



“Por un Desarrollo
Agrario
Integral y Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Trabajo de Tesis

Efecto de la inoculación con rizobios y micorrizas sobre el crecimiento, rendimiento y la rentabilidad del cultivo de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), Sabana Grande, Managua, 2021

Autores

Br. Fátima Polanco Norori
Br. Marisol Vanegas Acuña

Asesores

Ing. M.Sc. Leonardo García Centeno
Ing. José René Jarquín Díaz

**Managua, Nicaragua
Febrero, 2023**





“Por un Desarrollo
Agrario
Integral y Sostenible”

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

Trabajo de Tesis

Efecto de la inoculación con rizobios y micorrizas sobre el crecimiento, rendimiento y la rentabilidad del cultivo de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), Sabana Grande, Managua, 2021

Autores

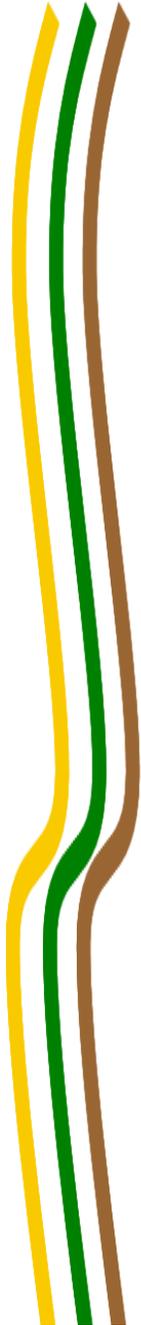
Br. Fátima Polanco Norori
Br. Marisol Vanegas Acuña

Asesores

Ing. M.Sc. Leonardo García Centeno
Ing. José René Jarquín Díaz

Presentado a la consideración del honorable comité evaluador como requisito final para optar al grado de Ingeniero Agrónomo

**Managua, Nicaragua
Febrero, 2023**



Hoja de aprobación del Comité Evaluador

Este trabajo de graduación fue evaluado y aprobado por el honorable comité evaluador designado por la decanatura de la Facultad de agronomía como requisito parcial para optar al título profesional de:

Ingeniero Agrónomo

Miembros del Comité Evaluador

MSc. Isidro Salinas Marcenaro
Presidente

MSc. Martha Moraga Quezada
Secretario

Ing. Miguel Jerónimo Ríos
Vocal

Lugar y Fecha: Facultad de Agronomía, Sala Magna, 22 de febrero de 2023

DEDICATORIA

Dedico el esfuerzo y realización del presente trabajo de investigación a **Dios y a la Virgen Santísima**, por guiarme, iluminarme y protegerme en todo momento.

A mis Ángeles que están en el cielo; **Rufino Polanco y Juan Carlos Polanco (Q.E.P.D)**, quienes fueron y seguirán siendo inspiración de esfuerzo y dedicación.

A mi amada Madre; **Angela Norori Rodríguez**, quien me ha sabido educar con su ejemplo y me ha mostrado el valor del trabajo en el campo, a esa gran mujer luchadora e incansable todo mi respeto, amor y admiración.

A mi amado esposo **German Alberto Toval** e hija **Alondra Fernanda Toval Polanco**, quienes son pilar fundamental en cada actividad que realizo y que sin el apoyo de ellos alcanzar esta meta hoy no sería posible.

A mis hermanos; Mercedes, Rufino, Ivonne, Angela, Wendely, Ana, Pilar y Michell, quienes me han brindado su apoyo incondicional

Br. Fátima Polanco Norori

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico especialmente a **Dios** y la **Virgen Santísima**, por su gran amor e infinita misericordia, por haberme brindado sabiduría, y fuerza para continuar en este proceso de culminación de la carrera.

A mi madre **Rosa Argentina Acuña**, por su amor y apoyo en todos los momentos de mi vida por todo eso y mucho más gracias, Madre. A mis hermanas **Nancy Ivania, Rosa Elena y José Mariano** por estar siempre presentes, acompañándome y por el apoyo moral que me han brindado a lo largo de esta nueva etapa de mi vida.

A mi esposo **Lorenzo José Alejos Medina** por todo su apoyo y comprensión constante durante todo el proceso de mis estudios y mi hija **Celia María Alejos Vanegas** quien ha sido mi mayor motivación para nunca rendirme en los estudios y poder llegar a ser un ejemplo para ella.

A mis estimados y apreciables amigos **Ing. MSc. Agustina Mercedes Matus, Lic. MSc. Isaías Sánchez Gómez e Ing. Arnoldo Rodríguez** por todos los consejos de ánimo y motivación que me han brindado, por todo esto y mucho más, muchas Gracias.

A mis estimadas amigas y compañeras de clases **Martha Daniela Payan y Fátima María Polanco Norori** que iniciamos esta maravillosa aventura y no puedo dejar de recordar cuantos días y horas de trabajo nos juntamos a lo largo de nuestra formación. Estamos por concluir una experiencia maravillosa en esta historia de nuestras vidas y no puedo de dejar de agradecerles por su apoyo y constancia, al estar en las horas más difíciles, por compartir horas de estudio. Gracias por estar siempre ahí.

Br. Marisol Vanegas Acuña

AGRADECIMIENTO

A Dios, quien con su gracia y misericordia nos ha permitido culminar con éxitos la carrera, que se constituye en un nuevo logro personal y profesional en nuestras vidas.

A nuestros asesores, MSc. Leonardo García e Ing. José René Jarquín, por su gran disposición y apoyo incondicional en todas las etapas de la elaboración de nuestra tesis.

A la **Universidad Nacional Agraria (UNA)** por habernos dado la oportunidad de seguimos formando profesionalmente.

A la Señora: **Angela Norori** propietaria de finca “**Los Ángeles**” y su hijo: **Rufino Norori**, por habernos facilitado el área donde se realizó el ensayo para nuestro trabajo de culminación de estudio.

A nuestros grandes amigos y maestros quienes estuvieron ahí dándonos una mano cada vez que lo necesitamos; **Ing. MSc. Gregorio Varela (Q.E.P.D)**, **Ing. MSc. Mercedes Matus**, **Ing. Arnoldo Rodríguez**, **Lic. MSc Isaiás Sánchez** y **Lic. MSc. Martha Daniela Payan**.

Por ultimo y no menos importante, a nuestros compañeros de clases quienes a través de sus experiencias enriquecieron nuestros conocimientos.

Br. Fátima Polanco Norori

Br. Marisol Vanegas Acuña

INDICE DE CONTENIDO

SECCIÓN	PÁGINA
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	iii
INDICE DE CUADROS	iv
INDICE DE FIGURAS	v
INDICE DE ANEXOS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos específicos	3
III. MARCO DE REFERENCIA	4
3.1. Origen y distribución del cultivo de frijol	4
3.2. Importancia socioeconómica del cultivo del frijol	4
3.3. Requerimientos edafoclimáticos del cultivo del frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	5
3.4. Etapas fenológicas del cultivo de frijol	5
3.5. Microorganismos asociados al cultivo del frijol	7
3.5.1. Bacterias	7
3.5.2. Simbiosis Rizobios -leguminosa	8
3.5.3. Hongos micorrízicos arbusculares	8
3.5.4. Simbiosis micorrizas - leguminosa	9
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	11
4.1. Ubicación y descripción del área de estudio	11
4.1.1. Características edafoclimáticas del área de estudio	12
4.2. Diseño metodológico	14
4.3. Material biológico y tipos de fertilizantes sintéticos utilizado	15
4.4. Manejo agronómico del ensayo	16
4.4.1. Preparación del terreno	16
4.4.2. Prueba de germinación	16
4.4.3. Inoculación de la semilla	16

4.4.4.	Fertilización sintética	17
4.4.5.	Siembra	17
4.4.6.	Manejo de plagas y enfermedades	17
4.4.7.	Aporque	17
4.4.8.	Manejo de arvenses	17
4.4.9.	Cosecha	18
4.5.	Variables evaluadas	18
4.5.1.	Variables morfofisiológicas	18
4.5.2.	Variables de rendimiento	19
4.6.	Recolección de datos y análisis de datos	20
4.7.	Análisis económico	21
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
5.1.	Variables morfofisiológicas	22
5.1.1.	Nódulos activos	22
5.1.2.	Peso seco de raíz	25
5.1.3.	Biomasa seca aérea	27
5.1.4.	Contenido de Nitrógeno total en la biomasa (kg ha ⁻¹)	29
5.1.5.	Correlación entre peso de biomasa seca aérea y nitrógeno total en biomasa	31
5.2.	Variables de rendimiento	33
5.2.1.	Vainas por planta	33
5.2.2.	Rendimiento de grano	35
5.2.3.	Nitrógeno total en grano	37
5.3.	Análisis económico	39
5.3.1.	Análisis de presupuesto parcial	39
5.3.2.	Análisis de dominancia y tasa de retorno marginal	42
VI.	CONCLUSIONES	45
VII.	RECOMENDACIONES	46
VIII.	LITERATURA CITADA	47
IX.	ANEXOS	56

INDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1.	Condiciones agroecológicas óptimas para el cultivo del fríjol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	5
2.	Etapas de desarrollo del cultivo del frijol	6
3.	Características químicas del suelo del área del ensayo	13
4.	Descripción de los tratamientos evaluados en el cultivo de frijol	15
5.	Características agronómicas del cultivo de frijol variedad INTA-Rojo	15
6.	Biomasa seca aérea (kg ha ⁻¹) en los tratamientos evaluados en el cultivo de frijol	28
7.	Contenido de Nitrógeno total en la biomasa (kg ha ⁻¹) en los tratamientos evaluados en el cultivo de frijol	30
8.	Presupuesto parcial de los tratamientos en estudio en el cultivo de frijol	41
9.	Análisis de dominancia para los tratamientos evaluados en el cultivo de frijol	43
10.	Tasa de Retorno Marginal para los tratamientos evaluados en el cultivo de frijol	44

INDICE DE FIGURAS

CUADRO		PÁGINA
1.	Etapas de desarrollo del cultivo del frijol	6
2.	Ubicación geográfica del sitio de estudio	11
3.	Climograma de promedios mensuales de precipitación (barras) y temperatura (línea) registro anual	13
4.	Peso seco de raíz (g) en los tres momentos evaluados en el cultivo de frijol	26
5.	Crecimiento del sistema radical en los tratamientos evaluados en el cultivo de frijol	27
6.	Correlación entre peso de biomasa seca aérea y nitrógeno total acumulado en el cultivo de frijol	32
7.	Vainas por plantas de los tratamientos en estudio en el cultivo de frijol	34
8.	Rendimiento de grano (kg ha^{-1}) de los tratamientos en estudio en el cultivo de frijol	35
9.	Distribución de precipitaciones durante el ciclo del cultivo de frijol	36
10.	Nitrógeno total de grano (kg ha^{-1}) de los tratamientos en estudio en el cultivo de frijol	38
11.	Curva de beneficios netos, para los tratamientos evaluados en el cultivo de frijol	42

INDICE DE ANEXOS

ANEXO		PÁGINA
1.	Plano de campo	56
2.	Análisis Físico – Químico de suelo	57
3.	Preparación del terreno para establecimiento del cultivo de frijol	58
4.	Delimitación de parcela y bloques para establecimiento del cultivo de frijol	58
5.	Preparación e inoculación de la semilla de frijol para establecimiento en campo	58
6.	Resultados de análisis de nitrógeno total en biomasa a los 30,45 y 60 dds en el cultivo de frijol	59
7.	Resultados de análisis de nitrógeno total en grano	59
8.	Muestreo de frijol por tratamiento a los 60 dds	60
9.	Cosecha y secado de grano del frijol	60
10.	Resultados de los análisis de varianza de las variables evaluadas	61

RESUMEN

El incremento de la productividad agrícola de especies de importancia alimenticia y nutricional como las leguminosas a través de una mayor eficiencia del proceso de fijación biológica de nitrógeno, se considera un objetivo importante de investigación y desarrollo a nivel mundial. En este contexto, el trabajo tiene como objetivo evaluar la respuesta del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de campo a la inoculación con rizobios y micorriza sobre el rendimiento de grano y la rentabilidad económica del cultivo en suelos de Sabana Grande, Managua, en época de postrera. Se utilizó un diseño en bloques completos al azar, con seis tratamientos y cuatro repeticiones. Las variables evaluadas fueron: nódulos activos, peso seco de raíz, biomasa seca aérea, porcentaje de nitrógeno total en la biomasa, vainas por planta, rendimiento de grano y nitrógeno total en grano. Los datos se procesaron usando el Análisis de Varianza para detectar significancia y la prueba de rangos múltiples de Tukey ($P < 0.05$) para la comparación de medias. El análisis económico se realizó a través de un presupuesto parcial, análisis de dominancia y tasa de retorno marginal. Los resultados indican que no se detectó evidencia de nodulación, sin embargo, hubo efecto de tratamiento en las variables producción de biomasa, vainas por planta, rendimiento de grano y nitrógeno total acumulado, sobresaliendo con las medias más alta los tratamientos donde se empleó Urea 46% N₂, ya sea de forma independiente o combinada con cualquiera de los dos inóculos. El análisis económico reveló que el tratamiento más rentable fue la fertilización con Urea 46% N₂, seguido de la aplicación de micorriza a la siembra con una tasa de retorno de US\$ 1.14 y US\$ 0.88 respectivamente. Para estudios posteriores sería importante considerar el uso de otro tipo de cepas de rizobios y evaluar variables de colonización de micorriza para identificar mejor sus efectos.

