variable a los 90 y 115 días después de la siembra. En cada evaluación, se recolectaron 5 plantas de soya al azar de las filas centrales de cada tratamiento y repetición. Las raíces fueron lavadas cuidadosamente, seccionadas con un bisturí y pesadas en gramos utilizando una balanza analítica.

Peso seco de la raíz

Las raíces de cada planta fueron secadas en la estufa a 65 °C por 72 horas y luego pesadas en una balanza analítica en gramos.

Masa fresca

En cada evaluación, se separó la parte aérea de cada planta de soya del sistema radicular y se colocó en una bolsa de papel por tratamiento. Cada bolsa de papel se pesó en una balanza analítica para determinar la masa fresca.

Masa seca

El secado de las plantas se realizó en estufa a 65 °C por 72 horas y luego se pesaron en una balanza analítica en gramos.

Nodulación

Se contabilizó considerando el número de nódulos en las raíces secundarias y raíz principal, para finalmente considerar la suma de ambas como número de nódulos totales por planta.

2.6.2 Productivos

Número de vainas por planta

Se realizaron dos evaluaciones a los 90 y 115 días, en las que se contabilizó el número de vainas encontradas en cada una de las plantas evaluadas y luego se promedió.

Peso fresco de vainas

Se determinó el peso fresco de las vainas de 5 plantas seleccionadas a los 90 y 115 días.

Peso seco de vainas

Se determinó el peso seco de la vaina de las 5 plantas seleccionadas, para lo cual se utilizó una estufa a 65 °C por 72 horas, transcurrido este tiempo se determinó el peso.

Altura de inserción de mazorca

Se midió al momento de la cosecha la altura de la inserción de la mazorca de cada planta, desde de la base del tallo hasta la inserción de la primera mazorca, utilizando un flexómetro.

Longitud de la mazorca

Se seleccionaron diez plantas al azar por repetición de cada tratamiento y se midió la longitud de la mazorca con la ayuda de una cinta métrica considerando la distancia entre el primer y último grano de la línea más larga.

Diámetro de la mazorca

Después de la cosecha, se midió el diámetro de diez mazorcas utilizando un calibrador de vernier, sus valores fueron expresados en milímetros.

Peso de mazorca

Utilizando una balanza digital se pesó en gramos cada mazorca.

Número de granos por mazorca

Se contabilizó el número de granos en cada mazorca y luego se calculó el promedio.

Peso de granos por mazorca

Después de realizar el desgrane de cada mazorca, se procedió a tomar el peso de los granos obtenidos.

Rendimiento

Se determinó el rendimiento de maíz en grano de acuerdo con el área útil de cada tratamiento, y se expresó en t/ha.

La producción de grano de cada parcela fue pesada y ajustada al 14% de humedad mediante la fórmula:

$$R = \frac{P \times (100 - \%H)}{86}$$

Donde:

P= peso de la cosecha

%H= humedad del grano, al momento de la cosecha.

R= rendimiento

2.7 Análisis estadístico de los resultados

Los resultados fueron sometidos a análisis de varianza ANOVA y test de Tukey para la respectiva comparación de medias, cuando los efectos fueron significativos utilizando el nivel de significancia de $p > 0.05$. Se realizó utilizando programa estadístico INFOSTAT trabajando con las medias poblacionales de cada uno de los tratamientos.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Efectos en los parámetros morfológicos evaluados en la planta de maíz

3.1.1 Altura de la planta

Como muestra la Figura 3, existió diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos en los diferentes días evaluados, el tratamiento T6 (M+S+BFN+75% fert. N) mostro un crecimiento superior en la mayoría de evaluaciones, excepto a los 45 días donde la mayor altura se registró en T3 (M+S+75% fert.N). Los valores más bajos de altura se encontraron entre el tratamientos T5 (M+S+BFN+100%), T4 (M+S+50% fert.N) y T1 (monocultivo).

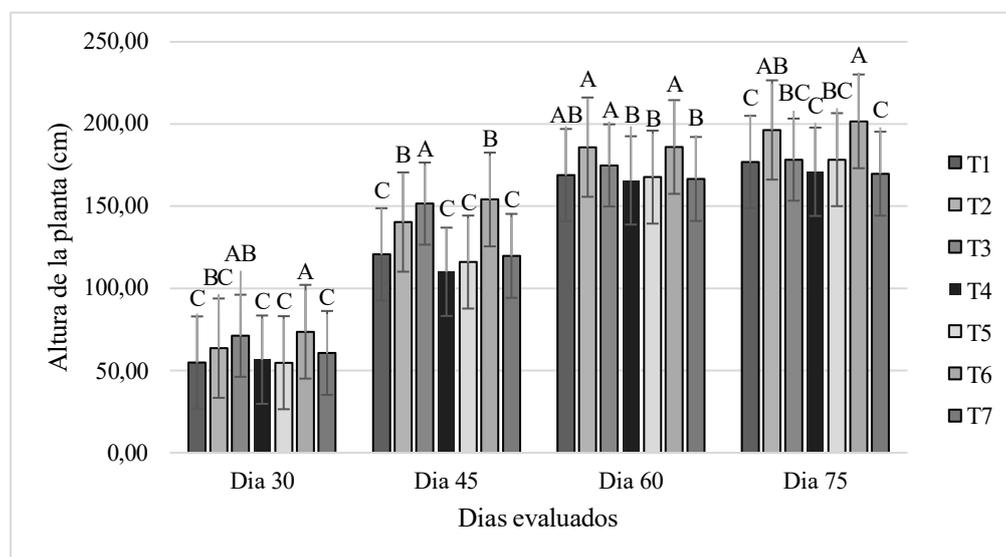


Figura 3. Valores promedios de la altura de la planta de maíz en los diferentes tratamientos a los 30,45,60 y 75 días después de la siembra. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p>0.05$).

3.1.2 Diámetro del tallo

Como se muestra en la Figura 4, existió una variación significativa en el diámetro del tallo entre los tratamientos a lo largo del experimento. Los resultados obtenidos muestran que tratamiento T7 favoreció un mayor desarrollo del tallo en comparación con los otros tratamientos, lo que sugiere que la combinación de maíz, soya inoculada con BFN y 50 % de fertilizante nitrogenada fue óptima para este parámetro.

Sin embargo, a los 75 días el tratamiento T6 con la misma combinación y con una mayor dosis de nitrógeno mostro un ligero aumento en el diámetro del tallo.

Es importante destacar que no hubo diferencias significativas entre tratamientos en el diámetro del tallo a los 60 días.

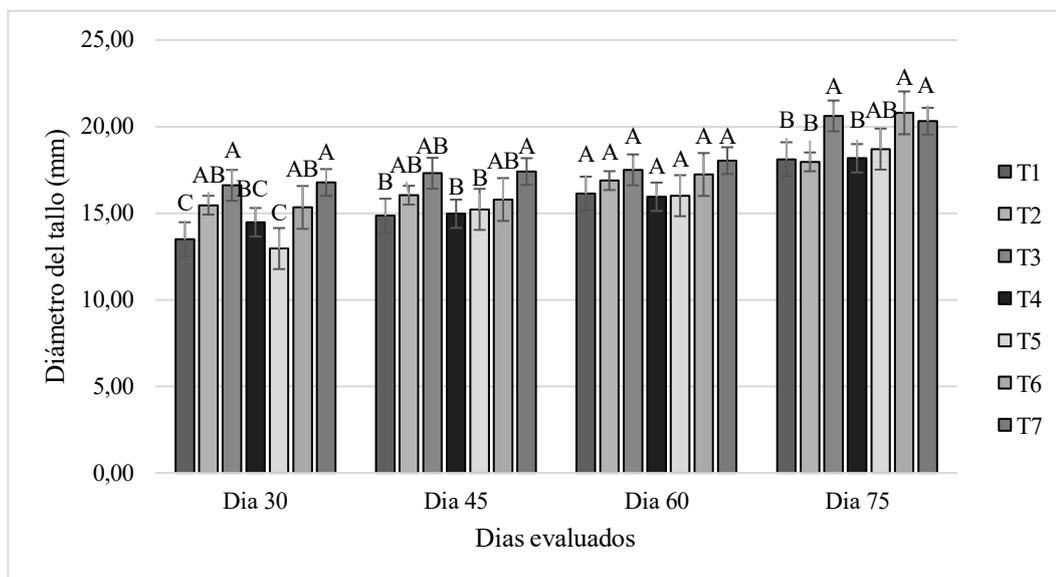


Figura 4. Valores promedio del diámetro del tallo de planta de maíz en los diferentes tratamientos a los 30, 45, 60 y 75 días después de la siembra. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p > 0.05$).

3.1.3 Número de hojas/planta

En cuanto al número de hojas la Figura 5, se puede observar que a los 30 días existió altas diferencias estadísticamente significativas, no obstante, a los 45, 60 y 90 DDS no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos. El mayor número de hojas a los 30 DDS se registró en T6 (M+S+BFN+75% fert.N), mientras que a los 45 y 60 DDS, se registró en T3 (M+S+75% fert.N) y a los 75 DDS se registró en T7 (M+S+BFN+50% fert.N). El menor número de hojas por planta se encontró entre T1 (monocultivo) y T5 (M+S+BFN+100% fert.N) en los diferentes días.

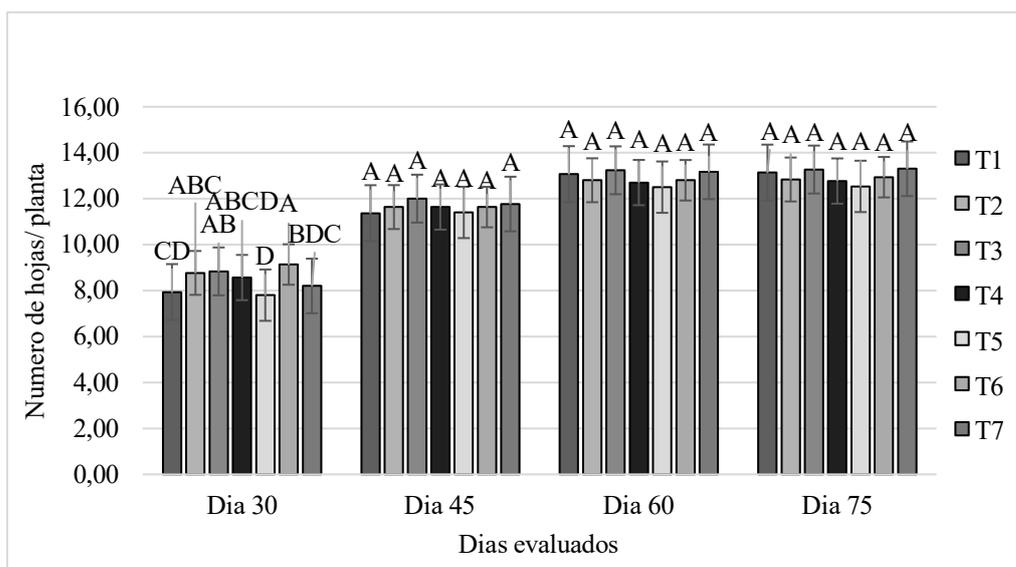


Figura 5. Valores promedios del número de hojas/planta en los diferentes tratamientos a los 30, 45, 60 y 75 días después de la siembra. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p>0.05$).

3.2 Efectos en los parámetros productivos del maíz

3.2.1 Altura de la inserción de la mazorca

Como se muestra en la Figura 6, el tratamiento T3 (M+S+75% fert.N) alcanzó la mayor altura promedio de inserción de mazorca con 96.73 cm, sin embargo este no fue estadísticamente diferente con los tratamientos T1, T2, T6 y T7. Por otro lado, el tratamiento T4 (M+S+50% fert.N) y T5 (M+S+BFN+100% fert.N) mostraron las menores alturas de inserción, siendo estadísticamente similares entre sí, pero significativamente menores en comparación con los demás tratamientos.