Palabras claves: Rizobios, Micorriza, Nitrógeno, inoculante, rentable.

ABSTRACT

Increasing the agricultural productivity of food-important and nutritionally important species such as legumes through increased efficiency of the biological nitrogen fixation process is considered an important global research and development objective. In this context, the following work aims to evaluate the response of bean cultivation (*Phaseolus vulgaris* L.) in field conditions to inoculation with rhizobia and mycorrhiza on the grain yield and the economic profitability of the crop in soils of Sabana Grande, Managua, in the last season. A randomized complete block design was used, with six treatments and four replications. The variables evaluated were active nodules, dry root weight, aerial dry biomass, percentage of total nitrogen in the biomass, pods per plant, grain yield and total grain nitrogen. Data were processed using Analysis of Variance to detect significance and Tukey's multiple range test ($P < 0.05$) for mean comparison. The economic analysis was performed through a partial budget, dominance analysis and marginal rate of return. The results indicate that no evidence of nodulation was detected, however, there was a treatment effect on the variables biomass production, pods per plant, grain yield and total accumulated nitrogen, standing out with the highest averages the treatments where Urea 46% N₂ was used, either independently or combined with either of the two inoculums. The economic analysis revealed that the most profitable treatment was fertilization with Urea 46% N₂, followed by the application of mycorrhiza to planting with a rate of return of US\$ 1.14 and US\$ 0.88, respectively. For further studies it would be important to consider the use of other types of rhizobia strains and evaluate mycorrhizal colonization variables to better identify their effects.

Keywords: Rhizobia, Mycorrhiza, Nitrogen, inoculant, profitable.

I. INTRODUCCIÓN

En el grupo de las leguminosas comestibles, el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es una de las más importantes en el mundo, por ser complemento nutricional indispensable en la dieta alimentaria. Según la Asociación de Productores de Santa Lucía (ASOPROL), en Nicaragua esta especie es después del maíz (*Zea mays* L.) el principal alimento básico de los y las nicaragüenses, y constituye la fuente de proteína más importante y barata para nuestra sociedad. El consumo per cápita promedio en Nicaragua es de 26.1 kg año⁻¹ y es el más alto en Centroamérica, sin embargo, varía año con año dependiendo de la producción, las importaciones, las exportaciones, precio y existencias (ASOPROL, 2009).

De acuerdo con la Fundación para el Desarrollo Tecnológico Agropecuario y Forestal de Nicaragua (FUNICA, 2009), la mayor producción de frijol está en manos de pequeños productores, generalmente ubicados en terrenos de laderas y suelos marginales. Este tipo de productores se caracterizan por el poco uso de insumos, donde sólo algunas fincas destinadas a la producción de semilla son mecanizadas o irrigadas.

En este contexto de bajo desarrollo tecnológico, que la biofertilización se perfila como una alternativa económica que puede contribuir a potenciar el desarrollo productivo de este sector. Esta tecnología consiste en el uso de microorganismos, principalmente hongos y bacterias, que viven en simbiosis o asociadas a las plantas para aumentar la disponibilidad de nutrientes y brindar protección tanto a fitopatógenos como estreses abióticos (Grageda et al., 2012).

Dentro de este amplio grupo de microorganismos, uno de los más importantes es el género *Rhizobium*, que agrupa a bacterias gram negativas que establecen relaciones simbióticas con las raíces de leguminosas, formando nódulos en los cuales captan el nitrógeno atmosférico (N₂) y lo reducen a amoníaco¹, otorgándoselo a la leguminosa a cambio de carbono orgánico que utiliza como fuente de alimento.

¹ N₂ + 8H⁺⁺ + 8e⁻⁺ + 16 ATP → 2NH₃ + H₂ + 16ADP + 16 P_i

Este proceso se le conoce como fijación biológica de nitrógeno (FBN). Con el uso de *Rhizobium* la disponibilidad del nitrógeno para la planta puede aumentar entre 60 y 80 % (Cuadrado et al., 2009).

Otro tipo de microorganismos utilizados como biofertilizantes son las micorrizas de tipo vesículo - arbuscular (MVA), los cuales son hongos del Phylum Glomeromycota que se asocian a la raíz y ayudan a la planta a incrementar el volumen de raíces, facilitando la absorción de fósforo (P) principalmente, además de nitrógeno (N), potasio (K) y calcio (Ca), también contribuyen a tolerar cambios de temperatura y acidez (Grageda et al., 2012).

En la actualidad se han realizado estudios sobre el efecto de la inoculación con rizobios y/o micorrizas arbusculares en frijol común, donde se ha demostrado su capacidad para mejorar la productividad del cultivo (González et al., 2012). Sin embargo, los resultados son muy variables con relación a las condiciones edafoclimáticas, épocas de siembra, genotipos utilizados, entre otros. Es por ello, que se planteó esta investigación con el objetivo de evaluar la respuesta del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de campo a la inoculación con rizobios y micorriza en el rendimiento de grano y la rentabilidad económica del cultivo en suelos de la Comarca Sabana Grande, Managua, en la época de postera de 2021.

II. OBJETIVOS

2.1.Objetivo general

Evaluar la respuesta del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de campo a la inoculación con rizobios y micorrizas en el crecimiento, rendimiento y la rentabilidad del cultivo.

2.2.Objetivos específicos

1. Demostrar el efecto de la inoculación con rizobios y micorrizas sobre las variables de crecimiento, producción de nódulos y rendimiento del frijol.
2. Comparar el efecto de los inóculos con la fertilización sintética convencional sobre el rendimiento de grano en el cultivo de frijol.
3. Realizar el análisis de costo-beneficio de los tratamientos evaluados en el cultivo de frijol para identificar la tecnología más rentable.

III. MARCO DE REFERENCIA

3.1. Origen y distribución del cultivo de frijol

Según la Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas (FENALCE) (2010), los estudios arqueológicos indican que el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es originario del continente americano. Se han encontrado evidencias, con antigüedad de 5,000 a 8,000 años en algunas regiones de México, Estados Unidos y Perú. Existe un acuerdo relativo que indica a México como su lugar de origen, que también se disputa el Perú, por encontrarse ahí biotipos de las especies silvestres de los cinco grupos de frijoles más cultivados. Se dice que al principio del siglo XVI fueron los españoles quienes llevaron a Europa las primeras semillas de frijol; años después los portugueses lo difundieron en varios países africanos.

3.2. Importancia socioeconómica del cultivo del frijol

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L) es la fuente de proteínas que tiene más importancia en Nicaragua, es después del maíz el principal alimento básico de la población. El grano es rico en proteínas (22.3 %), hierro (7.9 %) y vitaminas (2.2 %). Además de su importancia nutricional, este cultivo genera más de 200 mil empleos directos e indirectos en la producción y comercialización nacional e internacional en forma de grano comercial y semilla. Por otra parte, el Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA), destaca que el consumo de este cultivo ayuda a reducir los riesgos de cáncer de colon, próstata y senos, así como en la reducción de la diabetes y el colesterol (INTA, 2009).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, por sus siglas en inglés), en Nicaragua la producción de frijol se efectúa en todas épocas de siembra, en alturas que varían entre 50 a 800 msnm y bajo condiciones variables de temperaturas y precipitación. La mayor intensidad de siembra se realiza en la época de postrera y apante, por coincidir la cosecha con la época seca. El área sembrada en manzana es de 330,000, con una productividad promedio de 860.4 kg ha⁻¹ de frijol para el periodo de 2019-2020 (FAO, 2020).

Este es un cultivo importante para la alimentación humana por su alto contenido de proteína y generar empleo e ingresos a las familias rurales. Actualmente el consumo aproximado por persona se estima en 30.45 kg año⁻¹ (cálculo a partir de datos oficiales del Ministerio Agropecuario -MAG) lo que corresponde a 82 g día⁻¹ (Solís, 2017).

Durante el ciclo productivo 2020 - 2021 se registró una producción de 209,091 t (+7.8% respecto al ciclo anterior), con un consumo aparente de 115,909.1 kg y exportaciones de 94,091 equivalente a US\$109.7 millones. Para el ciclo 2021 - 2022, se proyecta un crecimiento en la producción de 4.2%, y un volumen exportado por un valor de US\$103.3 millones (Gobierno de Reconciliación y Unidad Nacional, 2021).

3.3. Requerimientos edafoclimáticos del cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)

Cuadro 1. Condiciones agroecológicas óptimas para el cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)

Descripción	Requerimientos
Altitud (msnm)	300 - 1000
Temperatura (°C)	20 - 27
Precipitación (mm)	1200 - 2000
Textura	Franco, franco arcilloso, arcilloso, franco arenoso
Profundidad de suelo (cm)	Profundos a moderadamente profundos
Pendiente %	0- 15
Drenaje	Bueno
pH	6.5 - 7.5

Fuente: MAG-INETER 2010

3.4. Etapas fenológicas del cultivo de frijol

Las etapas de desarrollo del cultivo son diez, cinco de desarrollo vegetativo y cinco de desarrollo reproductivo, siendo que el número de días para las variedades mejoradas actuales oscilan entre 62 a 77 días a madures después de la siembra (INTA, 2009).

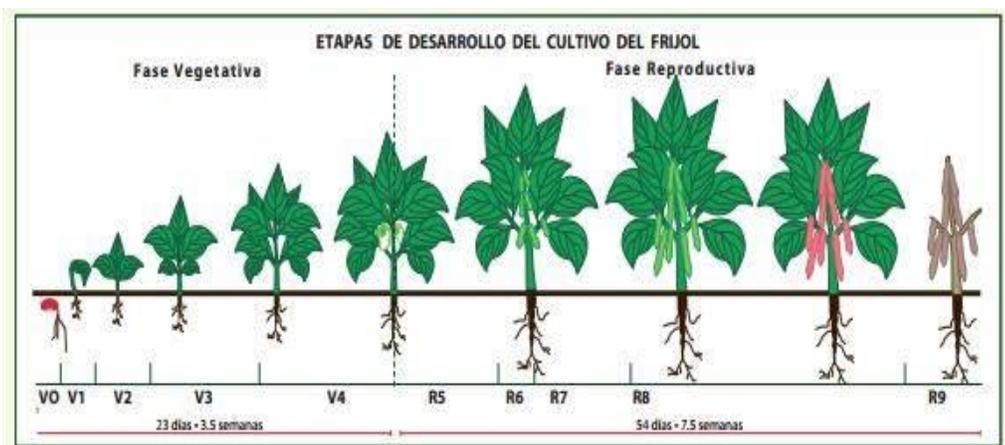


Figura 1. Etapas de desarrollo del cultivo del frijol. (Fuente: IICA, COSUDE, 2009. Proyecto RED SICTA. Guía de identificación y manejo integrado de las enfermedades del frijol en América Central).

Cuadro 2. Etapas de desarrollo del cultivo del frijol

Fase	Etapa	Código	DDS
Vegetativa	Germinación	V0	0-5
	Emergencia	V1	5-7
	Hojas primarias	V2	7-11
	Primera hoja trifoliada	V3	11-16
	Tercera hoja trifoliada	V4	16-23
Reproductiva	Prefloración	R5	23-32
	Floración	R6	32-36
	Formación de vainas	R7	36-44
	Llenado de vainas	R8	44-62
	Maduración	R9	62-77

Fuente: IICA, COSUDE, (2009).

DDS: días después de la siembra.

3.5. Microorganismos asociados al cultivo del frijol

Una multitud de diferentes especies de microorganismos están presentes en muchos suelos. La rizosfera del suelo se define como el volumen del suelo adyacente que está influenciada por las raíces de las plantas, y representa una región de intensa actividad microbiana (Westover et al., 1997). La rizosfera es un ambiente que la planta misma ayuda a crear y donde los microorganismos patógenos y benéficos constituyen una fuerte influencia sobre la salud y crecimiento de las plantas. El grupo de microorganismos y otros agentes que se encuentran en la rizosfera incluyen bacterias, hongos, nematodos, protozoos, algas y micro artrópodos (Johansson et al., 2004).

3.5.1. Bacterias

Existe un considerable número de especies bacterianas asociadas con la zona del suelo cercano a las raíces de las plantas, que son capaces de ejercer un efecto benéfico en su crecimiento. Este grupo de bacterias llamadas Rizobacterias Promotoras del Crecimiento en Plantas (PGPR, por sus siglas en inglés) incluye el género *Rhizobium* uno de los géneros más estudiados a nivel mundial (Sessitsch et al., 2002). *Rhizobium* spp. es un género de bacterias gran – negativas del suelo que fijan nitrógeno atmosférico. Pertenecen a un grupo de bacterias fijadoras de nitrógeno que se denominan colectivamente como rizobios (Sawada et al., 2003).

Estas bacterias se caracterizan por su habilidad de facilitar directa o indirectamente el desarrollo de la raíz y del follaje de las plantas. La estimulación indirecta del crecimiento de plantas incluye una variedad de mecanismos por los cuales la bacteria inhibe la acción fúngica sobre el crecimiento y desarrollo de la planta (Hassan et al., 1997; (Essalmani & Lahlou, 2003). La estimulación directa puede incluir la fijación de nitrógeno (Sessitsch et al., 2002), la producción de hormonas (Perrine et al., 2004), de enzimas (Mayak et al., 2004) de sideróforos (Rossum et al., 1994) y solubilización de fosfatos (Rodríguez & Fraga, 1999).

3.5.2. Simbiosis Rizobios -leguminosa

El nitrógeno es muy abundante en la atmósfera, sin embargo, las plantas no pueden utilizarlo en su forma elemental y tienen que obtenerlo del suelo principalmente en forma de nitratos (NO_3^-) o amonio, (NH_4^+). La fijación biológica de nitrógeno es un proceso clave en la biósfera, por el cual microorganismos portadores de la enzima nitrogenasa convierten el nitrógeno gaseoso en nitrógeno combinado. El grupo de bacterias al que se conoce colectivamente como rizobios, inducen en las raíces de las leguminosas la formación de estructuras especializadas llamadas nódulos, dentro de los cuales el nitrógeno gaseoso es reducido a amonio (NH_4^+).

Se estima que este proceso contribuye entre el 60-80 % de la fijación biológica de nitrógeno. La simbiosis es inhibida si existe un exceso de nitrato o amonio en el suelo. En esta simbiosis en los nódulos, la planta huésped obtiene nutrientes nitrogenados de la bacteria y ofrece a ésta una fuente de carbono y un ambiente favorable para fijar nitrógeno. Esta simbiosis contribuye con una parte considerable del nitrógeno combinado en la tierra y permite a las plantas leguminosas reducir su dependencia a fertilizantes nitrogenados y la remoción de nutrientes del suelo (Bécquer, 2002).

3.5.3. Hongos micorrízicos arbusculares

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) representan un grupo funcional clave, que afecta positivamente el crecimiento, la nutrición y la salud de las plantas. Los HMA son organismos biotróficos obligados que establecen simbiosis mutualistas con las raíces de todos los principales taxones de plantas terrestres, incluidos los cultivos alimenticios más importantes como cereales, legumbres, árboles frutales, hortalizas, plantas medicinales y otras especies económicamente relevantes como el girasol, el algodón, caña de azúcar, tabaco, café, té, cacao, caucho y yuca. Dentro de los cultivos alimenticios, las únicas excepciones están representadas por géneros y especies pertenecientes a Brassicaceae y Chenopodiaceae, que son plantas no micorrizas (Giovannini et al., 2020).

Según Smith & Read (2008), a cambio de los fotosintatos de las plantas, los HMA facilitan la absorción y transferencia de nutrientes minerales, como fósforo, nitrógeno, azufre, potasio, calcio, cobre y zinc, desde el suelo a sus plantas hospedantes por medio de los radicales libres. El micelio que es la estructura del hongo que se extiende desde las raíces colonizadas hacia el suelo, representa uno de los elementos críticos de la simbiosis, ya que el flujo de nutrientes trasladados a las células de la raíz de las plantas huésped depende en gran medida de su estructura, extensión e interconexión.

El micelio funciona como un sistema de absorción eficiente, dada la alta relación superficie-volumen que posee la estructura, la cual es capaz de absorber los nutrientes del suelo más allá de la zona de agotamiento alrededor de las raíces. Sin embargo, además de mejorar la nutrición de las plantas, los HMA facilitan la finalización de los ciclos biogeoquímicos, aumentan la tolerancia de las plantas al estrés biótico y abiótico, el secuestro de carbono y la agregación del suelo y el contenido de fitoquímicos que promueven la salud (Casieri et al., 2013).

3.5.4. Simbiosis micorrizas - leguminosa

Actualmente, existe una creciente apreciación de los efectos de las micorrizas arbusculares en las propiedades del suelo y sus posibles consecuencias en el comportamiento de plantas leguminosas (Augé et al., 2004), ya que existe la enorme posibilidad de aprovechar esta asociación para aumentar la tolerancia a estrés abióticos, o bien, mejorar la productividad del cultivo de estas especies a través de la optimización de los insumos como los fertilizantes.

El proceso de infección de las micorrizas sobre las leguminosas provoca alteraciones morfológicas y anatómicas en las plantas colonizadas como cambios en la relación tallo raíz, en la estructura de los tejidos radicales, en el número de cloroplastos, aumento de la lignificación, alteración de los balances hormonales, entre otras. Una de las respuestas simbióticas de la planta con el hongo, es destinar fotosintatos en forma de sacarosa, para que el hongo pueda nutrirse heterotróficamente y para que pueda sintetizar azúcares propios tales como manitol, trehalosa, glicógeno (Coskun et al., 2017).

Según Scheublin & Van (2006), muchas leguminosas forman asociaciones simbióticas tripartitas con rizobios y hongos micorrízicos arbusculares. Los rizobios se encuentran en los nódulos de las raíces y proporcionan a la planta nitrógeno atmosférico fijado, mientras que los HMA colonizan las raíces de las plantas y les proporcionan varios nutrientes esenciales. Algunos estudios sugieren que los HMA incluso están asociados con nódulos radiculares. Esto podría apuntar a interacciones entre rizobios y micorrizas dentro de los nódulos de la raíz. Sin embargo, las similitudes y singularidades entre los procesos de infección y simbiosis por estos grupos de microorganismos en leguminosas, aún se siguen investigando y revisando extensamente (Sprent & James, 2007).

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación y descripción del área de estudio

La presente investigación se realizó en la Comarca Sabana grande, ubicada en el distrito VII del municipio de Managua, es un sitio con un alto potencial agrícola. La comarca se sitúa a 9 km de la ciudad de Managua; limita al norte con el Aeropuerto Internacional Augusto C. Sandino, al sur y al este con comarca Veracruz y al oeste con Los Laureles. (Fundación Amigos del Río San Juan [FUNDAR], 2012). El área del ensayo está localizada en las coordenadas UTM 1338335.3 m al este y 591318.3 m al norte.



Figura 2. Ubicación geográfica del sitio de estudio.

Según FUNDAR (2012), Sabana Grande se caracteriza por tener una estación seca (noviembre - abril) y otra lluviosa (mayo - octubre). Esta zona climática presenta un rango de altitud de 300 a 500 m.s.n.m. y un régimen de temperatura de 24 a 27 °C. El régimen de precipitación varía de 800 a 1,200 mm con la presencia de una canícula definida. El riesgo climático para la actividad agropecuaria en esta zona es moderado. La topografía del sitio es plana a casi plana (pendientes de 0 a 8%), no tiene accidentes marcados, las variaciones de pendientes son mínimas en el sitio, los suelos son pardos grisáceos o pardos muy oscuros profundos (60-90 cm), poseen permeabilidad moderadamente rápida.

4.1.1. Características edafoclimáticas del área de estudio

Aplicando las metodologías de muestro de suelos propuestas por Mendoza (2014), se realizó un muestreo de suelos en el área de estudio. Para fines de fertilidad se preparó una muestra compuesta por 25 submuestras colectadas de forma aleatoria. Esta muestra fue llevada al Laboratorio de Suelos y Agua de la Universidad Nacional Agraria (LABSA – UNA) para sus respectivos análisis.

Los resultados indican que los suelos del área de estudio son de textura franco limoso, de color pardo grisáceo oscuro, moderadamente profundos, bien drenado, poseen una topografía plana. En cuanto a su fertilidad química, el Cuadro 3 muestra que estos suelos poseen con pH de 7.11, 2.48% de materia orgánica, con un contenido de Nitrógeno de 0.12%, Fósforo 36.71 ppm, Potasio 4.48 meq 100 g de suelo⁻¹, Calcio 19.53 meq 100 g de suelo⁻¹, Magnesio 4.72 meq 100 g de suelo⁻¹ y una Capacidad de Intercambio Catiónica (CIC) de 33.60 meq 100 g de suelo⁻¹.

Cuadro 3. Características químicas del suelo del área del ensayo

pH ^Ω	%		ppm		100 meq 100 g suelo ⁻¹		
	MO ^β	N	P ^φ	K ^δ	Ca ^δ	Mg ^δ	CIC ^δ
7.11	2.48	0.12	36.71	4.48	19.53	4.72	33.60
Neutro	M	M	A	A	A	A	A

^Ω Relación suelo: agua 1:2.5.

^β Método de Walkey and Black. A partir de la MO se determinó el nitrógeno total.

^φ Método de Olsen, determinado por colorimetría.

^δ Solución extractora con acetato de amonio, determinado por espectrofotometría de absorción atómica.

A: Alto.

M: Medio.

B: Bajo.

En cuanto a las condiciones climáticas, se accedió a la base de datos del Instituto Nacional de Estudios Territoriales (INETER) y el Instituto de Tecnología y Geofísica (CIGEO-UNAN, Managua), donde se muestra las precipitaciones y temperaturas medias mensuales para el año 2021 Figura 3.

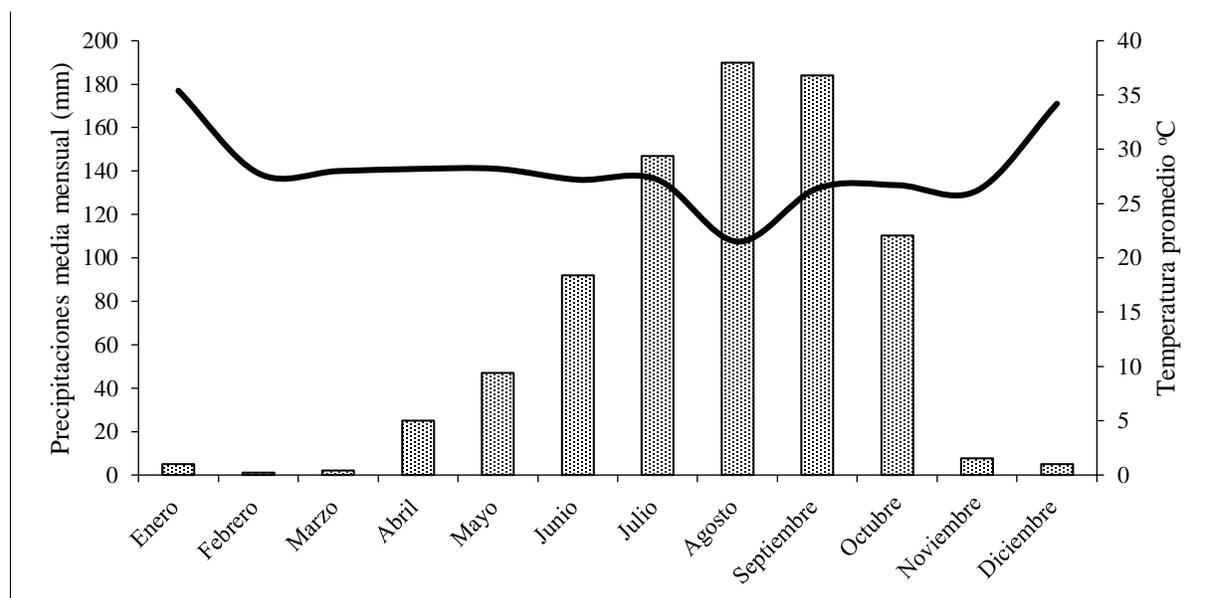


Figura 3. Climograma de promedios mensuales de precipitación (barras) y temperatura (línea) registro anual (INETER, 2021).

Las precipitaciones en el pacífico de Nicaragua para el año 2021 presentaron un total anual de 816 mm, el cual fue una distribución irregular a lo largo del año, siendo los promedios históricos anuales según el INETER entre un mínimo de 1000 mm hasta un máximo de 2 000 mm en las zonas más elevadas. La temperatura media varía entre los 21 ° en las zonas altas a los 29° en las zonas bajas (INETER, 2021).

4.2.Diseño metodológico

La investigación tiene un enfoque cuantitativo. El ensayo se estableció en condiciones de campo con un diseño en Bloques Completos al Azar (BCA) unifactorial, siendo el factor en estudio los inóculos (Rizobios y Micorriza) y sus distintas combinaciones con fertilización sintética.