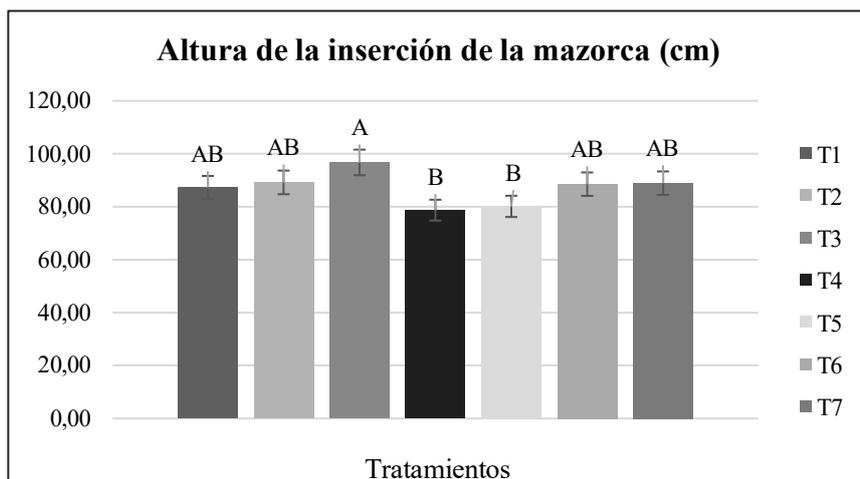


Figura 6. Valores promedios de la inserción de la mazorca en los diferentes tratamientos al momento de la cosecha. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p>0.05$).

3.2.2 Longitud de la mazorca

Como se muestra en la figura 7, el mayor valor de longitud de mazorca corresponde al tratamiento T1 (monocultivo) con una media de 15,73 cm, sin embargo, este no fue significativamente diferente en comparación con el resto de los tratamientos. Mientras que T5 (M+S+BFN+100% fert. N) mostro la menor longitud de mazorca.

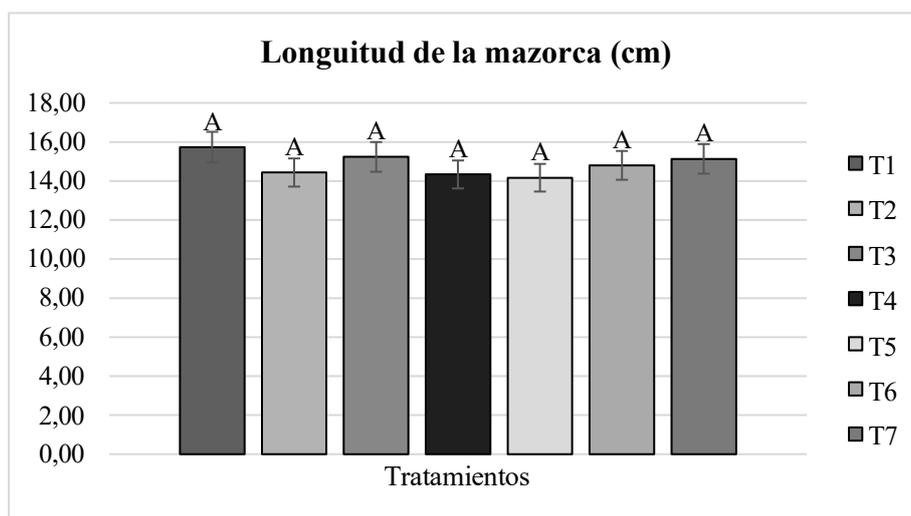


Figura 7. Valores promedios de la longitud de la mazorca en los diferentes tratamientos al momento de la cosecha. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p>0.05$).

3.2.3 Diámetro de la mazorca

Como se muestra en la Figura 8, el tratamiento T1 (monocultivo) presentó el mayor diámetro con una media de 46.96 mm, siendo este significativamente superior en comparación con los demás tratamientos, sin embargo T5 y T7 no son estadísticamente distintos de T1, mientras que T2 (M+S+100% fert.N) es estadísticamente inferior con una media de 43,62 mm.

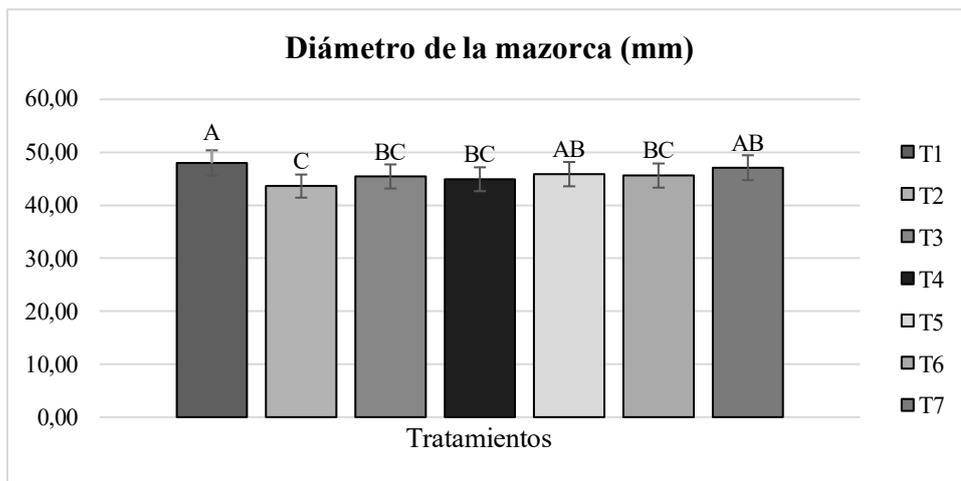


Figura 8. Valores promedios del diámetro de la mazorca en los diferentes tratamientos al momento de la cosecha. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p > 0.05$).

3.2.4 Peso de la mazorca

En la Figura 9, se observa que el tratamiento T1 (monocultivo) alcanzó el mayor peso con una media de 215.33 g, siendo estadísticamente superior a los demás tratamientos, además se puede observar que T2, T4 y T5 no difieren significativamente entre sí, pero son estadísticamente inferiores a los demás tratamientos. El tratamiento T2 (M+S+100% fert.N) presentó el menor peso con una media 154.70 g.

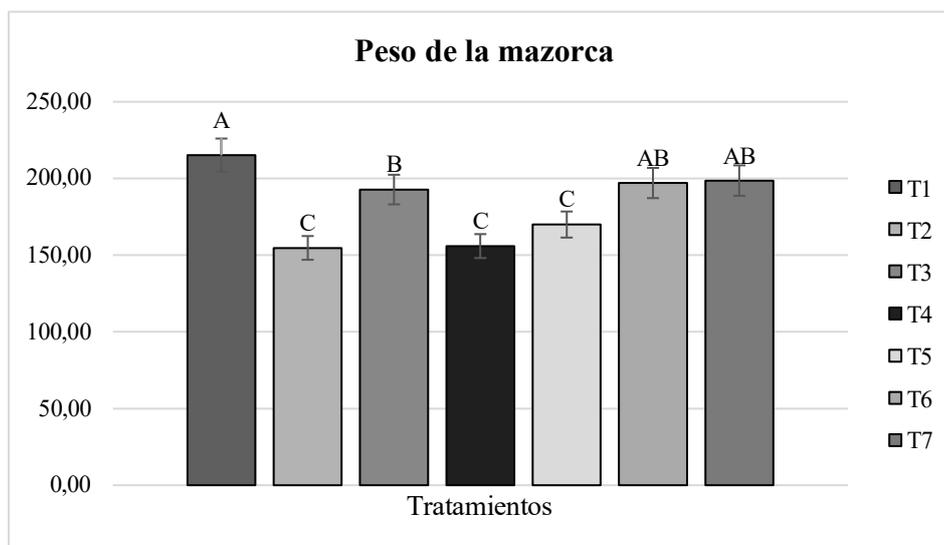


Figura 9. Valores promedio del peso de la mazorca en los diferentes tratamientos al momento de la cosecha. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p>0.05$).

3.2.5 Número de granos por mazorca

En la Figura 10, se observa que en el tratamiento T3 (M+S+75% fert.N) se generó el mayor un número de granos con un promedio de 490.93, mientras que T7 (M+S+BFN+50% fert.N) obtuvo el menor número de granos con un promedio de 429.60. No se observaron diferencias estadísticamente significativas en la medias, indicando una similitud entre los tratamientos.

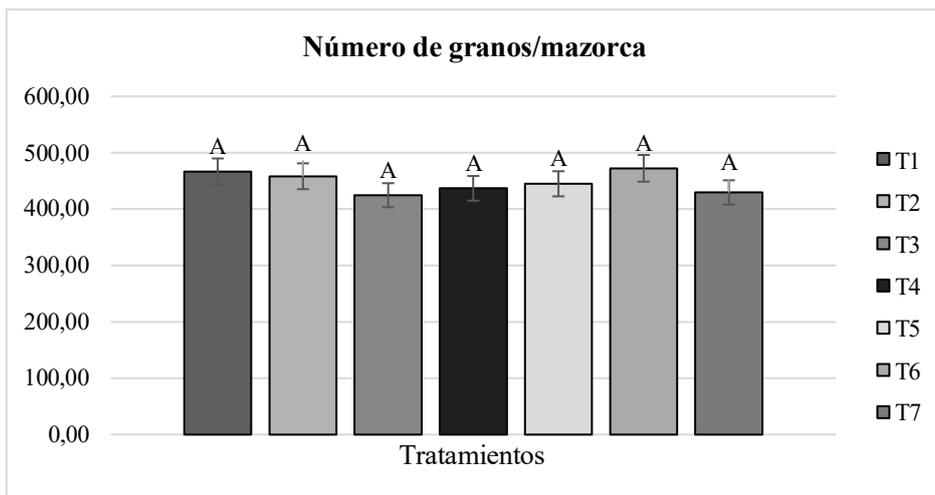


Figura 10. Valores promedio del número de granos por mazorca en los diferentes tratamientos al momento de la cosecha. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p > 0.05$).

3.2.6 Rendimiento

En la Figura 11, se muestra los resultados calculados del rendimiento promedio por hectárea de cada tratamiento. El tratamiento T1 (monocultivo) fue superior con un rendimiento promedio de 6.65 t/ha, seguido del tratamiento T6 (M+S+BFN+175% fert.N) que alcanzo un promedio de 6.09 t/ha , mientras que T3 presentó el rendimiento más bajo con 5,55 t/ha. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en las medias, indicando una uniformidad en los resultados obtenidos.

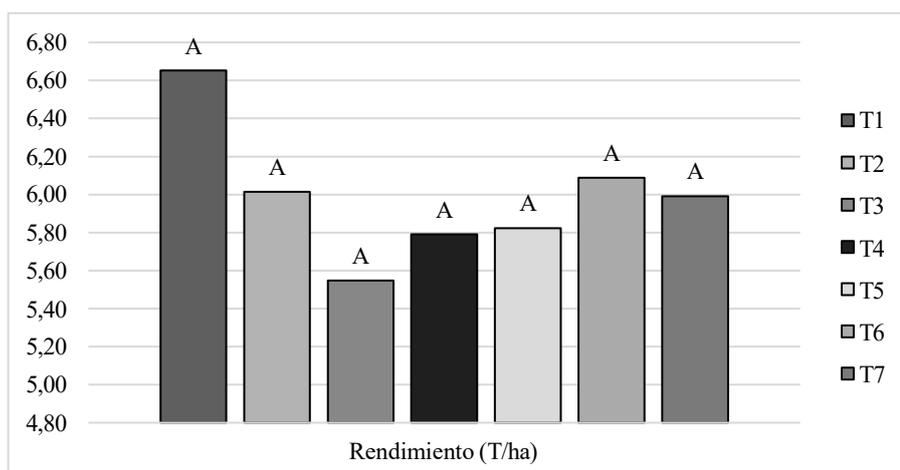


Figura 11. Rendimiento en toneladas por hectárea del maíz de los diferentes tratamientos. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p > 0.05$).

3.3 Efectos en los parámetros morfológicos de la soya

3.3.1 Altura de la planta

Como se muestra en la Figura 12, el análisis estadístico indicó que se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en los diferentes días evaluados. El tratamiento T2 (M+S+100% fert.N) mostró una tendencia consistente al alcanzar las mayores alturas a lo largo del experimento. Mientras que las alturas más bajas se presentaron en T5 (M+S+BFN+100% fert. N), T6 (M+S+BFN+75% fert. N), T4 (M+S+50% fert.N) y T3 (M+S+75% fert. N).