Se establecieron un total de seis tratamientos, donde cada tratamiento contó con cuatro repeticiones, lo que equivale a un total 24 unidades experimentales. La unidad experimental de cada tratamiento tuvo una dimensión de 40 m² (5 m x 8 m). Dentro de cada unidad experimental se delimitó un área como parcela útil que consistió en cinco surcos centrales para eliminar el efecto de borde. Los tratamientos que se evaluaron se presentan en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Descripción de los tratamientos evaluados en el cultivo de frijol

Tratamientos	Descripción	Dosis
T ₁	Urea 46% N ₂	172.7 kg ha ⁻¹
T ₂	Rizobios	1.4 L ha ⁻¹
T ₃	Micorriza	2 kg ha ⁻¹
T ₄	Rizobios + Urea 46% N ₂	1.4 L ha ⁻¹ + 172.7 kg ha ⁻¹
T ₅	Micorriza + Urea 46% N ₂	2 kg ha ⁻¹ + 172.7 kg ha ⁻¹
T ₆	Rizobios + Micorriza + Urea 46% N ₂	1.4 L ha ⁻¹ + 2 kg ha ⁻¹ + 172.7 kg ha ⁻¹

4.3. Material biológico y tipos de fertilizantes sintéticos utilizado

La cantidad de frijol utilizada fue de 71 kg ha⁻¹; la dosis de rizobios para tratar la semilla fue de 1.4 L ha⁻¹. Con respecto a la micorriza, 2 kg ha⁻¹. La fuente de nitrógeno seleccionada para aplicar en los tratamientos fertilizados fue Urea 46 % N₂.

Cuadro 5. Características agronómicas del cultivo de frijol variedad INTA-Rojo

Parámetros	Características de la variedad
Hábito de crecimiento	Arbustivo indeterminado de guía corta
Días a floración	34 - 36
Días a madurez fisiológica	66 – 68
Días a cosecha	73 – 75
Vainas planta ⁻¹	12 – 18
Semillas vaina ⁻¹	6 – 7
Color de grano	Rojo vino brillante
Forma del grano	Alargado ovoide
Rendimiento (kg ha ⁻¹)	1,293.8 – 1,940.6
Resistente a	Mosaico dorado y Mosaico común
Tolerante a	Roya, sequía y altas temperaturas

Cuadro 5. Continuación...

Parámetros	Características de la variedad
Susceptible a	Bacteriosis y mancha angular

Fuente: Granda, (2002)

4.4. Manejo agronómico del ensayo

4.4.1. Preparación del terreno

Esta actividad se realizó 25 días antes de la siembra con la implantación de maquinaria, utilizando un pase de grada y luego mediante tracción animal equina con uso de arado egipcio. Se delimitó cada bloque y tratamiento del experimento usando estacas y lienzas.

4.4.2. Prueba de germinación

El porcentaje de germinación de la variedad utilizada fue del 92%. Esta prueba se realizó en una bandeja con arena donde se depositaron 100 semillas distribuidas uniformemente a una profundidad no mayor de 2.5 cm. A los cinco días después de sembrada (dds) se contabilizó el número de semillas germinadas.

4.4.3. Inoculación de la semilla

Inoculación de la semilla de frijol con micorrizas

El inoculante a base de micorrizas se empleó mediante el método de recubrimiento de semillas utilizando un adherente tradicional a base de agua con azúcar en una bolsa de plástico, esto se realizó un día antes de la siembra con una dosis única de 7.64 g para los tratamientos T₃, T₅ y T₆.

Inoculación de la semilla de frijol con rizobios

La inoculación de la semilla de frijol con rizobios se hizo dos horas antes del establecimiento; para ello se utilizó una bomba de mochila para asperjar la solución directamente en campo a una dosis de 136.7 ml en los tratamientos T₂, T₄ y T₅.

4.4.4. Fertilización sintética

La dosis de Urea 46% N₂, que se aplicó fue de 172.7 kg ha⁻¹. El 30 % de la dosis total se aplicó al momento de la siembra, y el 70 % restante a los 25 después de la siembra (dds).

4.4.5. Siembra

La siembra se realizó en la tercera semana de septiembre, aprovechando la humedad residual del suelo que se mantiene durante la época de postrera. Esta actividad se realizó de forma manual, utilizando un marco de siembra de 0.5 m entre surco y 0.07 m entre planta, para una densidad de siembra de 285 714 plantas ha⁻¹.

4.4.6. Manejo de plagas y enfermedades

Se realizó manejo de plagas antes y después del establecimiento de la semilla en campo. Antes de la siembra se realizó un muestro de plagas de suelo a través del método del pie cúbico; y durante el ciclo del cultivo se realizaron muestreos periódicos cada 10 días para identificar la presencia de defoliadores y chupadores. El manejo de plagas y enfermedades se realizó de manera preventiva utilizando productos biológicos como *B. bassiana*, *M. anisopliae* y preparados botánicos.

4.4.7. Aporque

Para evitar el acame de las plantas, se realizó un aporque 15 dds. Esta actividad se utilizó de manera complementaria para el manejo de arvenses.

4.4.8. Manejo de arvenses

El manejo de arvenses se realizó de forma manual utilizando azadón y machete antes de cerrar calle el frijol, con especial énfasis en periodo crítico de competencia de este cultivo, que va desde los 0 hasta los 30 dds.

4.4.9. Cosecha

La cosecha se realizó cuando la planta alcanzo su madurez fisiológica (70 dds), una vez lista las plantas fueron arrancadas y trasladadas al lugar de pre secado en campo. Posteriormente, cuando las vainas presentaron un color pardo oscuro que es un indicador de una buena dehiscencia, se realizó el desgrane mediante el aporreo para separar las semillas de las vainas.

4.5. Variables evaluadas

4.5.1. Variables morfofisiológicas

Nódulos activos

El conteo de nódulos se realizó a partir de los 30 dds, repitiéndose el proceso hasta los 60 dds en intervalos de 15 días. Se arrancaron cinco plantas escogidas al azar de cada uno de los tratamientos. Se contabilizó el número total de nódulos, nódulos activos y nódulos inactivos.

Para el conteo de nódulos se seguirá la siguiente metodología; consiste en contabilizar los nódulos, las plantas recolectadas se trasladaron al laboratorio de fisiología vegetal de la UNA, para separar con uso de tijeras la raíz del resto de la planta. Luego, con uso de un bisturí se separaron uno a uno los nódulos presentes en la raíz de la planta. Luego se guardaron las raíces en un cuarto frio, posteriormente con ayuda de una pinza se introdujeron los nódulos en tubos falcón con agua estéril por un día, contándose al siguiente día los nódulos que tenían un color rosado o rojo intenso como viables, y, por ende, funcionales en la FBN (CIAT, 1994). La diferencia entre los nódulos totales y los nódulos activos es igual a la cantidad de nódulos inactivos.

Peso seco de raíz y biomasa aérea (kg ha⁻¹)

Tanto el peso seco de la raíz como el de la biomasa aérea se pesaron a partir de las plantas colectadas para el conteo de nódulos y terminó hasta la cosecha final del ensayo. Para medir estas variables, se tomaron las raíces y vástago de la planta separado por las tijeras, y se

sometieron al horno a una temperatura constante de 75°C por tres días; posteriormente se determinó el peso seco de la raíz y la biomasa aérea con uso de una balanza digital de dos decimales (0.01 g).

Contenido de Nitrógeno total en la biomasa (%)

Calculado el peso seco de la biomasa aérea, se procedió a unificar las muestras de cada tratamiento y se envió al laboratorio de suelos y agua (LABSA), de la Universidad Nacional Agraria y determinar el contenido de Nitrógeno total en la biomasa.

4.5.2. Variables de rendimiento

Vainas por planta

Al momento de la cosecha, se tomó una muestra de cinco plantas al azar de la parcela útil. Por cada planta se contabilizaron el número total vainas, posteriormente, se sumó el total de vainas provenientes de las cinco plantas y se calculó el valor promedio.

Rendimiento de grano (kg ha⁻¹)

El número de granos por vaina es uno de los componentes del rendimiento, y su peso determina el índice de cosecha (Hernández, 2009). De cada parcela útil se recolecto el grano producido, el rendimiento se determinar ajustando el grano cosechado a una humedad del 13 % utilizando la fórmula propuesta por Aguirre y Peske (1988):

$$P_F = \frac{P_I(100 - H_I)}{(100 - H_F)} \text{ Dónde:}$$

P_I = Peso inicial del grano (kg ha⁻¹)

H_I = Porcentaje de humedad inicial del grano (%)

P_F = Peso final del grano (kg ha⁻¹)

H_F = Porcentaje de humedad final a la que se desea ajustar el rendimiento (13%)

Contenido de nitrógeno total en grano (kg ha⁻¹)

Una vez que las muestras de grano de frijol por tratamiento obtuvieron una humedad del 13%, se procedió a unificarlas por tratamiento y llevarlas al laboratorio de Suelos y agua (LABSA), de la Universidad Nacional Agraria. Posteriormente con el resultado de cada tratamiento se procedió a calcular el contenido de Nitrógeno total en grano, en base a la siguiente fórmula:

$$\text{Nitrógeno total en grano (kg ha}^{-1}\text{)} = (\text{Rendimiento de grano} * \%N \text{ en grano}) / 100$$

4.6. Recolección de datos y análisis de datos

Para recolectar y sistematizar los datos se utilizó un formato digital para las variables evaluadas. Los datos obtenidos en campo fueron analizados a través del modelo estadístico de Análisis de Varianza (ANDEVA) univariado, realizado al 95 % de confianza. En caso de haber significancia estadística ($P < 0.05$) se procedió a realizar la prueba de separación de medias según Tukey ($\alpha = 0.05$). Los datos fueron sistematizados a través de hojas de cálculo de Microsoft Excel versión 2019, y posteriormente procesados mediante el software estadístico Infostat versión 2020. El modelo matemático que se utilizó en el experimento es el siguiente:

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

Dónde:

$i = 1, 2, 3 \dots t \dots$ Tratamientos.

$j = 1, 2, 3 \dots r$ = repeticiones.

Y_{ij} = La j -ésima observación del i -ésimo tratamiento.

μ = Es la media poblacional a estimar a partir de los datos del experimento.

τ_i = Efecto del i -ésimo tratamiento a estimar a partir de los datos del experimento.

β_j = Estimador del efecto debido al j -ésimo bloque.

ε_{ij} = Efecto aleatorio de variación.

4.7. Análisis económico

Para el análisis económico se utilizó la metodología de presupuestos parciales propuesta por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT, 1988) para analizar la relación costo–beneficio de los tratamientos evaluados. Esta metodología considera los siguientes parámetros:

1. **Rendimiento obtenido en campo:** Expresado en kg ha^{-1} .
2. **Rendimiento ajustado:** Contempla una reducción del 13% a fin de reflejar las diferencias entre el rendimiento experimental y el rendimiento que el productor podría obtener utilizando la misma tecnología.
3. **Ingreso bruto de campo:** Obtenido a través de la multiplicación del rendimiento ajustado por el precio del producto al momento de la cosecha.
4. **Costos variables:** Implican los costos de fertilizantes, inoculantes costos de mano de obra.
5. **Beneficio neto:** Es igual al beneficio bruto de campo menos los costos variables.
6. **Dominancia:** Se efectúa ordenando los tratamientos de menores a mayores totales de los costos que varían. Se dice entonces que un tratamiento es dominado cuando tiene beneficios netos menores o iguales a los de un tratamiento de costos que varían más bajos.
7. **Tasa de retorno marginal:** Se calcula dividiendo el beneficio neto marginal entre el costo marginal y luego se multiplica por cien.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Variables morfofisiológicas

5.1.1. Nódulos activos

Las bacterias del género *Rhizobium* sp., induce en la leguminosa el desarrollo de unas estructuras llamadas nódulos en la raíz, dentro de la cual se establece el intercambio de carbono orgánico y nitrógeno a través de una asociación simbiótica. En los nódulos, la bacteria inicia la conversión biológica del nitrógeno inerte del aire (N_2) a amoníaco (NH_3^+) y aminoácidos que posteriormente son traslocados a los tejidos conductores de la planta. Este proceso requiere de energía que obtiene de la planta (Arias et al., 2007). La simbiosis resultante entre una planta en buenas condiciones de crecimiento y la bacteria mejora el contenido de nitrógeno en todo el sistema suelo-planta (Pommeresche & Hansen, 2017).

Los resultados de los muestreos realizados para el conteo de nódulos a los 30, 45 y 60 dds, revela que no se observó nodulación en los tratamientos inoculados con rizobios. Según Hungría & Neves (1987), existen muchos factores limitantes para el proceso de fijación que pueden restringir no solo la efectividad del proceso, sino la formación y desarrollo de nódulos, como el crecimiento de las raíces, la actividad de la planta hospedera, la etapa de desarrollo de la leguminosa, las condiciones de suelo y factores ambientales.

Es probable que en este ensayo haya tenido mayor influencia sobre la formación y desarrollo de nódulos la etapa de desarrollo del cultivo y las condiciones edafoclimáticas que incidieron durante el manejo del experimento. En cuanto al primer factor, un estudio de Pate (1957), evaluando la nodulación en la leguminosa herbácea *P. arvense* L. cuyo ciclo biológico es de 80 días, muy similar al cultivar utilizado en este ensayo, descubrió que la formación de nódulos inicia a partir de los 8 dds (o bien, cuando se han desarrollado las primeras 7 hojas), y alcanza su punto máximo entre los 20 y 30 días, que corresponde a las etapas de tercera hoja trifoliada (V4) y prefloración (R5), ya que coinciden con la mayor demanda de nitrógeno. Sin embargo, a partir de estas etapas, la tasa de fijación disminuye considerablemente hasta restringirse totalmente la presencia de nódulos a medida que se desarrolla el cultivo.

Según Fernández-Canigia (2020), este fenómeno ocurre porque la planta destina gran cantidad de hidratos de carbono (fuente de energía para los rizobios) hacia los granos, desactivando así la actividad de la fijación biológica de N_2 . De esta manera, los nódulos quedan sin “alimentación”, mueren y se desprenden. En este sentido, la decisión de iniciar el conteo de nódulos a partir de los 30 días fue un factor condicionante para observar y contabilizar la presencia de estas estructuras, ya que, hasta este punto, la planta ya había expresado la mayor producción de nódulos, por más insignificante que fuera.

En cuanto a las condiciones climáticas, el frijol común requiere entre 250 y 400 mm de agua bien distribuidos durante su ciclo (Bonilla, 2014), siendo clave la etapa vegetativa, pues corresponde al período en el cual se expresa la mayor producción de nódulos. No obstante, INETER y el CIGEO-UNAN, Managua, reportan que en el período comprendido del 25 de septiembre al 04 de diciembre llovió un aproximado de 127.57 mm en el área donde se estableció el ensayo, siendo moderadamente más seco de lo normal para esta zona² (CIGEO-UNAN, Managua, 2021). Bajo estas condiciones de déficit hídrico, Fernández-Canigia (2020) indica que la FBN es un proceso muy sensible, más aún que la transpiración, la fotosíntesis, las tasas de crecimiento de las hojas o la asimilación de nitratos.

Ante un déficit de agua, la planta como primera medida inactiva la enzima nitrogenasa, y por lo tanto la fijación de N_2 , por el gran gasto energético que este proceso representa. Dentro de ciertos límites de tiempo, si se recupera la humedad edáfica, esta enzima puede reactivarse, sin embargo, si las condiciones de sequía son persistentes, como las que prevalecieron durante el ensayo, la enzima es destruida y se detiene el crecimiento vegetativo, conduciendo a la inhibición de formación de nódulos, y a la muerte y desprendimiento de los que ya se encuentran en diferentes estados de desarrollo o formación (Fernández-Canigia, 2020).

Otro factor para considerar para explicar estos resultados, fueron las condiciones de suelo del área del experimento. Los resultados del análisis químico de suelos mostrados en el cuadro 2, reflejan altos contenidos de bases (K, Ca y Mg) que, al analizar sus relaciones, se observa que

² Ver figura 9.

existen efectos antagónicos entre las tres. Esto es particularmente importante para el caso del Ca y Mg, ya que son elementos que tienen una participación esencial en la nodulación y en el proceso de FBN.

Según Miller & Sirois (1983) el ion Mg regula el proceso de fijación de Nitrógeno realizada por los bacteroides. La inhibición del complejo enzimático nitrogenasa es catalizado por reacciones de Mg-ADP como resultado de la utilización de Mg-ATP como fuente de energía para conducir la reducción de N₂. Esto indica que la efectividad del proceso de fijación depende de cantidades adecuadas de este elemento en el sistema suelo-planta, cuya disponibilidad está influenciada potencialmente por cationes antagónicos como el Ca. Por otra parte, Banath et al. (1966) menciona que la deficiencia de este otro elemento interfiere con la tasa de reducción de Nitrógeno en el nódulo, ya que, bajo estas condiciones, disminuye la translocación de grupos aminos y nitrógeno amónico en la planta. Además, Weisany et al. (2013) menciona que la deficiencia de Ca afecta la unión de los rizobios a los pelos radicales, ya que es un elemento que estimula del crecimiento celular de las raíces y la translocación de carbohidratos hacia ellas.

De la misma manera, también existen cantidades considerables de Nitrógeno y Fósforo en estos suelos. Según Reinprecht et al. (2020), la mayoría de los cultivares de frijol modernos se desarrollaron por su alto potencial de rendimiento en suelos fértiles ricos en Nitrógeno y Fósforo, sin embargo, los altos niveles de fertilidad pueden suprimir la expresión de rasgos deseables asociados con la fijación de nitrógeno. En este sentido, diversas investigaciones han identificado consistentemente en leguminosas como frijol común una correlación negativa entre la FBN y la disponibilidad de estos nutrientes en el suelo, particularmente la del Nitrógeno. Hayman (1986) refuerza este argumento afirmando que los factores ambientales y los aportes de fertilizantes fosfatados y nitrogenados afectan la eficacia de la interacción rizobios – leguminosa, e incluso, las interacciones entre el consorcio que forman estos dos grupos de microorganismos en el suelo con otras especies de plantas.

Otro punto importante que considerar, es el tema de las poblaciones nativas de bacterias fijadoras de nitrógeno. Aunque los rizobios son habitantes comunes en los suelos agrícolas, normalmente su población es insuficiente para alcanzar una relación benéfica con la leguminosa,

especialmente con variedades mejoradas, lo cual hace necesario la aplicación de inoculantes a la semilla o a las raíces jóvenes para garantizar la simbiosis y con ello la fijación biológica del nitrógeno (Das y Varma, 2009).

5.1.2. Peso seco de raíz

La raíz es uno de los órganos más importantes de la planta (Levitt, 1972; Parsons, 1979); su crecimiento y ramificación son cruciales para la absorción de agua y nutrientes, y su valor es producto del balance existente entre la fotosíntesis y la respiración. De igual forma los cambios del ambiente influyen en el ritmo de la producción de materia seca, así, los efectos del aire, la energía solar, el agua y todos los elementos del clima y suelo (González et al., 2018).

El análisis de varianza realizado para esta variable no detectó diferencias significativas ($p > 0.05$) en los momentos de muestreo. Sin embargo, el tratamiento inoculado con Rizobios + Urea 46% N₂ fue quien obtuvo el promedio más alto con 0.79 g al último muestreo (60 dds), seguido del tratamiento Urea 46% N₂ con 0.66 g, Micorriza + Urea 46% N₂ (0.65 g) y Micorriza + Rizobios + Urea 46 % N₂ (0.65 g). Los promedios más bajos los registró el tratamiento inoculado con Rizobios (0.50 g). En términos generales se observa que el tratamiento Rizobios + Urea 46% N₂ tiende a acumular mayor biomasa seca en la raíz que los demás tratamientos.

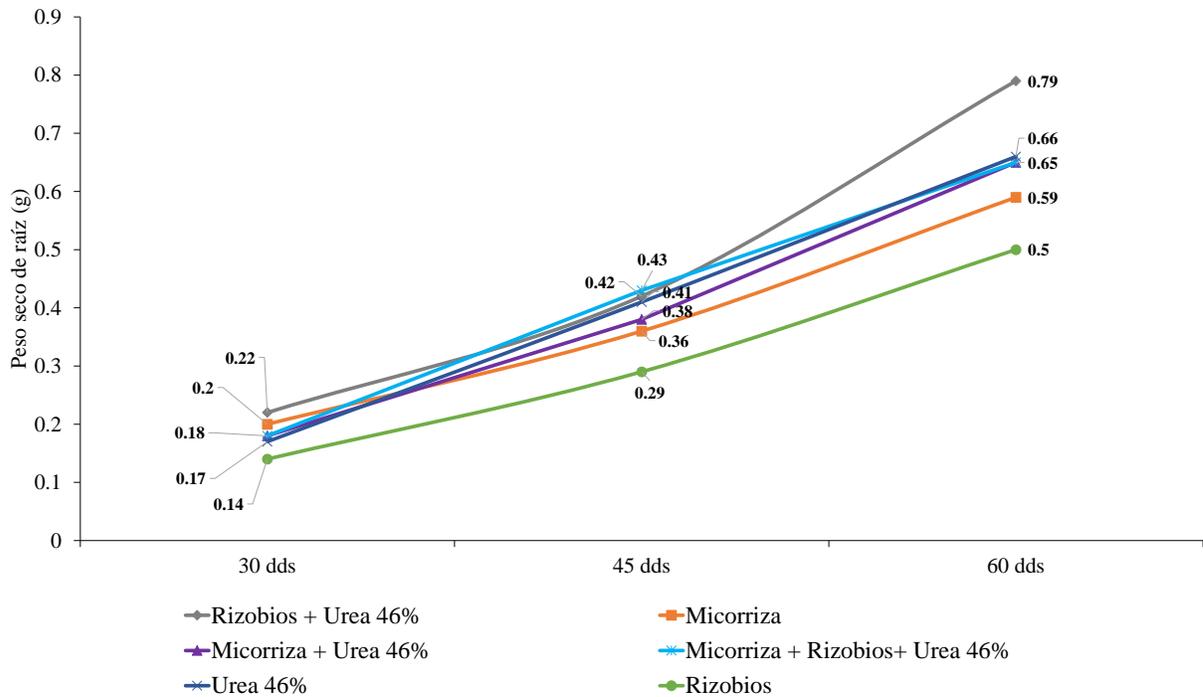


Figura 4. Peso seco de raíz (g) en los tres momentos evaluados en el cultivo de frijol.

Es probable que estos resultados hayan sido determinados por los altos contenidos de Fósforo en los suelos donde se estableció el experimento (cuadro 2) y la disponibilidad de Nitrógeno soluble aportado por la Urea 46% N₂, en los tratamientos fertilizados, dado que fueron estos tratamientos quienes registraron los promedios más altos para esta variable. Según López et al. (2003), tanto el Nitrógeno como el Fósforo tienen efectos contrastantes en la arquitectura del sistema radicular.

Por una parte, el incremento de la disponibilidad de nitrato en el suelo resultado de la transformación del amonio aportado por la Urea 46% N₂ en un proceso de oxidación realizado por nitrobacterias llamado nitrificación, incrementa la oferta de esta forma nitrogenada en la zona de la raíz de la planta, lo que induce una estimulación local de las raíces laterales. De la misma forma, una disponibilidad alta de Fósforo como la presente en estos suelos, estimula la producción y alargamiento de la raíz primaria tal como se observa en la figura 5.



Figura 5. Crecimiento del sistema radical en los tratamientos evaluados en el cultivo de frijol.

Los altos contenidos de fósforo y nitrógeno inhibieron el crecimiento y producción de pelos radicales, quienes representan la principal fuente de carbono orgánico para estimular y promover el establecimiento de relaciones simbióticas con los microorganismos de la rizósfera, otro factor que pudo haber sido determinante tanto en la colonización de las micorrizas como en la formación de nódulos por rizobios. La combinación de estos factores explica los promedios más altos observados en los tratamientos fertilizados en comparación con aquellos en los que solamente se inoculó (T₂ y T₃).

5.1.3. Biomasa seca aérea

Según Guarachi et al. (2006), la producción de biomasa seca es una de las características más relevante en especies leguminosas debido al valor nutritivo y al contenido de nitrógeno que aportan al suelo. Acosta-Díaz et al. (2007) menciona que en plantas anuales como el frijol, la producción y acumulación de materia seca bajo condiciones apropiadas, registra una tendencia de curva sigmoidea, con una fase de crecimiento lento entre la emergencia y primeras hojas compuestas, un crecimiento activo entre prefloración y formación de vainas, una etapa de mayor acumulación entre llenado de vainas e inicio de madurez fisiológica y finalmente una fase de declinación en madurez por la senescencia y pérdida de órganos como hojas, flores y vainas abortivas.

Los resultados mostrados en el Cuadro 6, indican que el análisis de varianza detectó diferencias significativas (p -valor < 0.05) en los tres momentos evaluados en la variable BSA. A los 30 dds, el tratamiento inoculado con Rizobios expresó la mayor producción de biomasa (311.0 kg ha^{-1}), no obstante, a los 45 y 60 dds registraron los valores más altos, los tratamientos Rizobios + Urea 46% N_2 (763.1 kg ha^{-1}) y Urea 46% N_2 ($1,749.6 \text{ kg ha}^{-1}$). A los 60 dds, el tratamiento con la media más alta fue Micorriza + Urea 46% N_2 con $1,474.20 \text{ kg ha}^{-1}$, quien fue notablemente superior a los demás. Estos resultados se atribuyen al aporte de Nitrógeno del fertilizante más el Fósforo solubilizado por la micorriza, lo cual induce una mayor producción de biomasa como lo indican diversos estudios como los de Nestor et al. (2009) y Apáez et al. (2013).