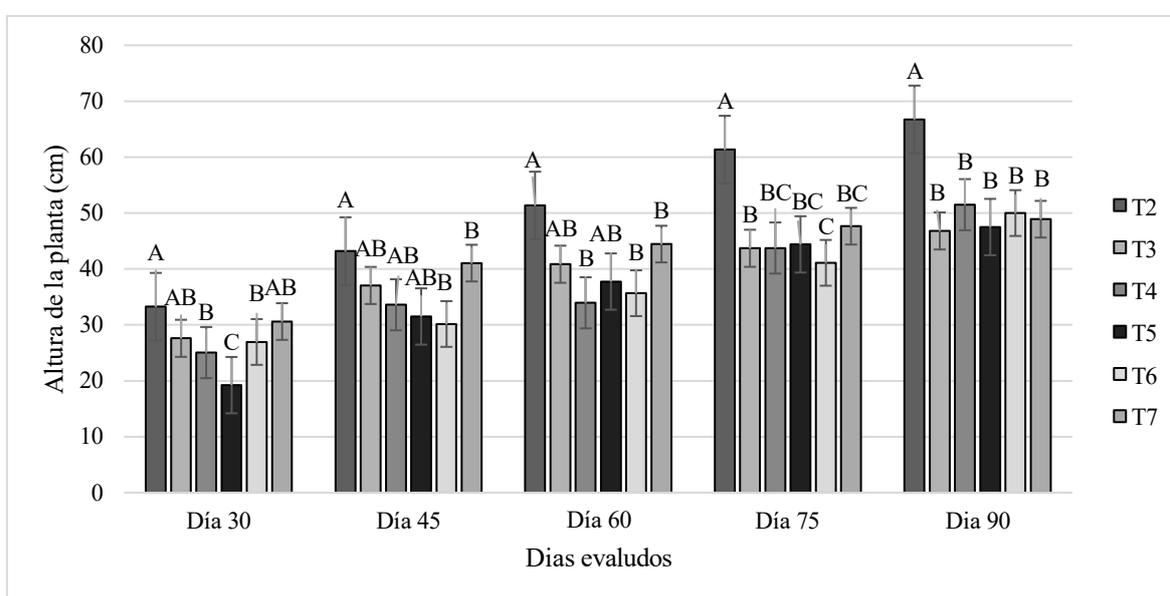


Figura 12. Valores promedio de la altura de planta de soya en los diferentes tratamientos a los 30,45,60,75 y 90 días después de la siembra. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p>0.05$).

3.3.2 Diámetro del tallo

Como se muestra en la Figura 13, los mayores valores se presentaron en T7 y T2, sin embargo, T7 (M+S+50% fert.N) predominó en la mayoría de días evaluados, excepto a los 60 y a los 90 DDS donde sobresalió T2 (M+S+100% fert.N). Por otro lado, el tratamiento T5 (M+S+BFN+100% fert.N) presentó consistentemente un menor desarrollo del tallo.

Aunque se observaron variaciones en los diámetros promedio entre los tratamientos, los resultados del análisis de varianza indican que no se encontraron diferencias altamente significativas.

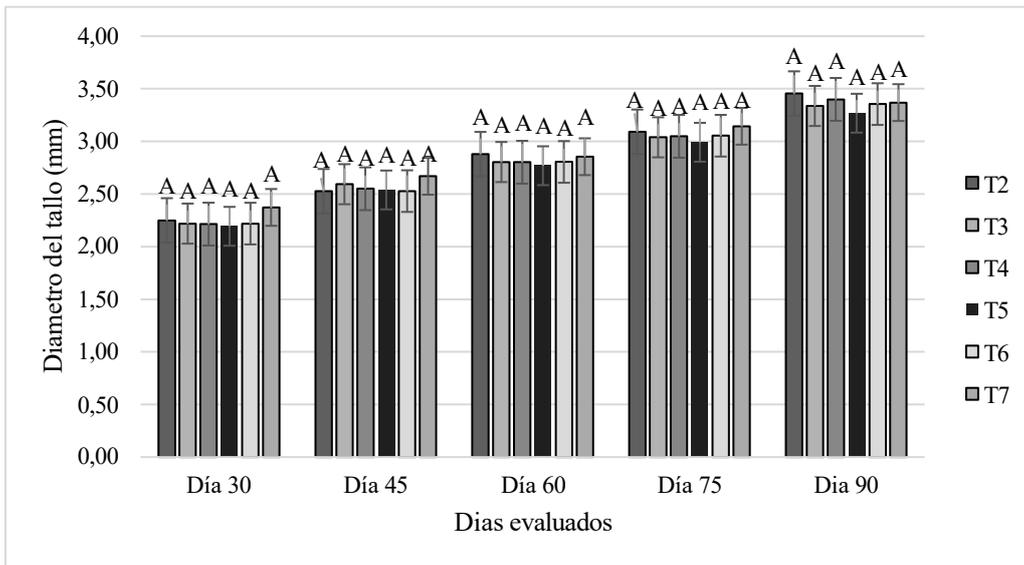


Figura 13. Valores promedios del diámetro del tallo de soja en los diferentes tratamientos a los 30,45,60,75 y 90 días después de la siembra. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p>0.05$).

3.3.3 Número de hojas/planta

Como se muestra en la Figura 14, aunque se observan diferencias significativas en el número de hojas por planta entre los tratamientos evaluados a los 30 y 75 DDS, la mayoría de estos no presentan diferencias significativas entre sí, mientras que a los 45 y 60 DDS se puede observar una mayor diferenciación estadística en los valores de número de hojas entre los tratamientos.

Al igual que en la variable anteriormente mencionada, el tratamiento T2 (M+S+100% fert.N) presento consistentemente el mayor número de hojas durante todos los días evaluados, mientras que el menor número de hojas se encontró en T5 (M+S+BFN+100% fert.N) , T6 (M+S+BFN+75% fert.N) y T7 (M+S+BFN+50% fert.N).

Los resultados del análisis de varianza indican que no se encontraron diferencias altamente significativas a los 90 días.

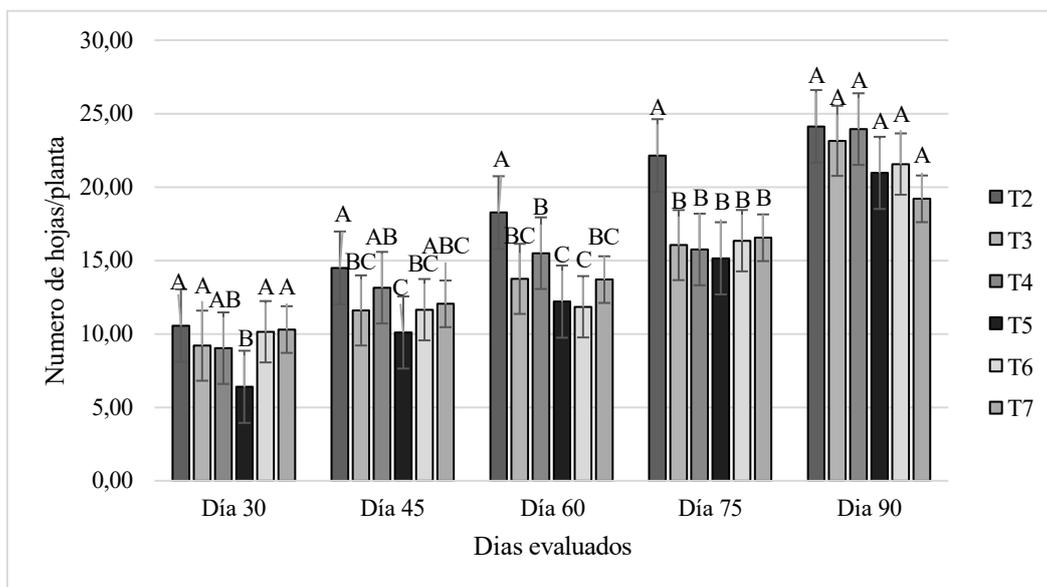


Figura 14. Valores promedio del número de hojas por planta de soya en los diferentes tratamientos a los 30,45,60,75 y 90días después de la siembra. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p>0.05$).

3.3.4 *Peso fresco de la raíz*

Como se muestra en la Figura 15, en el primer muestreo el mayor peso fresco de raíz se encontró en el tratamiento T4 (M+S+50% fert.N), mientras que T6 (M+S+BFN+75% fert.N) mostro el menor peso. En el segundo muestreo el mayor peso se encontró en el tratamiento T5 (M+S+BFN+100% fert.N), mientras que T3 (M+S+75% fert.N) presento el menor peso.

El análisis estadístico indico que no existen diferencias significativas entre los tratamientos evaluados respecto al peso fresco de la raíz.

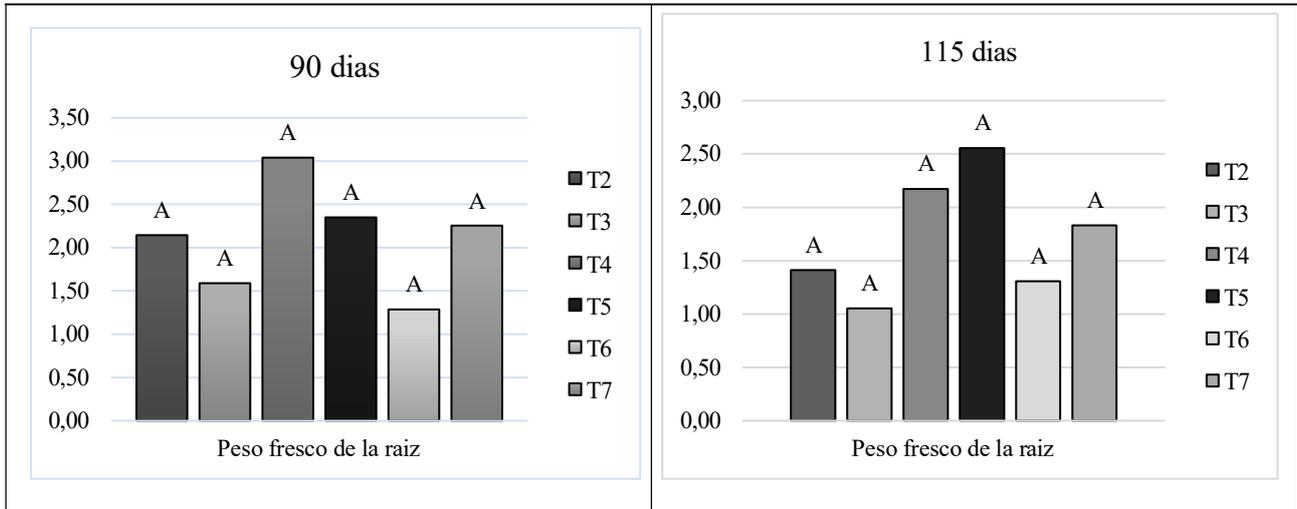


Figura 15. Valores promedios del peso fresco de la raíz de soya en los diferentes tratamientos a los 90 y 115 DDS. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p>0.05$).

3.3.5 *Peso seco de la raíz*

Como se muestra en la Figura 16, en el primer muestreo el mayor peso seco de la raíz se obtuvo en el tratamiento T2 (M+S+100% fert.N) con una media de 1.31 g, mientras que T6 (M+S+BFN+75% fert.N) presentó el peso más bajo con 0.52 g.

En el segundo muestreo, el tratamiento T5 (M+S+BFN+100% fert.N) registró el mayor peso seco con 2.38 g, mientras que T3 (M+S+75% fert.N) el menor peso.

El análisis estadístico indica que no existen diferencias significativas entre los tratamientos evaluados en ambos muestreos.

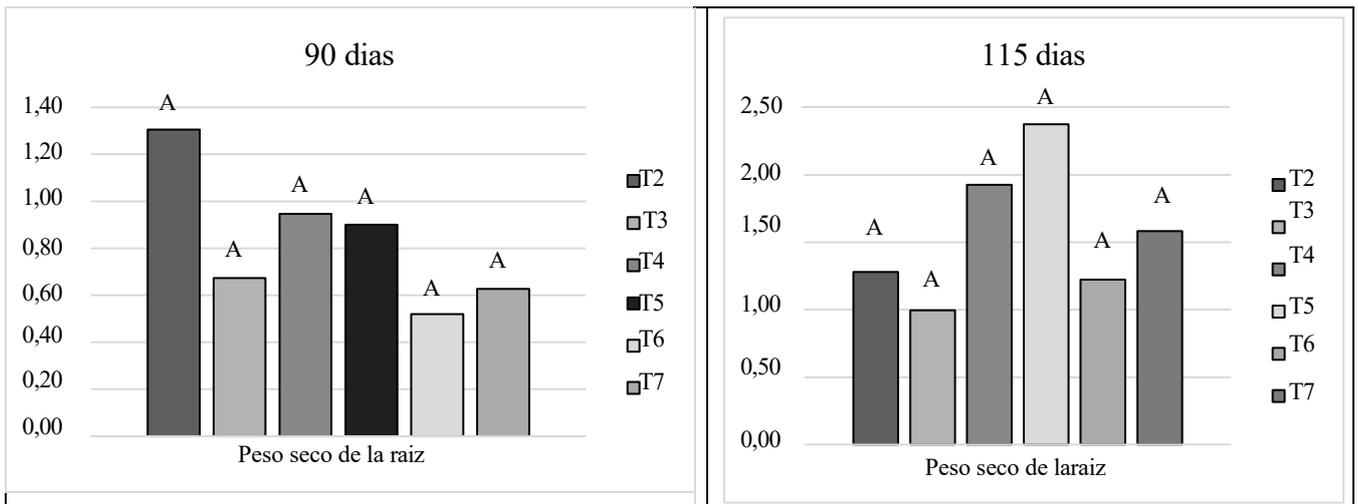


Figura 16. Valores promedios del peso seco de la raíz de soya en los diferentes tratamientos a los 90 y 115 días después de la siembra. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p>0.05$).