Cuadro 6. Biomasa seca aérea (kg ha^{-1}) en los tratamientos evaluados en el cultivo de frijol

Tratamientos	30 dds	45 dds	60 dds
Urea 46% N_2	232.53 ab	542.88 ab	1 749.60 a
Rizobios	311.00 a	609.13 ab	1 086.50 ab
Micorrizas	281.50 ab	628.58 ab	1 121.75 ab
Rizobios + Urea 46% N_2	279.35 ab	763.05 a	1 220.43 ab
Micorriza + Urea 46% N_2	228.95 ab	398.85 ab	1 474.20 ab
Rizobios + Micorriza + Urea 46% N_2	187.38 b	347.78 b	978.10 b
p-valor	0.0108	0.0397	0.0208
CV	16.84	31.83	23.36

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). // CV: Coeficiente de variación. dds: días después de la siembra.

Una investigación conducida por Wu y Xia (2004) evaluando los diferentes mecanismos directos e indirectos de hongos micorrízicos arbusculares que influyen en el crecimiento de las plantas, concluye que la inoculación de estos microorganismos estimula la altura, el diámetro del tallo, el área foliar, el peso seco de los brotes, el peso seco de la raíz y el peso seco de la planta a través de diversos procesos complejos como la solubilidad de nutrientes, cambios en la concentración de fitohormonas y la producción de metabolitos que restringen el crecimiento de patógenos en la rizósfera.

Estos múltiples efectos sumados al papel esencial que juega el Nitrógeno como constituyente de la clorofila; compuesto que permite a las plantas utilizar la energía solar para producción de azúcares, aminoácidos y proteínas que permiten la formación de la materia de las células, posibilitó observar los promedios más altos de biomasa seca en los tratamientos que fueron manejados con micorrizas y fertilización nitrogenada.

Por otra parte, es importante destacar que el tratamiento Urea 46% N₂, muestra una tendencia a presentar una menor producción de biomasa al avanzar sus etapas fenológicas en comparación con los tratamientos inoculados. Estos resultados sugieren que la presencia de microorganismos tiene un efecto sinérgico con la fertilización nitrogenada al incrementar la producción de biomasa. Es probable que el fertilizante haya tenido una mejor eficiencia en la producción de materia seca en estas condiciones, debido a que los microorganismos atrapan e inmovilizan temporalmente el Nitrógeno reduciendo las pérdidas por lixiviación, o bien, por volatilización en condiciones alcalinas como las de estos suelos, liberándolo lentamente durante el desarrollo del cultivo facilitando su absorción y asimilación (Kuzyakov & Xu, 2013).

Estos resultados permiten inferir que, pese a que no se detectó nodulación, la inoculación de plantas ya sea con micorrizas o rizobios permite hacer un uso más eficiente de los fertilizantes sintéticos como la Urea 46% N₂, que es de uso generalizado a nivel nacional para la nutrición de cultivos.

5.1.4. Contenido de Nitrógeno total en la biomasa (kg ha⁻¹)

Según García (2011), “el crecimiento de todas las plantas está determinado de forma directa o indirecta por la disponibilidad de nutrientes minerales, en especial del nitrógeno” (p.174). Las plantas leguminosas en particular han desarrollado mecanismos para responder rápidamente ante suministros bajos de Nitrógeno en el suelo, como lo es FBN (Murray et al., 2016). El contenido de este nutriente en estas especies vegetales es de mucha importancia, porque a partir de este indicador, se puede determinar la cantidad aportada (o removida) de Nitrógeno al suelo por la leguminosa, permitiendo seleccionar variedades eficientes, no solo por su aporte de

biomasa, sino por su capacidad de reestablecer las reservas de este nutriente en el suelo (Gaitán y Mairena, 2017).

La variable nitrógeno total en la biomasa, presentó diferencias significativas a los 30 dds (p -valor < 0.05). En este momento, el tratamiento inoculado con rizobios resultó con la mayor acumulación de Nitrógeno en la biomasa aérea (11.5 kg ha^{-1}), en cambio, el tratamiento con el promedio más bajo fue Micorriza + Rizobios + Urea 46% N_2 (5.1 kg ha^{-1}). Pese a que no hubo diferencias estadísticas, es importante destacar que a los 60 dds, el tratamiento urea 46% N (57.1 kg ha^{-1}) y Micorriza + Urea 46% N_2 (52.14 kg ha^{-1}) registraron la acumulación de nitrógeno más alta, por el contrario, los tratamientos inoculados con rizobios (37.2 kg ha^{-1}) como con micorrizas (34.4 kg ha^{-1}) de forma independiente, resultaron con los valores más bajos.

Cuadro 7. Contenido de Nitrógeno total en la biomasa (kg ha^{-1}) en los tratamientos evaluados en el cultivo de frijol

Tratamientos	30 dds	45 dds	60 dds
Urea 46% N_2	8.52 abc	16.28	57.05
Rizobios	11.48 a	23.02	37.16
Micorrizas	10.92 ab	25.39	34.44
Rizobios + Urea 46% N_2	10.67 ab	32.05	46.13
Micorriza + Urea 46% N_2	7.44 bc	20.08	52.14
Rizobios + Micorriza + Urea 46% N_2	5.13 c	16.07	37.85
p-valor	0.0002	0.0558	0.0590
CV	17.03	32.83	24.98

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). // CV: Coeficiente de variación. dds: días después de la siembra.

Los resultados del estudio fueron superiores a los reportados por Carballo y Flores (2022), al evaluar el contenido de Nitrógeno en tres variedades mejoradas de frijol común inoculadas con dos cepas de rizobios en condiciones de invernadero, a los 42 y 57 dds obtuvieron un promedio de 3.5 y 12.1 kg ha^{-1} de Nitrógeno acumulado en la biomasa aérea respectivamente, Peña-Cabriales & Zapata (1999) reporta que a los 42 y 63 dds, la variedad mexicana de frijol común

M4403 presentó una acumulación de nitrógeno en la biomasa aérea de 3.4 y 8.6 kg ha respectivamente.

Sin embargo, los altos resultados observados en los tratamientos evaluados se atribuyen a la baja densidad de siembra establecida en el experimento. Los cálculos utilizados para hacer estas comparaciones se ponderaron tomando en cuenta el contenido de Nitrógeno por planta que reportaron estos autores, el cual se multiplicó por la densidad de siembra utilizada en el experimento. En Nicaragua, la producción de frijol se maneja con densidades que van desde 185 hasta 213 mil plantas por hectárea, ya sea para producción de semilla o grano respectivamente (IICA, 2009). Estas poblaciones son superiores a la manejada en el experimento; una densidad de siembra más alta implica una mayor producción de biomasa, lo cual se traduce en una dilución del nitrógeno acumulado en ésta, en cambio, cuando se reduce la producción de biomasa por una densidad de siembra más baja, incrementa la proporción de nitrógeno en el interior de la planta, tal como se registró en el experimento.

5.1.5. Correlación entre peso de biomasa seca aérea y nitrógeno total en biomasa

El modelo agrícola convencional ha dependido históricamente de la aplicación de fertilizantes nitrogenados, sin embargo, el uso de estos insumos es generalmente ineficiente, debido a que sólo una tercera parte del fertilizante aplicado es absorbido y utilizado eficientemente por el cultivo para producir biomasa (Shrawat et al., 2008). Por tal razón, en los últimos años se ha dedicado mucha investigación en mejorar la disponibilidad y eficiencia en el uso de este nutriente, ya sea el aportado por el suelo o los fertilizantes (o en el caso de las leguminosas el aportado por el aire), a través de microorganismos, como los rizobios y las micorrizas (Álvarez, 2022). Esta eficiencia se define matemáticamente como la biomasa producida por unidad de nutriente absorbido (Corrales-González et al., 2016).

El análisis de correlación entre el peso de la biomasa seca aérea y el nitrógeno total acumulado, indica una alta correlación positiva ($R^2 = 0.9541$) y significativa ($p\text{-valor} < 0.05$) entre las dos variables evaluadas. Esto indica que, en promedio, a medida que aumenta la producción de biomasa seca aérea, incrementa la cantidad de Nitrógeno total acumulado en ella, con valores

que oscilan en un rango de 3.4 hasta 82.3 kg ha⁻¹ y una media de 25.1 kg ha⁻¹. Desde el punto de vista agronómico, este Nitrógeno representa una gran ventaja, puesto que, cuando se cosecha el grano de un cultivo como el frijol común, una gran parte del Nitrógeno se extrae del campo en forma de grano. Sin embargo, los tallos y hojas contienen una cantidad significativa de este nutriente que puede ser aprovechada si esta biomasa se incorpora al suelo, compensando y/o reduciendo el efecto depresivo de las reservas de este elemento en el suelo.

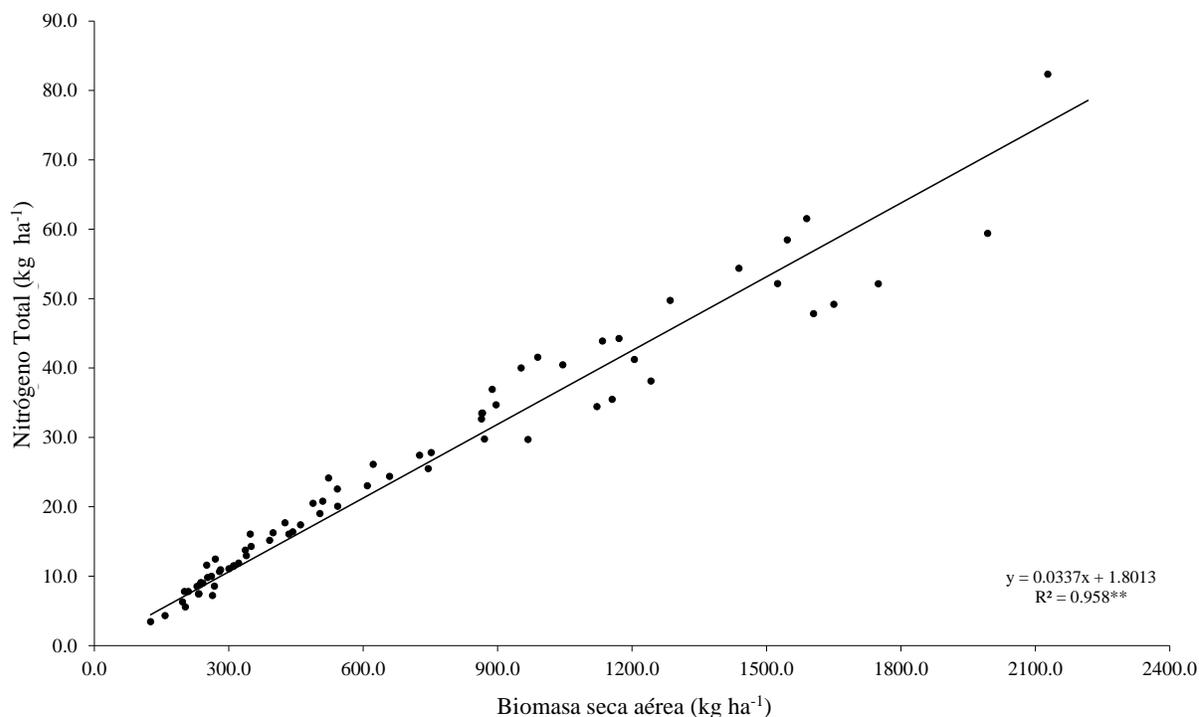


Figura 6. Correlación entre peso de biomasa seca aérea y nitrógeno total acumulado en el cultivo de frijol.

Pese al aporte de Nitrógeno que representa la incorporación de la biomasa de frijol común, es necesario señalar que esta especie es considerablemente menos eficiente para la producción de biomasa aérea, y por ende, para la acumulación de Nitrógeno que otras leguminosas de grano como *Mucuna pruriens* L., *Vigna radiata* L., y *V. unguiculata* L., quienes han registrado a través de estudios realizados en Nicaragua por García (2006) cantidades considerablemente mayores de Nitrógeno aportado al suelo después de la incorporación de su biomasa producida, con valores entre 218.4 y 497.2 kg ha⁻¹.

Este comportamiento tan diferido obedece a que las actuales variedades mejoradas de frijol común, por su valor alimenticio y nutricional, han sido seleccionadas para obtener rendimientos de grano superiores a los 700 kg ha⁻¹, sin embargo, esta presión de selección ha traído como consecuencia detrimento de la producción de biomasa aérea (tallos, hojas, ramas). A pesar de ello, el frijol común no deja de ser un componente importante en cualquier sistema rotación agronómica y de un uso sostenible de la tierra, tanto desde el punto de vista ecológico como socioeconómico.

5.2. Variables de rendimiento

5.2.1. Vainas por planta

Según Rugama (2021), el número de vainas por planta está determinado por el número de flores desarrolladas. Esta variable tiene una mayor relación con los parámetros del rendimiento, pues determina el número y peso de granos por planta. Por su parte, Lata-Tenesaca et al. (2017) afirma que el comportamiento de esta variable se encuentra asociado a la deficiencia de Nitrógeno el suelo, ya que, la carencia del elemento, la formación de vainas se ve restringida, repercutiendo negativamente en el rendimiento del cultivo.