3.3.6 Nodulación

La nodulación en las raíces de las leguminosas evaluadas en los dos muestreos fue escasa. Como se muestra en la Figura 11, en el primer muestreo, solo los tratamientos T4 (M+S+50% fert.N) y T3 (M+S+75% fert.N) fueron los únicos que presentaron nódulos. Mientras que en el segundo muestreo, la nodulación disminuyó considerablemente, observándose únicamente nódulos en el tratamiento T4 (M+S+50% fert.N), en T3 (M+S+75% fert.N) y T7 (M+S+BFN+50% fert.N). Los demás tratamientos no presentaron nódulos en ninguno de los muestreos.

El análisis estadístico indico que no existen diferencias significativas entre los tratamientos evaluados

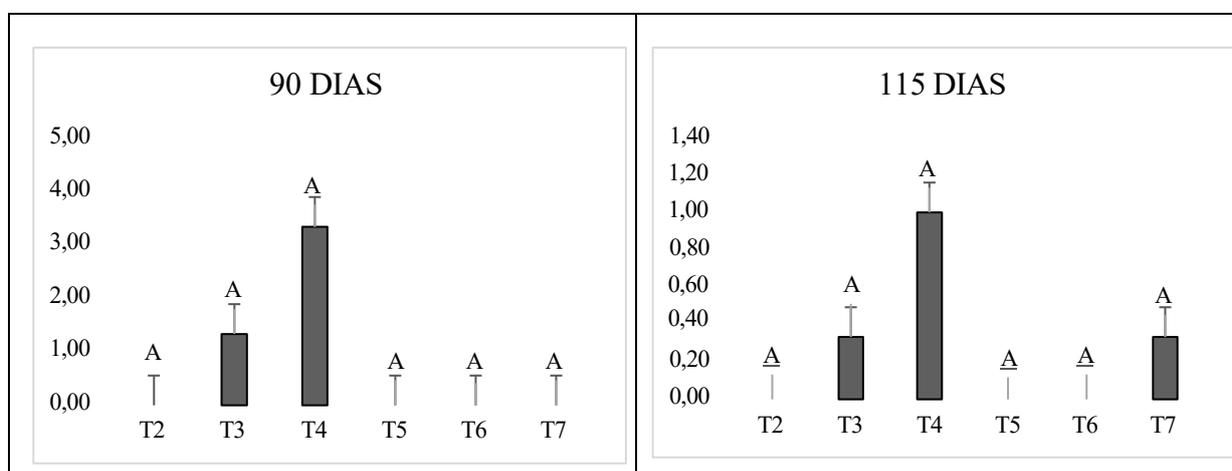


Figura 17. Valores promedio del número de nódulos en los diferentes tratamientos a los 90 y 115 días después de la siembra. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p>0.05$).

3.4 Efectos en los parámetros productivos de la soya

3.4.1 Número de vainas por planta

Como se muestra en la Figura 18, en el primer muestreo aunque no se observó diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, el tratamiento T5 (M+S+BFN+100% fert.N) mostró el mayor número de vainas por planta, mientras que T6 (M+S+BFN+75% fert.N) presentó el menor promedio.

En el segundo muestreo el tratamiento T5 (M+S+BFN+100% fert.N) presentó el mayor número de vainas por planta, alcanzando un promedio significativamente superior en comparación con los otros tratamientos. Por otro lado, el tratamiento T3 (M+S+75% fert.N)

presentó en promedio el menor número de vainas por planta, siendo estadísticamente inferior a los demás tratamientos .

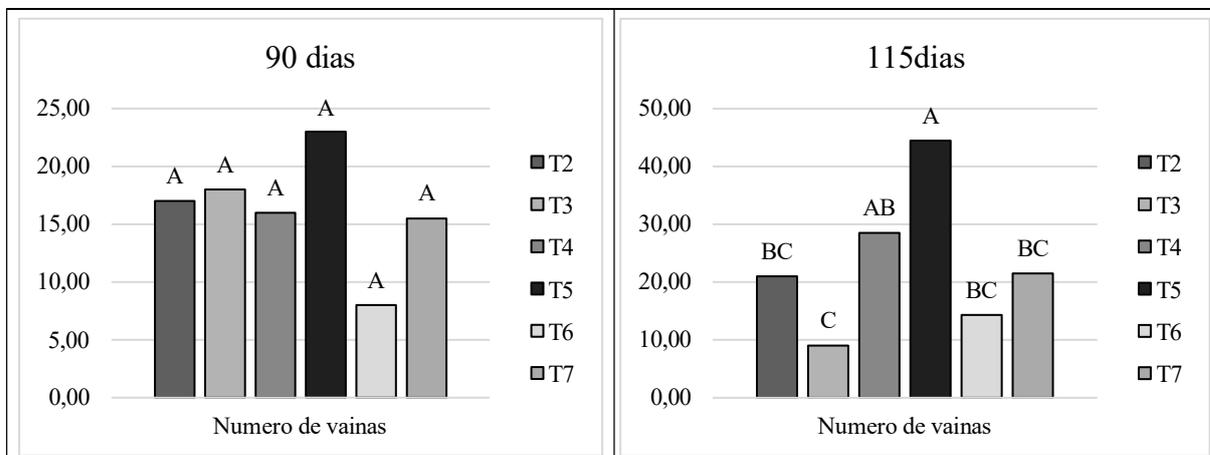


Figura 18. Valores promedios del número de vainas en los diferentes tratamientos a los 90 y 115 días después de la siembra. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p>0.05$).

3.4.2 *Peso fresco de las vainas*

Como se muestra en la Figura 19, de acuerdo con el análisis estadístico no existió diferencias significativas entre las medias de los tratamientos evaluados en los dos muestreos realizados. El tratamiento T5 (M+S+BFN+100% fert.N) tuvo el mayor peso fresco con una media 7.66 g y 6.42 g respectivamente, en comparación con los demás tratamientos tanto a los 90 como a los 115 días, mientras que el peso más bajo se registró en T6 (M + S +BFN+75 % fert.N) a los 90 días y en T3 (M+S+75% fert.N) a los 115 días .

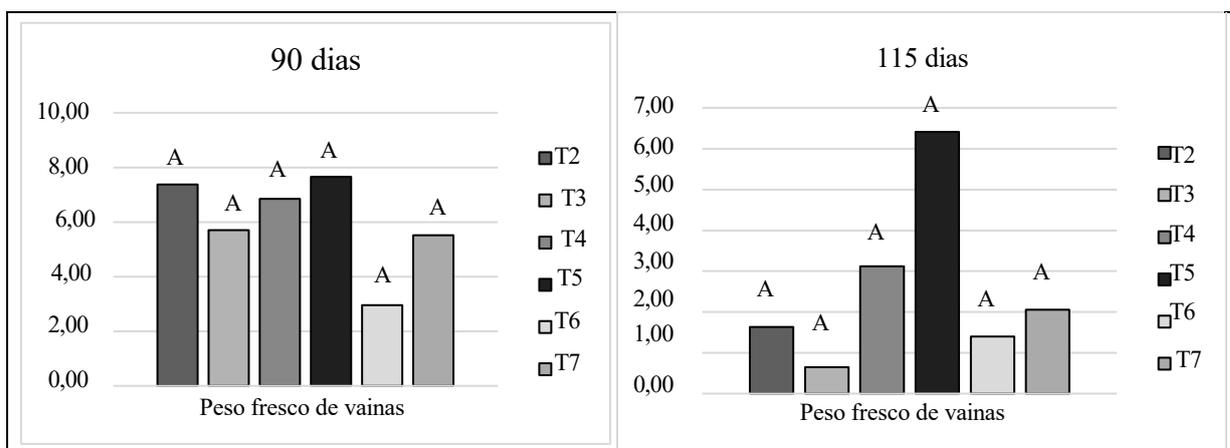


Figura 19. Valores promedios del peso fresco de vainas en los diferentes tratamientos a los 90 y 115 días después de la siembra. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p>0.05$).

3.4.3 *Peso seco de las vainas*

Como se muestra en la Figura 20, el tratamiento T5 (M+S+BFN+100% fert.N) mostró el mayor peso con una media de 3.66 g y 3.93 g respectivamente, en comparación con los demás tratamientos en ambos muestreos, mientras que el peso más bajo se registró en T6 (M + S +BFN+75 % fert.N) con 0.63 g a los 90 días y en T3 (M+S+75% fert.N) a los 115 días con 0.50 g.

Sin embargo, no se observaron diferencias significativas en las medias de los tratamientos en ambas evaluaciones realizadas.

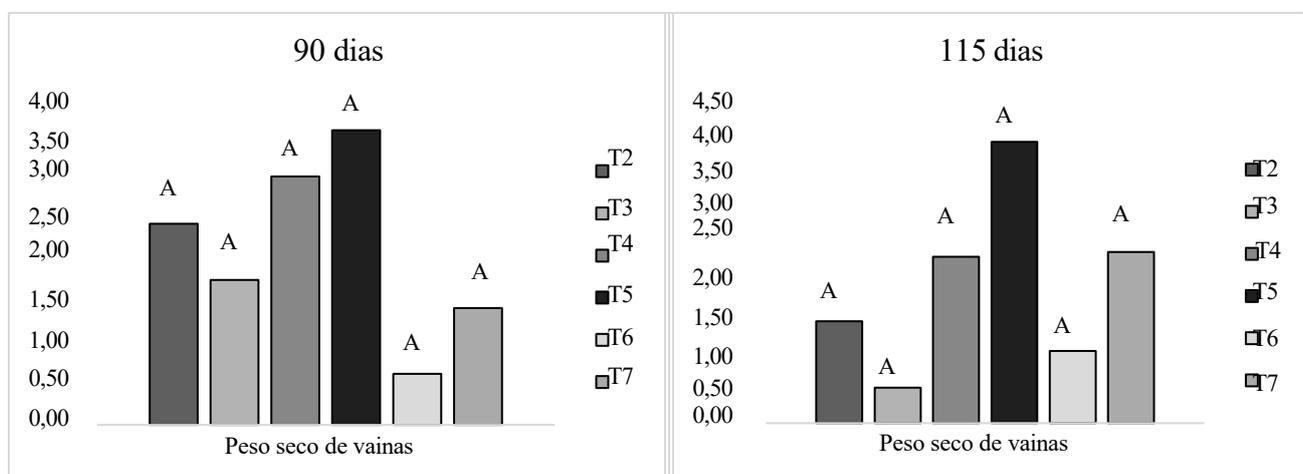


Figura 20. Valores promedios del peso seco de vainas en los diferentes tratamientos a los 90 y 115 días después de la siembra. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p > 0.05$).

3.4.4 *Masa fresca*

Como se muestra en la Figura 21, en el primer muestreo el tratamiento T7 (M+S+BFN+50% fert.N) presentó un peso significativamente mayor que T6 (M + S +BFN+75 % fert.N), sin embargo no fue significativamente diferente de los demás tratamientos.

En el segundo muestreo el tratamiento T5 (M + S +BFN+100 % fert.N) presentó el mayor peso, mientras que T3 (M+S+75% fert.N) mostro el valor más bajo. No obstante, a pesar de estas variaciones en lo valores entre tratamientos, la prueba estadística no indico diferencias significativas.

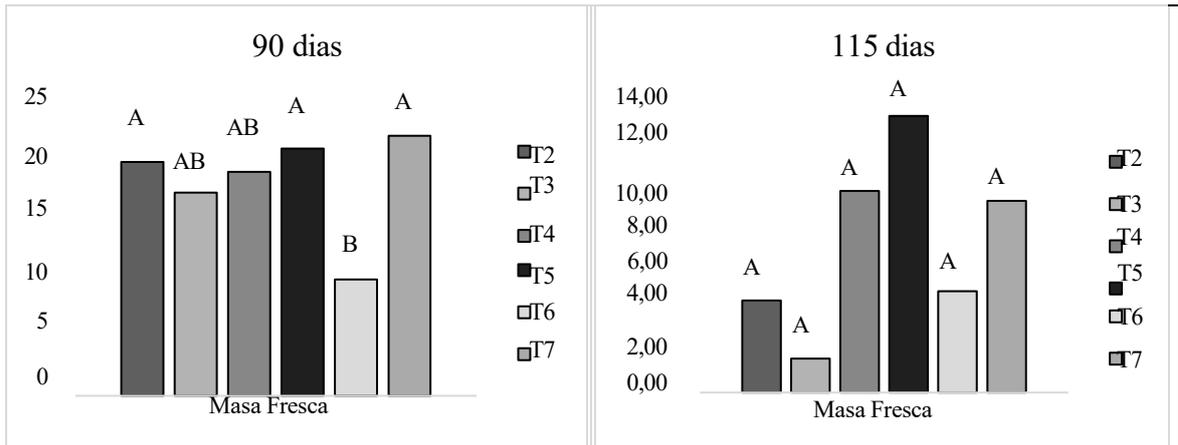


Figura 21. Valores promedios de la masa fresca en los diferentes tratamientos a los 90 y 115 días después de la siembra. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p > 0.05$).

3.4.5 Masa seca

En cuanto al peso de la planta en estado seco en la Figura 22, se observa que en el primer muestreo, el mayor peso se encontró en el tratamiento T4 (M+S+50% fert.N) con una media de 6.59 g, mientras que T2 obtuvo el peso más bajo con un promedio de 3.14 g. Posteriormente, en el segundo muestreo el tratamiento T5 (M+S+BFN+100% fert.N) obtuvo el mayor peso con 8.22 g, mientras que T3 (M+S+75% fert.N) presentó el menor peso con 1.63 g.

No se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos en ambos muestreos realizados en esta variable.

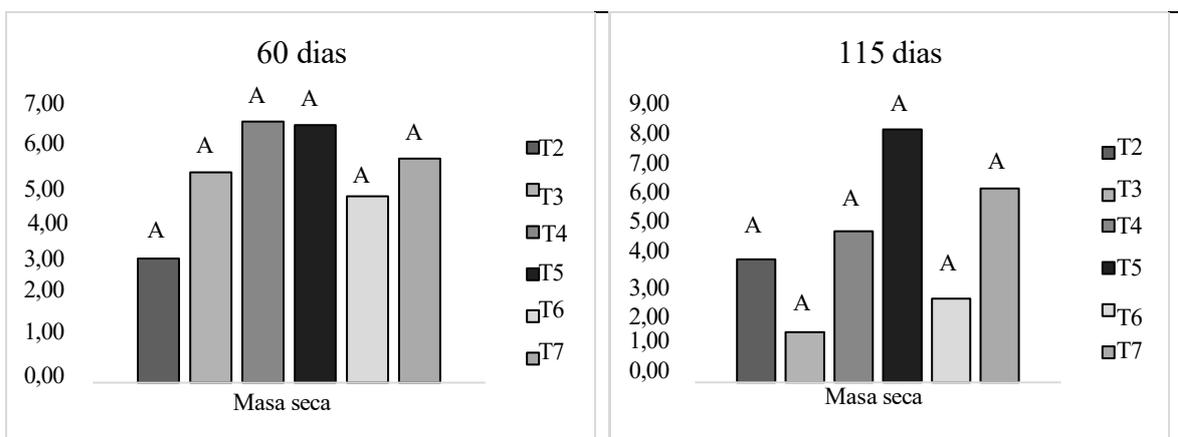


Figura 22. Valores promedios de la masa seca en los diferentes tratamientos a los 90 y 115 días después de la siembra. Las letras iguales señalan que no existe diferencias estadísticamente significativas según el Test de Tukey ($p > 0.05$).

3.1 DISCUSIÓN

La presente investigación evaluó el impacto de la asociación entre el cultivo de maíz y leguminosas (soya), inoculadas y no inoculadas con bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN), sobre los parámetros morfológicos y rendimiento del maíz en condiciones edafoclimáticas de Manglaralto.

Los resultados obtenidos indican que el cultivo asociado tuvo un efecto positivo en los parámetros morfológicos del maíz. Estos resultados coinciden con lo reportado por Mut et al. (2017), quienes observaron que los tratamientos de cultivo asociado tuvieron un impacto significativo en la altura del maíz durante dos años de estudio. Encontraron que la combinación de maíz con leguminosas, especialmente con soja, resultó en una mayor altura de planta en comparación con el monocultivo. Aunque el efecto sobre el diámetro del tallo no fue significativo, se registraron diámetros relativamente altos en la misma combinación, lo cual se atribuye a que la fijación biológica del nitrógeno contribuye de manera significativa al crecimiento del maíz. De manera similar Geren et al. (2008), también encontraron que la altura de las plantas de maíz mostró un aumento significativo cuando se cultivó en asociación con leguminosas. En particular, cuando se asoció el maíz con caupí.

Por otra parte los parámetros productivos del maíz parecieron responder de manera negativa a la presencia de otro cultivo debido a que se observó una mejor respuesta en el tratamiento de monocultivo, pues tal y como señala Yzarra *et al.* (2023) el sistema radicular de las leguminosas puede llegar a extenderse y puede llegar a competir con el otro cultivo presente afectando al rendimiento de estos últimos.

Sin embargo, estudios como el de Wei et al. (2022), han demostrado que ciertos atributos de rendimiento como el número de mazorcas, granos por mazorca y el peso de mil granos, pueden mejorar en un sistema de cultivo asociado maíz-soja. De manera similar, Khan, et al., (2018), encontraron que tanto el número de granos por mazorca y el rendimiento del grano de maíz se ven significativamente influenciados por el sistema asociación con una leguminosa.

Por otro parte Naik et al. (2017), en su investigación encontraron que el rendimiento de grano de maíz está influenciado tanto por el cultivo asociado de maíz y leguminosas como por el manejo del nitrógeno.

Estos resultados sugieren que, si bien los sistemas de monocultivo pueden ofrecer altos rendimientos en ciertas condiciones, los sistemas asociados con leguminosas también pueden ser efectivos para mejorar el rendimiento del maíz, dependiendo de factores como una adecuada gestión del nitrógeno, la elección de la leguminosa y las condiciones específicas de cada temporada.

En cuanto a la soya, se pueden declarar dos postulados, el primero de ellos es que la soya al menos en Manglaralto, no responde ante la inoculación de rizobios o al menos no responde a al inoculante aplicado en este ensayo, esta afirmación está dado debido a que no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos para los parámetros productivos y por contrario en los parámetros vegetativos se observó una mejor respuesta ante los tratamientos sin inocular. Ntambo et al. (2017), encontraron que el aumento de la fertilización nitrogenada en plantas de soja no inoculadas mejora significativamente la altura de la planta, el número de vainas y el peso seco de las vainas, pero disminuye el número de nódulos. Por otro lado, al inocular las semillas con *Bradyrhizobium japonicum* y con la aplicación de una menor dosis de fertilización tuvo un efecto positivo en las plantas de soja, promoviendo un mayor crecimiento de las plantas, un aumento en el número de nódulos, formación de vainas y peso seco de las mismas, en comparación con las plantas no inoculadas.

Estudios como el de LAYEK et al. (2015), señalan que los parámetros de crecimiento y rendimiento de la soja se ven negativamente afectados cuando se cultiva en sistema asociado con cereales, en comparación con el cultivo único de leguminosa. Abou-Kerasha et al. (2012), también observaron en su estudio que los cultivos asociados de (sorgo, soja y caupí) con maíz se vieron significativamente afectados por este sistema, mostrando una disminución en el rendimiento y sus componentes. Esta reducción se atribuye principalmente al sombreado causado por las plantas de maíz, que afecta la intercepción de la radiación solar por parte de las leguminosas.

La nodulación encontrada en el estudio fue escasa, observándose únicamente en algunos tratamientos y en proporciones bajas. Esta ausencia de nodulación puede deberse a diversos factores como la acidez del suelo o la cantidad de nitrógeno aportado (Varela, 2014). Este postulado es reafirmado por Rodiño et al. (2004) quienes afirman que tanto la dosis, el momento y el tipo de fertilización nitrogenada puede llegar a inhibir la producción de nódulos, de manera que probablemente la cepa usada en este estudio no tolero la dosis de

nitrógeno aplicada. Además, existen otros factores que afectan la eficacia de la inoculación como la salinidad, la competencia con rizobios autóctonos, calidad del inoculante y la cantidad de rizobios viables (Allito, et al., 2015) (Thilakarathna & Raizada, 2017).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Lo resultados reflejan que la presencia de la leguminosa tuvo una influencia positiva en las variables morfológicas del maíz.
- En cuanto al rendimiento grano, el monocultivo de maíz alcanzo el mayor rendimiento, sin embargo, las diferencias con los demás tratamientos no fueron estadísticamente significativas. Esto indica la asociación con soya, bajo las condiciones edafoclimáticas de Manglaralto, no tuvo ningún efecto en el rendimiento del maíz.
- La soya en el sistema de cultivo asociado no alcanzo su potencial de crecimiento y producción, lo que podría atribuirse a diversos factores como las condiciones ambientales o la competencia con el maíz por recursos esenciales como luz, agua y nutrientes. Esto refleja la importancia de la estrategia de manejo en cultivos asociados para optimizar el crecimiento de ambas especies.
- La inoculación con bacterias fijadoras de nitrógeno no tuvo un efecto claro en la nodulación y el rendimiento en el estudio.

Recomendaciones

- Realizar estudios similares empleando distintas cepas bacterianas, incluyendo aquellas aisladas directamente de la zona, así como leguminosas adaptadas a las condiciones locales.
- Probar diferentes densidades de siembra y técnicas de manejo del cultivo.
- Evaluar la eficiencia de las diferentes cepas de rizobios adaptados al suelo y clima de Manglaralto.
- Se sugiere realizar investigaciones en condiciones controladas para evaluar la compatibilidad entre la soya y el inoculante
- Asegurar la calidad y manejo adecuado del inoculante al momento de aplicar en el campo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abou-Keriasha, M., Gadallah, R. & El-Wakil, N., 2012. Effects of Intra-Interspecific Competitions on Yield and Yield Component of Maize under Different Intercropping Patterns. *Egyptian Journal of Agronomy*, 34(2), pp. 249-265.
- Allito, B., N. E.-M. & A.A, A., 2015. Rhizobia Strain and Host-Legume Interaction Effects on Nitrogen Fixation and Yield of Grain Legume: A Review. *Molecular Soil Biology*, 6(4), pp. 1-12.
- Andrews, M. & Andrews, M. E., 2017. Specificity in legume-rhizobia symbioses. *International journal of molecular sciences*, 18(4), p. 705.
- Arenas Ochoa, E. G. & Ligarreto-Moreno, G. A., 2023. Biomasa, rendimiento y competitividad de cultivos de maíz y frijol en un sistema asociativo.. *Revista Ceres*, 70(2).
- Arias, F. G., 2012. *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica*.. Sexta ed. Caracas: Episteme.
- Bakari, R., Mungai, N., Thuita, M. & Masso, C., 2020. Impact of soil acidity and liming on soybean (*Glycine max*) nodulation and nitrogen fixation in Kenyan soils. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 70(8), pp. 667-678.
- Bécquer, C.J. (2009) *La simbiosis leguminosa-rizobio: características generales e importancia productiva. Pastos y Forrajes, Vol. 25, No. 1, 2002*. Estación Experimental de Pastos y Forrajes Indio Hatuey. Available at: https://elibro.net/es/ereader/upse/12729?fs_q=rizobio&prev=fs (Accessed: 9 November 2024).
- Bianco, L., 2020. Principales aspectos de la nodulación y fijación biológica de nitrógeno en Fabáceas. *Idesia (Arica)*, 38(2).
- Biswas, D. K. & Ma, B.-L., 2016. Effect of nitrogen rate and fertilizer nitrogen source on physiology, yield, grain quality, and nitrogen use efficiency in corn. *Canadian Journal of Plant Science*, 96(3), pp. 392-403.
- Drew, E. y otros, 2019. *Inoculating Legumes: A Practical Guide*. KINGSTON, ACT: Grains Research and Development Corporation.
- Dupont, L. y otros, 2012. The Legume Root Nodule: From Symbiotic Nitrogen Fixation to Senescence. En: D. T. Nagata, ed. *SENESCENCE*. London: InTech, pp. 137-138.
- Fageria, N. K., 2014. *Functions of Nitrogen in Crop Plants*. Primera ed. Boca Raton: CRC Press.
- García-Blasquez Morote, C. & Sato Palomino, M., 2019. Técnicas de aislamiento, identificación, selección de cepas de Rhizobium, Azospirillum y producción de inoculantes. *Investigacion*, 27(1), pp. 175-195.
- García, S. C., 2011. Bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno. *Cuadernos de Tomas* , Issue 3, pp. 173- 186.
- Grasso, A. & Díaz-Zorita, M., 2020. *Manual de buenas prácticas de manejo de fertilización*. Segunda ampliada y actualizada ed. Buenos Aires: Fertilizar Asociación Civil.
- Gul, H. y otros, 2021. Maize (*Zea mays* L.) Productivity in Response to Nitrogen Management in Pakistan. *American Journal of Plant Sciences*, 12(8), pp. 1173-1179.