Los resultados del análisis de varianza para el número de vainas por planta, reveló que existen diferencias significativas (p -valor = 0.0001, $R^2 = 0.87$). El tratamiento Urea 46% N₂, resultó con la media más alta para la variable (9.89 vainas planta⁻¹), seguido del tratamiento Rizobios + Urea 46% N₂ con 8.22 vainas planta⁻¹. En cambio, los tratamientos que resultaron con los promedios más bajos fueron los manejados solamente con la inoculación de los microorganismos; Rizobios (5.79 vainas planta⁻¹) y Micorrizas (4.55 vainas planta⁻¹).

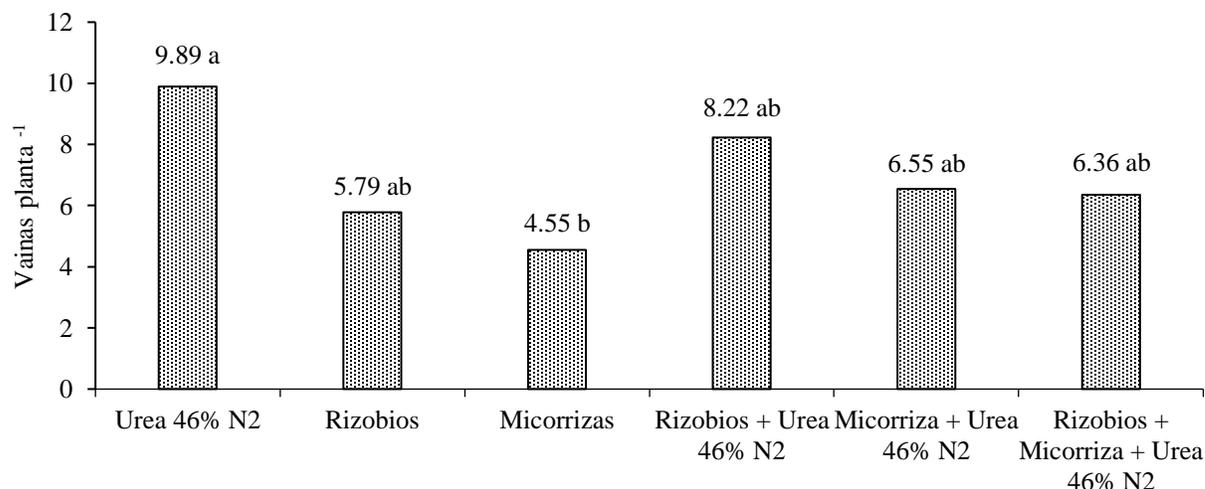


Figura 7. Vainas por plantas de los tratamientos en estudio en el cultivo de frijol.

Los resultados observados en la figura 7, muestran una tendencia que indica que la aplicación de Urea 46% N₂, ya sea combinada con los inóculos o aplicada de forma individual al cultivo, expresa la mayor producción de vainas en comparación con los tratamientos que solamente se inocularon. Diversas experiencias reportadas a nivel nacional indican que las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados tienen un efecto sinérgico con la absorción de Fósforo, el cual es el principal elemento nutritivo que necesita el cultivo para expresar su potencial productivo (IICA, 2009).

Dado que los suelos donde se manejó el ensayo tienen altos contenidos de fosforo, los resultados concuerdan con esta afirmación, pues el uso de Urea 46% N₂ permitió potenciar el desarrollo del cultivo a través de una nutrición más eficiente de Nitrógeno y Fosforo, dos elementos con amplios efectos sinérgicos en la nutrición vegetal. Sin embargo, pese a que la Urea 46% N₂ por si sola expresó la mayor producción de vainas, es importante considerar que el uso complementario de microorganismos con este fertilizante representa una estrategia de ahorro parcial de este tipo de insumos, así como en el incremento de los procesos biológicos que ocurren en el suelo, que a mediano y largo plazo tienen beneficios sustanciales en la sostenibilidad del sistema de producción.

5.2.2. Rendimiento de grano

Según Amezcua-Romero & Lara-Flores (2017), la magnitud del rendimiento de una especie vegetal indica el nivel de eficiencia de la combinación de los factores de producción: suelo, clima, variedad y manejo agronómico. En el caso del frijol común, la producción de grano o semilla es el principal objetivo de este rubro; este parámetro depende de la capacidad de la planta para acumular sustancias de reserva y de la translocación de carbohidratos a la semilla (García & Umazor, 2018).

La variable rendimiento de grano (kg ha^{-1}), mostró diferencias significativas ($p\text{-valor} = 0.0095$, $R^2 = 0.54$). En la figura 8 se observa la misma tendencia mostrada en los resultados de la variable vainas por planta. El tratamiento que obtuvo el mayor rendimiento de grano fue Urea 46% N_2 con 564.3 kg ha^{-1} , seguido del tratamiento Rizobios + Urea 46% N_2 con 466.7 kg ha^{-1} . Al igual que en la variable anterior, el uso de los inóculos de forma independiente fueron los tratamientos que registraron los rendimientos más bajos.

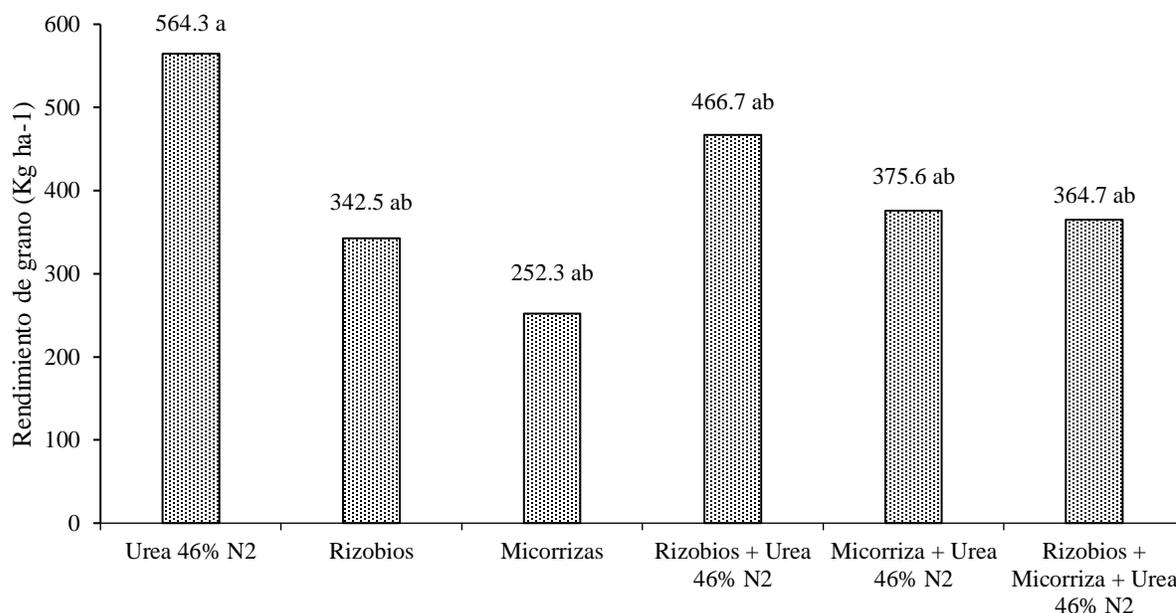


Figura 8. Rendimiento de grano (kg ha^{-1}) de los tratamientos en estudio del cultivo de frijol.

Estos resultados son considerablemente bajos si se comparan con el potencial productivo de esta variedad, que oscila en un rango de 1,293.8 – 1,940.6 kg ha⁻¹, incluso, el valor más alto registrado en los tratamientos evaluados se encuentra por debajo del rendimiento del promedio nacional (591 kg ha⁻¹) (Ministerio Agropecuario [MAG], 2018). Se atribuye que estos resultados son producto del efecto de las condiciones climáticas durante el período del ensayo, pues las condiciones de estrés hídrico presentes, además de afectar negativamente la nodulación, restringieron fuertemente el crecimiento y desarrollo del cultivo.

Según Meriño et al. (2015), la precipitación acumulada durante la etapa vegetativa y reproductiva es determinante para el rendimiento de frijol. Por su parte, Acosta-Díaz et al. (1997), indican que cuando las precipitaciones están por debajo de las necesidades del cultivo, los rendimientos disminuyen drásticamente, fundamentalmente sí coinciden con la floración y el llenado de las vainas. Algunos estudios hechos en Nicaragua muestran que los requerimientos de precipitación acumulada durante el ciclo biológico del cultivo de frijol común oscilan entre 298 y 489 mm (Ortiz y Larios, 2020).

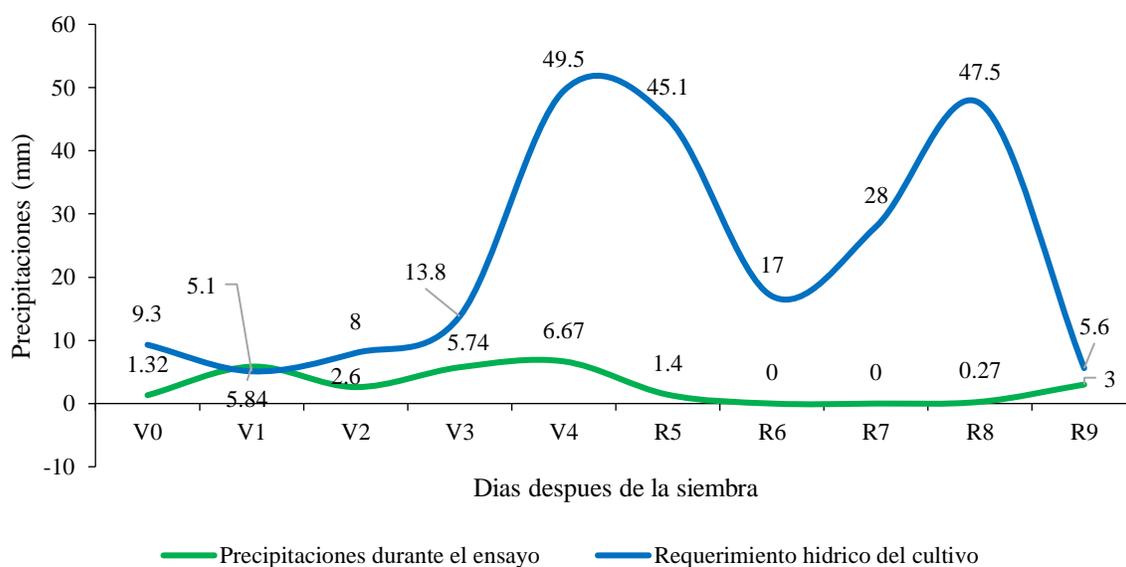


Figura 9. Distribución de precipitaciones durante el ciclo del cultivo de frijol (Fuente: CIGEO-UNAN, Managua, 2021).

Tomando en cuenta los datos de CIGEO-UNAN (2021) para analizar la distribución de las lluvias con los requerimientos hídricos del cultivo en cada una de sus etapas fenológicas (figura

9), se evidencia el estrés hídrico al que estuvo sometido el cultivo en todos sus periodos de crecimiento y desarrollo. En este sentido, Meriño et al. (2015) menciona que cuando el cultivo de frijol se somete a estas condiciones adversas, particularmente en periodos claves del desarrollo de la planta, como la formación de hojas primarias (V2), prefloración (R5), floración (R6) y formación de vainas (R7) se afectan todos los procesos fisiológicos relacionados al crecimiento, el rendimiento y la nutrición mineral.

Los bajos rendimientos reportados en el estudio, coinciden con los referidos por Domínguez-Suárez et al. (2016), quienes, al evaluar 64 líneas de frijol común, reportaron respuestas similares bajo condiciones de estrés hídrico. Fabre et al. (2011) refieren que en dependencia de la duración del período de sequía y su magnitud, esta puede causar pérdidas en el rendimiento de 20% a 100% en frijol común.

5.2.3. Nitrógeno total en grano

En variedades mejoradas de frijol común, es frecuente que la demanda de Nitrógeno en el grano sea alta, por tal razón, es importante enfatizar que las diferencias de rendimiento de este nutriente entre el grano y la biomasa aérea pueden servir de indicador para estimar los niveles de remoción de Nitrógeno en el suelo que deben ser restituidas para mantener la fertilidad del sistema edáfico. Bitocchi et al. (2012), menciona que la translocación de Nitrógeno al grano es esencial para el cultivo, puesto que su contenido está correlacionado positivamente con la acumulación de biomasa en el grano, la translocación de azúcares y la síntesis de proteínas.

El contenido de Nitrógeno en el grano mostró diferencias significativas (p -valor = 0.0069, R^2 = 0.65) en los tratamientos evaluados. En la Figura 10 se observa que el tratamiento Micorriza + Urea 46% N_2 fue quien registró la mayor cantidad de Nitrógeno acumulado en el grano (26.3 $kg\ ha^{-1}$). El tratamiento solamente inoculado con rizobios, reporta el promedio más bajo (12.6 $kg\ ha^{-1}$). Estos datos son inferiores a los reportados por Álvarez (2022), quien evaluando tres variedades mejoradas de frijol común inoculadas con dos tipos de cepas de rizobios, registró que la acumulación de Nitrógeno en el grano varió en un rango de 39.3 y 56.6 $kg\ ha^{-1}$, con una media de 50 $kg\ ha^{-1}$.