- Janagard, M. S. & Ebadi-Segherloo, A., 2016. Inoculated Soybean Response to Starter Nitrogen in Conventional Cropping System in Moghan. *Journal of Agronomy*, Volumen 15, pp. 26-32.
- Kebede, E., 2021. Contribution, Utilization, and Improvement of Legumes-Driven Biological Nitrogen Fixation in Agricultural Systems. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, Volumen 5.
- Khan, M. A. y otros, 2018. Intercropping gardenpea (*Pisium sativum*) with Maize (*Zea mays*) at farmers' field. *Bangladesh Journal of Agricultural Research*, 43(4), p. 691–702.
- Kinama, J. M. & Pierre, H. M. J., 2018. A review on advantages of cereals-legumes intercropping system: case of promiscuous soybeans varieties and maize. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research (IJAAR)*, 12(6), pp. 155-165.
- Kopp, S. B. & Perticari, A., 2016. Las bacterias fijadoras de nitrógeno. en: j. carreras, v. mazuferi & m. karlin, edits. el cultivo de garbanzo (*cicer arietinum l.*) en argentina. Argentina: Universidad Nacional De Córdoba, p. 115.
- Kheroar, S., & Patra, B. (2013). Advantages of Maize-Legume Intercropping Systems. *Journal of Agricultural Science and Technology B*, 733-744 .
- KUSHWAHA, H. S., & CHANDEL, A. S. (1997). Effect of soybean (*Glycine max*) intercropping under different nitrogen levels on yield, yield attributes and quality of maize (*Zea mays*). *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 67(6), 249-52.
- LAYEK, J. y otros, 2015. Performance of soybean (*Glycine max*) intercropped with different cereals under varying levels of nitrogen. *The Indian Journal of Agricultural Sciences*, 85(12), pp. 1571-1577.
- León Barrios, M., 2012. *La simbiosis rizobio-leguminosa. Árboles fijadores de nitrógeno y su importancia en los ecosistemas*. Las plamas de Gran Canaria, Cabildo Insular de Gran Canaria, pp. 2-3.
- Llamas, F. & Acedo, C., 2018. Las leguminosas (Leguminosae o Fabaceae): una síntesis de las clasificaciones, taxonomía y filogenia de la familia a lo largo del tiempo. *AmbioCiencias*, Issue 14, pp. 5-18.
- Lu, J. y otros, 2017. Co-existence of Rhizobia and Diverse Non-rhizobial Bacteria in the Rhizosphere and Nodules of *Dalbergia odorifera* Seedlings Inoculated with *Bradyrhizobium elkanii*, *Rhizobium multihospitium*-Like and *Burkholderia pyrocinia*-Like Strains. *Frontiers in Microbiology*, Volumen 8.
- Mahmud, K., Panday, D., Mergoum, A. & Missaoui, A., 2021. Nitrogen Losses and Potential Mitigation Strategies for a Sustainable Agroecosystem. *Sustainability*, 13(4).
- Mateo Box, J.M. (2008) *Prontuario de agricultura: cultivos agrícolas*. Mundi-Prensa. Available at: https://elibro.net/es/ereader/upse/35863?fs_q=crop&prev=fs (Accessed: 19 October 2024).
- Mohammadi, K. y otros, 2012. Effective factors on biological nitrogen fixation. *African Journal of Agricultural Research*, 7(12), pp. 1782-1788.

- Nadal Moyano, S., Moreno Yanguela, M.T. and Cubero Salmerón, J.I. (2008) *Las leguminosas grano en la agricultura moderna*. Mundi-Prensa. Available at: https://elibro.net/es/ereader/upse/35845?fs_q=leguminosas&prev=fs (Accessed: 16 October 2024).
- Naik, M., Sumathi, V. & Kadiri, L., 2017. Response of optimum nitrogen rate in maize with legume intercropping system. *SAARC Journal of Agriculture*, 15(1), pp. 139-148.
- Nitawaki, Y. y otros, 2020. Effect of salt stress on soybean growth and nodulation under inoculation with soybean rhizobia. *Soil Science and Plant Nutrition*, 67(2), pp. 103-113.
- Ntambo, M. S. y otros, 2017. The effect of rhizobium inoculation with nitrogen fertilizer on growth and yield of soybeans (*Glycine max L.*). *International Journal of Biosciences | IJB |*, 10(3), pp. 163-172.
- Paredes Enriquez, E.J. (2019) 'Influencia de cuatro dosis crecientes de nitrógeno en el desarrollo y producción de maíz (*Zea mays L.*) para forraje, en condiciones del Valle de Santa Catalina', *Universidad Privada Antenor Orrego* [Preprint]. Available at: <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/5718> (Accessed: 13 November 2024).
- Ranum, P., Peña-Rosas, J.P. and Garcia-Casal, M.N. (2014) 'Global maize production, utilization, and consumption', *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1312(1), pp. 105–112. Available at: <https://doi.org/10.1111/nyas.12396>.
- Rodiño, P., Santalla, M. and Pedreira, A. (2004) 'Fertilización biológica del guisante', *Vida rural, ISSN 1133-8938, N° 195, 2004, pags. 58-61* [Preprint].
- Tamayo Ortiz, C. V. & Alegre Orihuela, J. C., 2022. Asociación de cultivos, alternativa para el desarrollo de una agricultura sustentable. 9(1).
- Tanumihardjo, S.A. *et al.* (2020) 'Maize agro-food systems to ensure food and nutrition security in reference to the Sustainable Development Goals', *Global Food Security*, 25, p. 100327. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.100327>.
- Thilakarathna, M. S. & Raizada, M. N., 2017. A meta-analysis of the effectiveness of diverse rhizobia inoculants on soybean traits under field conditions. *Soil Biology & Biochemistry*, Volumen 105, pp. 177-196.
- Varela, R. (2014) 'Nodulación y fijación de nitrógeno en el cultivo de la soya', *de Colombia*, p. 30.
- Wei, W. y otros, 2022. Effect of Maize (*Zea mays*) and Soybean (*Glycine max*) Intercropping on Yield and Root Development in Xinjiang, China. *Agriculture*, 12(7).
- Yzarra-Aguilar, A. *et al.* (2023) 'Importancia de la asociación de leguminosas con cereales: caso de soya y maíz: Importance of the association of legumes with cereals: case of soybean and maize', *Scientific Research Journal CIDI*, 3(6), pp. 42–57. Available at: <https://doi.org/10.53942/stjrcidi.v3i6.208>.

ANEXOS

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
altura de la planta	21	0,89	0,82	5,45

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1105,10	8	138,14	12,03	0,0001
Repetición	42,00	2	21,00	1,83	0,2026
Tratamientos	1063,09	6	177,18	15,43	0,0001
Error	137,79	12	11,48		
Total	1242,89	20			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=9,68340
Error: 11,4825 gl: 12

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
altura	21	0,95	0,92	3,55

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4799,51	8	599,94	28,75	<0,0001
Repetición	14,43	2	7,22	0,35	0,7144
Tratamientos	4785,07	6	797,51	38,22	<0,0001
Error	250,42	12	20,87		
Total	5049,93	20			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=13,05425
Error: 20,8683 gl: 12

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
altura	21	0,83	0,72	3,15

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1802,15	8	225,27	7,36	0,0012
Repetición	141,35	2	70,67	2,31	0,1418
Tratamientos	1660,80	6	276,80	9,04	0,0007
Error	367,30	12	30,61		
Total	2169,45	20			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=15,80997
Error: 30,6087 gl: 12

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
altura	21	0,85	0,75	3,54

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2861,82	8	357,73	8,66	0,0006
Repetición	112,87	2	56,43	1,37	0,2922
Tratamientos	2748,95	6	458,16	11,09	0,0003
Error	495,92	12	41,33		
Total	3357,75	20			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=18,37070
Error: 41,3270 gl: 12

Figura 8A. Análisis de varianza de la altura de la planta a los 30, 45, 60 y 75 días después de la siembra (DDS).

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
diámetro	21	0,78	0,63	3,85

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	15,86	8	1,98	5,34	0,0050
Repetición	0,36	2	0,18	0,49	0,6270
Tratamientos	15,50	6	2,58	6,96	0,0023
Error	4,45	12	0,37		
Total	20,31	20			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,74084
Error: 0,3711 gl: 12

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
diámetro	21	0,90	0,84	4,08

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	41,57	8	5,20	13,87	0,0001
Repetición	3,24	2	1,62	4,33	0,0384
Tratamientos	38,32	6	6,39	17,05	<0,0001
Error	4,49	12	0,37		
Total	46,06	20			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,74888
Error: 0,3745 gl: 12

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
diámetro	21	0,83	0,72	3,83

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	31,68	8	3,96	7,28	0,0013
Repetición	2,26	2	1,13	2,08	0,1677
Tratamientos	29,41	6	4,90	9,01	0,0007
Error	6,53	12	0,54		
Total	38,21	20			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=2,10807
Error: 0,5442 gl: 12

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
diámetro	21	0,62	0,37	4,78

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	12,87	8	1,61	2,49	0,0750
Repetición	0,82	2	0,41	0,64	0,5466
Tratamientos	12,05	6	2,01	3,11	0,0448
Error	7,76	12	0,65		
Total	20,63	20			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=2,29734
Error: 0,6463 gl: 12

Figura 2A. Análisis de varianza del diámetro del tallo a los 30, 45, 60 y 75 días después de la siembra (DDS).

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
número hojas	21	0,83	0,71	3,46

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4,90	8	0,61	7,14	0,0014
Repetición	0,46	2	0,23	2,70	0,1074
Tratamientos	4,44	6	0,74	8,62	0,0009
Error	1,03	12	0,09		
Total	5,93	20			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,83702
 Error: 0,0858 gl: 12

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
número hojas	21	0,43	0,05	2,68

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,88	8	0,11	1,14	0,4054
Repetición	0,05	2	0,02	0,26	0,7788
Tratamientos	0,83	6	0,14	1,43	0,2804
Error	1,16	12	0,10		
Total	2,05	20			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,88994
 Error: 0,0970 gl: 12

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
número hojas	21	0,47	0,11	2,88

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,45	8	0,18	1,32	0,3221
Repetición	0,16	2	0,08	0,59	0,5678
Tratamientos	1,29	6	0,21	1,56	0,2417
Error	1,66	12	0,14		
Total	3,11	20			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,06163
 Error: 0,1380 gl: 12

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
número hojas	21	0,45	0,08	3,08

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,57	8	0,20	1,23	0,3604
Repetición	0,14	2	0,07	0,45	0,6478
Tratamientos	1,43	6	0,24	1,49	0,2620
Error	1,92	12	0,16		
Total	3,49	20			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,14193
 Error: 0,1597 gl: 12

Figura 9A. Análisis de varianza del número de hojas por planta a los 30, 45, 60 y 75 días después de la siembra (DDS).

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Inserción	21	0,68	0,47	6,12

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	738,25	8	92,28	3,25	0,0327
Repetición	73,39	2	36,69	1,29	0,3107
Tratamientos	664,86	6	110,81	3,90	0,0215
Error	341,14	12	28,43		
Total	1079,39	20			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=15,23648
Error: 28,4283 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T3	96,73	3	3,08 A
T2	89,20	3	3,08 A B
T7	88,90	3	3,08 A B
T6	88,53	3	3,08 A B
T1	87,27	3	3,08 A B
T5	80,13	3	3,08 B
T4	78,70	3	3,08 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
longitud	21	0,64	0,41	3,92

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	7,32	8	0,92	2,70	0,0586
Repetición	1,58	2	0,79	2,33	0,1395
Tratamientos	5,75	6	0,96	2,83	0,0591
Error	4,06	12	0,34		
Total	11,39	20			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,66258
Error: 0,3385 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T1	15,73	3	0,34 A
T3	15,23	3	0,34 A
T7	15,13	3	0,34 A
T6	14,80	3	0,34 A
T2	14,43	3	0,34 A
T4	14,33	3	0,34 A
T5	14,17	3	0,34 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diámetro.M	21	0,86	0,76	1,67

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	42,65	8	5,33	9,10	0,0005
Repetición	6,26	2	3,13	5,34	0,0219
Tratamientos	36,39	6	6,06	10,35	0,0004
Error	7,03	12	0,59		
Total	49,68	20			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=2,18758
Error: 0,5860 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T1	47,98	3	0,44 A
T7	47,10	3	0,44 A B
T5	45,88	3	0,44 A B
T6	45,61	3	0,44 B C
T3	45,45	3	0,44 B C
T4	44,92	3	0,44 B C
T2	43,62	3	0,44 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
P.mazorca	21	0,94	0,90	4,04

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	9937,23	8	1242,15	22,59	<0,0001
Repetición	103,97	2	51,99	0,95	0,4157
Tratamientos	9833,25	6	1638,88	29,80	<0,0001
Error	659,93	12	54,99		
Total	10597,15	20			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=21,19170
Error: 54,9938 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T1	215,23	3	4,28 A
T7	198,60	3	4,28 A B
T6	197,00	3	4,28 A B
T3	192,73	3	4,28 B
T5	169,93	3	4,28 C
T4	155,90	3	4,28 C
T2	154,70	3	4,28 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento	21	0,40	0,01	14,26

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5,91	8	0,74	1,01	0,4737
Repetición	3,77	2	1,88	2,59	0,1163
Tratamientos	2,14	6	0,36	0,49	0,8035
Error	8,74	12	0,73		
Total	14,66	20			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=2,43898
Error: 0,7285 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T1	6,65	3	0,49 A
T6	6,09	3	0,49 A
T2	6,01	3	0,49 A
T7	5,99	3	0,49 A
T5	5,82	3	0,49 A
T4	5,79	3	0,49 A
T3	5,55	3	0,49 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
número de granos	21	0,42	0,04	8,98

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	14803,76	8	1850,47	1,10	0,4264
Repetición	6458,27	2	3229,14	1,92	0,1896
Tratamientos	8345,48	6	1390,91	0,83	0,5718
Error	20220,45	12	1685,04		
Total	35024,21	20			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=117,30426
Error: 1685,0377 gl: 12

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T3	490,93	3	23,70 A
T6	472,33	3	23,70 A
T1	466,50	3	23,70 A
T2	458,30	3	23,70 A
T5	444,87	3	23,70 A
T4	436,87	3	23,70 A
T7	429,60	3	23,70 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Figura 10A. Análisis de varianza de la inserción, longitud, diámetro y peso de la mazorca; rendimiento del grano y número de granos por mazorca.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
altura	18	0,94	0,90	7,82

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	711,71	7	101,67	24,10	<0,0001
Columnal	53,82	2	26,91	6,38	0,0164
Tratamientos	657,89	5	131,58	31,19	<0,0001
Error	42,19	10	4,22		
Total	753,91	17			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=5,82522

Error: 4,2192 gl: 10

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
altura	18	0,74	0,56	13,25

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	557,65	7	79,66	4,04	0,0234
Repetición	12,05	2	6,03	0,31	0,7436
Tratamientos	545,59	5	109,12	5,53	0,0107
Error	197,42	10	19,74		
Total	755,07	17			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=12,60080

Error: 19,7423 gl: 10

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
altura	18	0,90	0,84	11,78

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2247,60	7	321,09	13,61	0,0002
Repetición	59,36	2	29,68	1,26	0,3257
Tratamientos	2188,25	5	437,65	18,55	0,0001
Error	235,96	10	23,60		
Total	2483,57	17			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=13,77597

Error: 23,5964 gl: 10

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
altura	18	0,93	0,88	11,24

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3182,24	7	454,61	19,57	<0,0001
Repetición	66,26	2	33,13	1,43	0,2852
Tratamientos	3115,98	5	623,20	26,82	<0,0001
Error	232,34	10	23,23		
Total	3414,58	17			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=13,66989

Error: 23,2344 gl: 10

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
altura	18	0,75	0,57	14,52

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	893,79	7	127,68	4,19	0,0207
Repetición	1,12	2	0,56	0,02	0,9818
Tratamientos	892,66	5	178,53	5,86	0,0087
Error	304,55	10	30,46		
Total	1198,34	17			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=15,65052

Error: 30,4551 gl: 10

Figura 11A. Análisis de varianza de la altura de la planta de soya a los 30, 45, 60, 75 y 90 días después de la siembra (DDS).

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
N. vainas	18	0,48	0,12	46,53

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	538,38	7	76,91	1,35	0,3237
Repetición	184,75	2	92,38	1,62	0,2466
Tratamientos	353,63	5	70,73	1,24	0,3611
Error	571,75	10	57,18		
Total	1110,13	17			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=21,44382
Error: 57,1750 gl: 10

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T5	23,00	3	4,37 A
T3	18,00	3	4,37 A
T2	17,00	3	4,37 A
T4	16,00	3	4,37 A
T7	15,50	3	4,37 A
T6	8,00	3	4,37 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
N. nódulos	18	0,34	0,00	337,46

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	36,22	7	5,17	0,75	0,6380
Repetición	8,44	2	4,22	0,61	0,5609
Tratamientos	27,78	5	5,56	0,81	0,5704
Error	68,89	10	6,89		
Total	105,11	17			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=7,44344
Error: 6,8889 gl: 10

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T4	3,33	3	1,52 A
T3	1,33	3	1,52 A
T6	0,00	3	1,52 A
T2	0,00	3	1,52 A
T7	0,00	3	1,52 A
T5	0,00	3	1,52 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Masa Fresca	18	0,81	0,68	15,25

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	304,56	7	43,51	6,09	0,0057
Repetición	25,17	2	12,58	1,76	0,2212
Tratamientos	279,39	5	55,88	7,82	0,0031
Error	71,46	10	7,15		
Total	376,02	17			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=7,58095
Error: 7,1458 gl: 10

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T7	22,20	3	1,54 A
T2	19,95	3	1,54 A
T5	19,78	3	1,54 A
T3	17,36	3	1,54 A B
T4	15,95	3	1,54 A B
T6	9,92	3	1,54 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso fresco raíz	18	0,50	0,14	36,40

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5,79	7	0,83	1,40	0,3022
Repetición	0,22	2	0,11	0,19	0,8323
Tratamientos	5,57	5	1,11	1,89	0,1829
Error	5,89	10	0,59		
Total	11,67	17			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2,17564
Error: 0,5885 gl: 10

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T4	3,02	3	0,44 A
T5	2,35	3	0,44 A
T7	2,26	3	0,44 A
T2	2,15	3	0,44 A
T3	1,59	3	0,44 A
T6	1,29	3	0,44 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
P.fres.vainas	18	0,20	0,00	87,52

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	69,98	7	10,00	0,36	0,9052
Repetición	25,23	2	12,61	0,46	0,6465
Tratamientos	44,76	5	8,95	0,32	0,8877
Error	276,75	10	27,68		
Total	346,74	17			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=14,91916
Error: 27,6752 gl: 10

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T5	7,66	3	3,04 A
T2	7,38	3	3,04 A
T4	6,84	3	3,04 A
T3	5,71	3	3,04 A
T7	5,52	3	3,04 A
T6	2,96	3	3,04 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Masa seca	18	0,41	0,00	51,39

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	50,94	7	7,28	0,97	0,4983
Repetición	26,13	2	13,07	1,75	0,2234
Tratamientos	24,81	5	4,96	0,66	0,6594
Error	74,75	10	7,47		
Total	125,69	17			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=7,75347
Error: 7,4747 gl: 10

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T4	6,59	3	1,58 A
T5	6,51	3	1,58 A
T7	5,66	3	1,58 A
T3	5,31	3	1,58 A
T6	4,71	3	1,58 A
T2	3,14	3	1,58 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Figura 12A. Análisis de varianza del número de vainas por planta; número de nódulos; masa fresca; peso fresco de la raíz; peso fresco de vaina y masa seca a los 90 DDS.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso seco raíz	18	0,38	0,00	58,50

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,43	7	0,20	0,87	0,5598
Repetición	0,21	2	0,10	0,45	0,6523
Tratamientos	1,22	5	0,24	1,04	0,4454
Error	2,35	10	0,24		
Total	3,78	17			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,37505
 Error: 0,2351 gl: 10

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T2	1,31	3	0,28 A
T4	0,95	3	0,28 A
T5	0,90	3	0,28 A
T3	0,67	3	0,28 A
T7	0,63	3	0,28 A
T6	0,52	3	0,28 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
P. fres.vainas	18	0,61	0,33	61,15

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	27,47	7	3,92	2,19	0,1260
Repetición	8,92	2	4,46	2,49	0,1326
Tratamientos	18,55	5	3,71	2,07	0,1530
Error	17,91	10	1,79		
Total	45,38	17			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=3,79527
 Error: 1,7910 gl: 10

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T5	3,66	3	0,77 A
T4	3,09	3	0,77 A
T2	2,50	3	0,77 A
T3	1,80	3	0,77 A
T7	1,45	3	0,77 A
T6	0,63	3	0,77 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 13A. Análisis de varianza del peso seco de la raíz y peso seco de vainas de la soya a los 90 DDS.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Numero de vainas	18	0,86	0,77	27,29

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2542,60	7	363,23	9,11	0,0012
Repetición	233,36	2	116,68	2,93	0,0999
Tratamientos	2309,24	5	461,85	11,58	0,0007
Error	398,81	10	39,88		
Total	2941,40	17			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=17,90935
 Error: 39,8806 gl: 10

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T5	44,50	3	3,65 A
T4	28,50	3	3,65 A B
T7	21,50	3	3,65 B C
T2	21,00	3	3,65 B C
T6	14,33	3	3,65 B C
T3	9,00	3	3,65 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Numero de nódulos	18	0,39	0,00	276,26

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3,72	7	0,53	0,90	0,5399
Repetición	1,44	2	0,72	1,23	0,3339
Tratamientos	2,28	5	0,46	0,77	0,5901
Error	5,89	10	0,59		
Total	9,61	17			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=2,17629
 Error: 0,5889 gl: 10

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T4	1,00	3	0,44 A
T3	0,33	3	0,44 A
T7	0,33	3	0,44 A
T5	0,00	3	0,44 A
T2	0,00	3	0,44 A
T6	0,00	3	0,44 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 14A. Análisis de varianza del número de vainas por planta y número de nódulos a los 115 días después de la siembra (DDS).

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Masa fresca	18	0,43	0,03	86,72

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	286,94	7	40,99	1,07	0,4471
Repetición	15,72	2	7,86	0,20	0,8182
Tratamientos	271,22	5	54,24	1,41	0,2996
Error	383,96	10	38,40		
Total	670,90	17			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=17,57283
 Error: 38,3959 gl: 10

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T5	13,22	3	3,58 A
T4	9,63	3	3,58 A
T7	9,16	3	3,58 A
T6	4,84	3	3,58 A
T2	4,40	3	3,58 A
T3	1,63	3	3,58 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso fresco raíz	18	0,54	0,21	39,65

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5,38	7	0,77	1,65	0,2282
Repetición	0,50	2	0,25	0,54	0,6010
Tratamientos	4,88	5	0,98	2,09	0,1498
Error	4,66	10	0,47		
Total	10,04	17			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,93633
 Error: 0,4662 gl: 10

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T5	2,56	3	0,39 A
T4	2,17	3	0,39 A
T7	1,83	3	0,39 A
T2	1,41	3	0,39 A
T6	1,31	3	0,39 A
T3	1,05	3	0,39 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso fresco vainas	18	0,43	0,03	126,90

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	78,26	7	11,18	1,07	0,4454
Repetición	14,42	2	7,21	0,69	0,5237
Tratamientos	63,85	5	12,77	1,22	0,3664
Error	104,39	10	10,44		
Total	182,65	17			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=9,16271
 Error: 10,4388 gl: 10

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T5	6,42	3	1,87 A
T4	3,12	3	1,87 A
T7	2,06	3	1,87 A
T2	1,64	3	1,87 A
T6	1,40	3	1,87 A
T3	0,65	3	1,87 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Masa seca	18	0,41	0,00	79,18

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	93,17	7	13,31	0,99	0,4886
Repetición	6,81	2	3,41	0,25	0,7809
Tratamientos	86,36	5	17,27	1,29	0,3429
Error	134,35	10	13,44		
Total	227,52	17			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=10,39491
 Error: 13,4352 gl: 10

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T5	8,22	3	2,12 A
T7	6,30	3	2,12 A
T4	4,91	3	2,12 A
T2	4,00	3	2,12 A
T6	2,72	3	2,12 A
T3	1,63	3	2,12 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Figura 15A. Análisis de varianza de la masa fresca; peso fresco de la raíz; peso fresco de vainas y masa seca a los 115 días después de la siembra (DDS).

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso seco raíz	18	0,49	0,13	42,33

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4,22	7	0,60	1,37	0,3132
Repetición	0,28	2	0,14	0,32	0,7311
Tratamientos	3,93	5	0,79	1,79	0,2019
Error	4,39	10	0,44		
Total	8,60	17			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,87813
 Error: 0,4386 gl: 10

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T5	2,38	3	0,38 A
T4	1,93	3	0,38 A
T7	1,58	3	0,38 A
T2	1,28	3	0,38 A
T6	1,22	3	0,38 A
T3	1,00	3	0,38 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso seco vainas	18	0,39	0,00	105,74

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	26,14	7	3,73	0,90	0,5433
Repetición	3,56	2	1,78	0,43	0,6632
Tratamientos	22,58	5	4,52	1,09	0,4247
Error	41,62	10	4,16		
Total	67,76	17			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=5,78564
 Error: 4,1620 gl: 10

Tratamientos	Medias	n	E.E.
T5	3,93	3	1,18 A
T7	2,39	3	1,18 A
T4	2,32	3	1,18 A
T2	1,42	3	1,18 A
T6	1,01	3	1,18 A
T3	0,50	3	1,18 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Figura 16A. Análisis de varianza del peso seco de la raíz y vainas de soja a los 115 días después de la siembra (DDS).

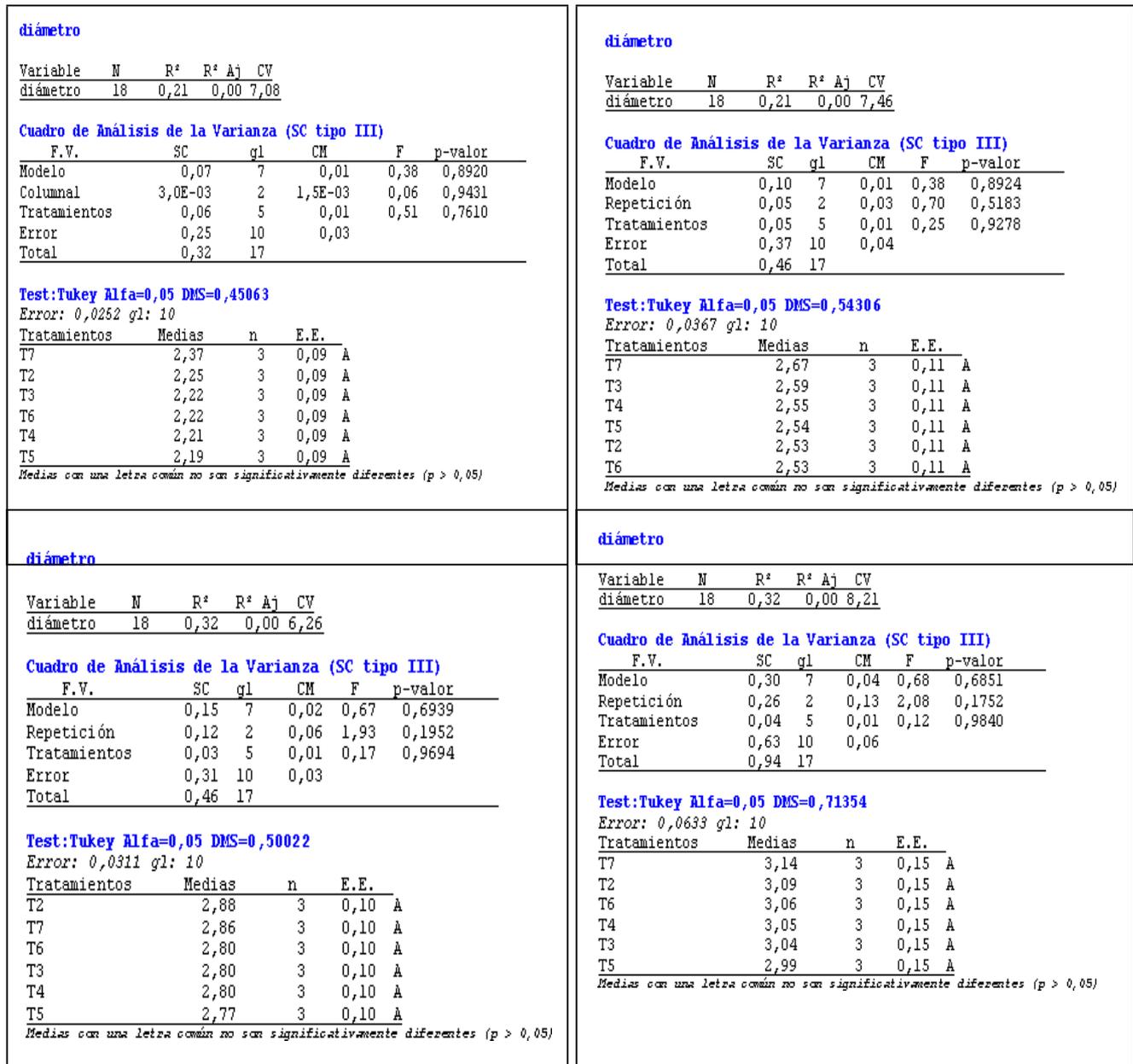


Figura 17A. Análisis de varianza del diámetro del tallo de soja a los 30, 45, 60 y 75 días después de la siembra (DDS).

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
diámetro	18	0,29	0,00	8,87

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,36	7	0,05	0,57	0,7640
Repetición	0,30	2	0,15	1,67	0,2361
Tratamientos	0,06	5	0,01	0,13	0,9814
Error	0,89	10	0,09		
Total	1,25	17			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,84636
Error: 0,0891 gl: 10

Figura 18A. Análisis de varianza del diámetro del tallo de soya a los 90 días después de la siembra (DDS).

100%

FERTILIZANTE	Cantidad Fertilizante kg/ha	Sacos (45kg) /ha	g/planta	N	P205	K2O	Ca	Mg	S	
				150	30	60	21	21	7	
YARAMILA (12,4-11--18-2,7-8)	88	2	2	11	10	16	0	2	7	V3-V4 (15dds)
DAP (18-46)	43	1	1	8	20	0	0	0	0	V3-V4 (15dds)
Nitrato de amonio (34-0-0)	193	4	4	66						V9 (30dds)
Nitrato de amonio (34-0-0)	193	4	4	65	0	0				(60dds)
				150	30	16	0	2	7	

75%

FERTILIZANTE	Cantidad Fertilizante kg/ha	Sacos (45kg) /ha	g/planta	N	P205	K2O	Ca	Mg	S	
				150	30	60	21	21	7	
YARAMILA (12,4-11--18-2,7-8)	88	2	2	11	10	16	0	2	7	V3-V4 (15dds)
DAP (18-46)	44	1	1	8	20	0	0	0	0	V3-V4 (15dds)
Nitrato de amonio (34-0-0)	139	3	3	47	0	0				V9 (30dds)
Nitrato de amonio (34-0-0)	139	3	3	47	0	0				(60dds)
				113	30	16	0	2	7	

50%

FERTILIZANTE	Cantidad Fertilizante kg/ha	Sacos (45kg) /ha	g/planta	N	P205	K2O	Ca	Mg	S	
				150	30	60	21	21	7	
YARAMILA (12,4-11--18-2,7-8)	88	2	2	11	10	16	0	2	7	V3-V4 (15dds)
DAP (18-46)	43	1	1	8	20	0	0	0	0	V3-V4 (15dds)
Nitrato de amonio (34-0-0)	84	2	2	29	1	9				V9 (30dds)
Nitrato de amonio (34-0-0)	84	2	2	29	0	0				(60dds)
				76	32	33	0	2	7	

Tabla 4. Plan de fertilización



Figura 27A. A) Toma de datos de cultivo de maíz a los 30 días; B) Aplicación de insecticida; C) Cultivo de maíz asociado a soya.

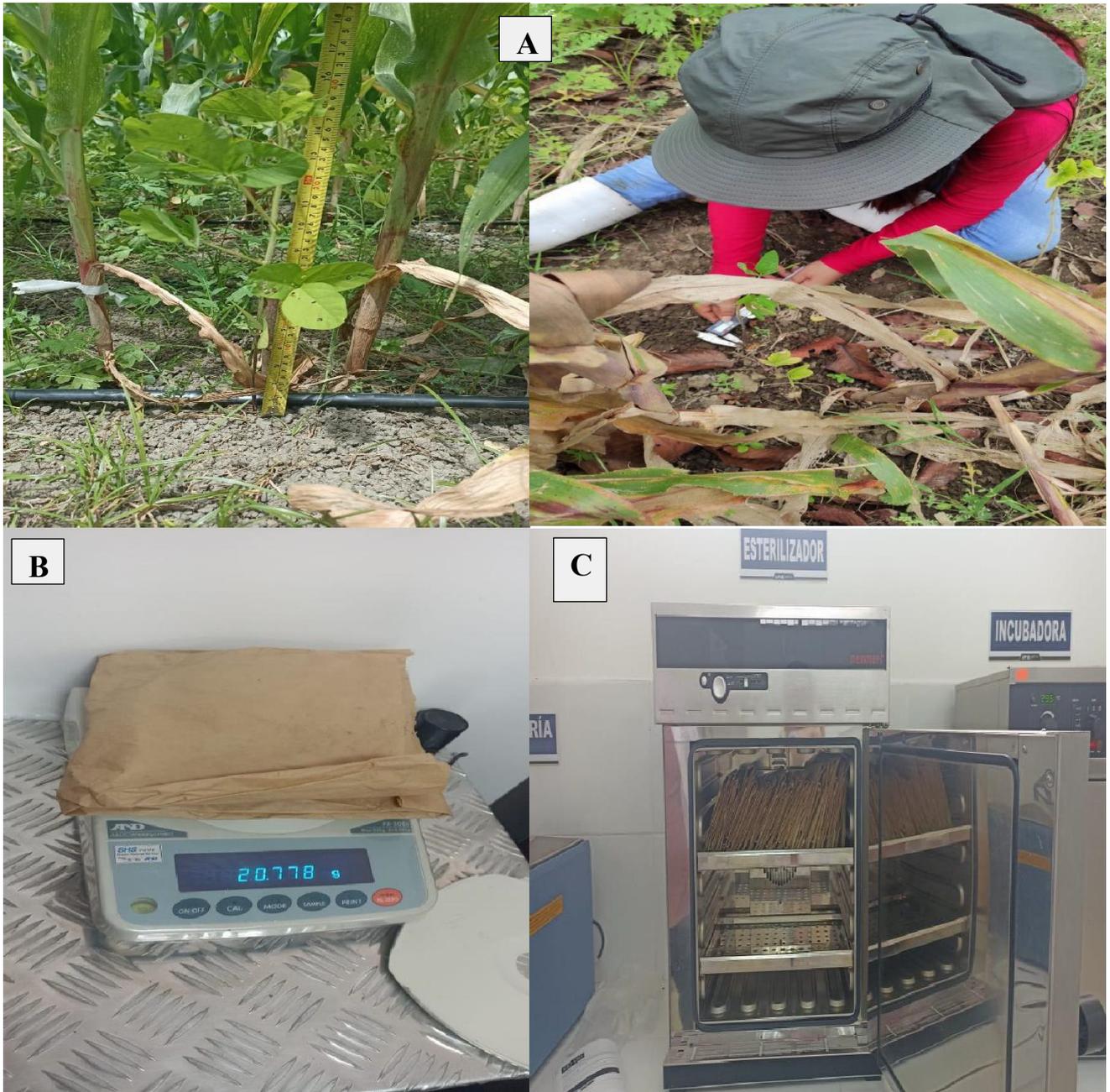


Figura 36A. A) Toma de datos del cultivo de soja; B) Pesado de muestras; C) Secado de muestras de plantas de soja.



Figura 44A. A) Cosecha de maíz; B) Inoculante comercial utilizado; C) Nódulos encontrados en las raíces de soja.