Al relacionar esta acumulación de Nitrógeno con el rendimiento registrado en los tratamientos que evaluó Álvarez (2022), éste es mayor al reportado en nuestro experimento, pues oscila en un rango de 1,336.0 y 2,034 kg ha⁻¹ con una media de 1,670.3 kg ha⁻¹. Pese al menor consumo de Nitrógeno, es evidente que estos resultados sugieren una baja eficiencia en el uso de este macronutriente para la producción de grano.

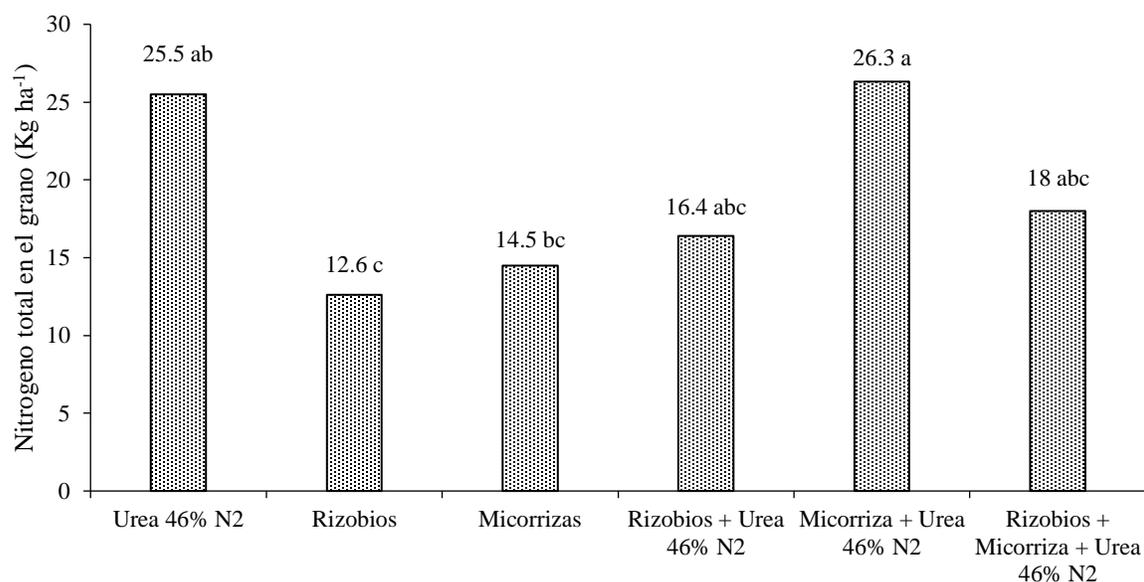


Figura 10. Nitrógeno total de grano (kg ha⁻¹) de los tratamientos en estudio en el cultivo de frijol.

De acuerdo con cifras del IICA (2009), con un manejo convencional los rendimientos de grano en algunas zonas productoras del país pueden alcanzar hasta 1,900 kg ha⁻¹, cifra que es significativamente mayor al rendimiento promedio observado en los tratamientos evaluados. Algunos autores como Sánchez (1981) reporta que para obtener rendimientos promedios de 1 t ha⁻¹, este cultivo remueve del suelo en condiciones tropicales alrededor de 31 kg ha⁻¹ de Nitrógeno a través del grano, lo que equivale aproximadamente a un 15% más que los dos tratamientos con el contenido Nitrógeno más alto en el grano reportados en este ensayo (Micorriza + Urea 46% N₂ y Urea 46% N₂). Sin embargo, si se compara esta acumulación de Nitrógeno con el rendimiento reportado por Sánchez, el tratamiento Micorriza + Urea 46% N₂ produce 62% menos rendimiento de grano con un consumo de Nitrógeno relativamente similar.

Pese a estos resultados, es importante destacar que al comparar las cantidades promedio de Nitrógeno exportadas a través del grano observadas en Figura 10, estas son inferiores a las cantidades acumuladas en la biomasa aérea mostradas en el Cuadro 7. Esto indica que la incorporación de los rastrojos contribuye a reducir el efecto depresivo sobre los contenidos de Nitrógeno en el suelo, disminuyendo la necesidad y los costos que implica aplicar grandes cantidades de fertilizantes para restituir las cantidades exportadas por el cultivo.

5.3. Análisis económico

Con el propósito de brindar recomendaciones considerando las condiciones en las que se desarrolló el experimento, se realizó un análisis económico para identificar la opción más rentable. La metodología utilizada en este experimento basada en el presupuesto parcial permite organizar los datos experimentales para obtener los beneficios de los tratamientos alternativos, basado en los costos variables y los ingresos netos de cada tratamiento (CIMMYT, 1988).

5.3.1. Análisis de presupuesto parcial

El análisis de presupuesto parcial para los diferentes tratamientos, fueron ajustados a un 13 % con el fin de reflejar la diferencia del rendimiento experimental y lo que el agricultor podría obtener utilizando las mismas tecnologías. El rendimiento ajustado se multiplicó por el precio del producto (US\$ 1.3 dólares). Se identificó la estimación total de los insumos que varían; costos de inoculantes, fertilizantes y con particular atención en los cambios de mano de obra en cada uno los tratamientos.

En el Cuadro 8 se observa el presupuesto parcial de los seis tratamientos evaluados, reflejando que el mayor costo variable lo registra el tratamiento 6 (Rizobios + Micorriza+ Urea 46% N₂), quien también resultó con el ingreso neto más bajo (US\$ 191.3). Por otra parte, el tratamiento 2 (Rizobios) obtuvo costo variable más bajo (US\$ 22.5), y si se compara con su ingreso neto (US\$ 364.77), es el tratamiento que registra un considerable margen de diferencia entre ambos

parámetros, lo que indica una buena relación beneficio-costo. No obstante, el tratamiento donde se observa el mayor ingreso neto es el T₁ (Urea 46% N₂) con US\$ 497.98 con un costo variable de US\$ 140.3 por hectárea.

Cuadro 8. Presupuesto parcial de los tratamientos en estudio en el cultivo de frijol

Indicadores	Tratamientos evaluados					
	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆
Rendimiento obtenido (kg ha ⁻¹)	564.3	342.5	252.3	466.7	364.7	375.6
Rendimiento ajustado al 13% (kg ha ⁻¹)	490.9	297.9	306.5	406.1	317.2	326.2
Precio del kg (US\$)	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
Ingreso bruto (US\$)	638.2	387.3	398.4	527.9	412.4	424.0
Cantidad de micorriza (kg ha ⁻¹)	-	-	2	-	2	2
Cantidad de rizobios (kg ha ⁻¹)	-	1.4	-	1.4	-	1.4
Cantidad de urea (qq ha ⁻¹)	3.9	-	-	3.9	3.9	3.9
Costos unitarios de micorriza (US\$ kg ⁻¹)	-	-	10	-	10	10
Costos unitarios de rizobios (US\$ kg ⁻¹)	-	13	-	13	-	13
Costos unitarios de urea (US\$ qq ⁻¹)	33.8	-	-	33.8	33.8	33.8
Costos totales de micorriza (US\$ ha ⁻¹)	0	0	20	0	20	20
Costos totales de rizobios (US\$ ha ⁻¹)	0	18.3	0	18.3	0	18.3
Costos totales de urea (US\$ ha ⁻¹)	131.8	0	0	131.8	131.8	131.8
Costo total de insumos (US\$ ha ⁻¹)	131.8	18.3	20	150.2	151.8	170.2
Costo unitario de la mano de obra (D/H)	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4	8.4
Aplicación de rizobios (D/H)	-	0.5	-	0.5	-	0.5
Aplicación de micorriza (D/H)	-	-	1	-	1	1
Aplicación de fertilizante (D/H)	1	-	-	1	1	1
Costo de aplicación de rizobios (US\$)	0	4.2	0	4.2	0	4.2
Costo de aplicación de micorriza (US\$)	0	0	8.45	0	8.4	8.4
Costo de aplicación de fertilizante (US\$)	8.4	0	0	8.45	8.45	8.45
Costo total de la mano de obra (US\$)	8.4	4.2	8.4	12.7	16.9	21.1
Total de costos variables	140.3	22.5	28.4	162.8	168.7	191.3
Ingreso neto (US\$)	497.98	364.77	369.99	365.04	243.65	232.76

T₁ : Urea 46% N₂, T₂ : Rizobios, T₃ : Micorriza, T₄ : Rizobios + Urea 46% N₂, T₅ : Micorriza + Urea 46% N₂, T₆ : Rizobios + Micorriza+ Urea 46% N₂. Cambio oficial del dólar US\$/: C\$35.50.

5.3.2. Análisis de dominancia y tasa de retorno marginal

El análisis de dominancia ordena de menor a mayor los costos variables, de tal manera que permita catalogar un tratamiento como “dominado” si obtiene beneficios netos menores o iguales a los de un tratamiento cuyos costos variables son más bajos (CIMMYT, 1988). Una vez identificados los tratamientos no dominados, se calculó la tasa de retorno marginal dividiendo los beneficios netos entre los costos variables.

Al analizar la curva de beneficios netos y los costos que varían (Figura 11), se observa claramente que los tratamientos inoculados a excepción del tratamiento 6, resultan con los menores costos variables y con ingresos netos similares al tratamiento 1, quien fue que registró el valor más alto. Estos resultados sugieren que los tratamientos 2, 3 podrían ser buenas alternativas bajo sistemas de producción de agricultura familiar, donde el uso de insumos externos como fertilizantes es limitado.

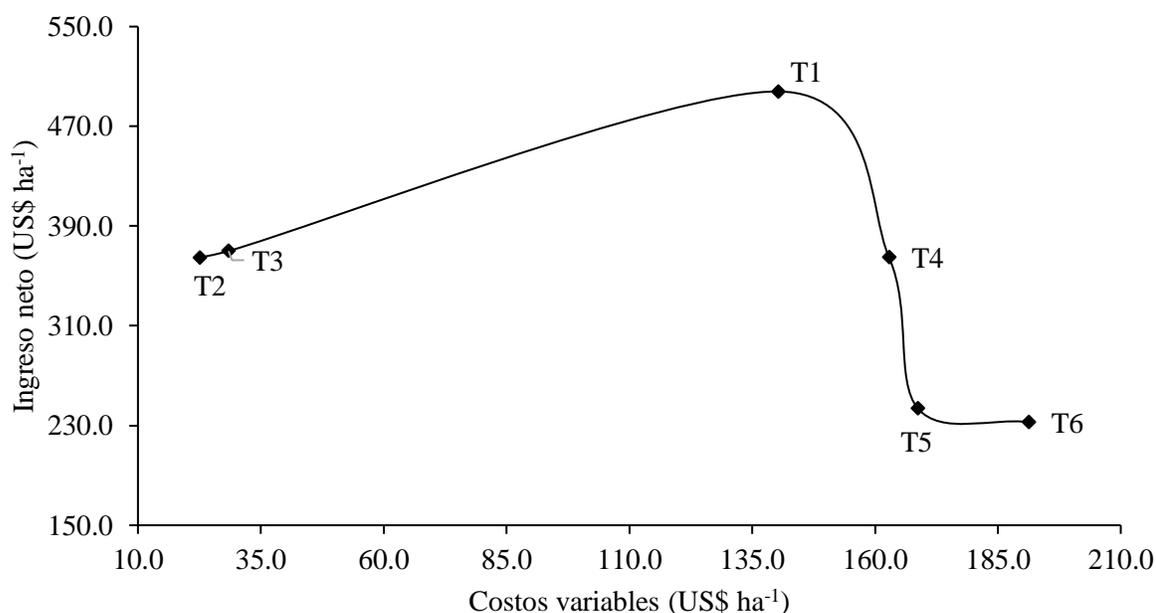


Figura 11. Curva de beneficios netos, para los tratamientos evaluados en el cultivo de frijol.

Se puede afirmar que los tratamientos inoculados con rizobios (T₂) y micorrizas (T₃) son opciones más baratas y apropiadas para pequeños productores y con recursos muy limitados. El tratamiento con Urea al 46% N₂ (T₁) es superior a los T₂ y T₃, ya que tiene mayor ingreso netos, pero implica un costo variable más alto debido a los precios de los insumos.

El Cuadro 9 muestra el análisis de dominancia, indicando que los tratamientos Rizobios + Urea 46% N₂; Micorriza + Urea 46% N₂ y Rizobios + Micorriza + Urea 46% N₂ están dominados, señalando que el uso de estos tratamientos implica incrementar los costos variables, pero no en la misma proporción los ingresos netos en comparación con los demás tratamientos.

Cuadro 9. Análisis de dominancia para los tratamientos evaluados en el cultivo de frijol

Tratamientos	Costos variables (US\$)	Ingreso neto (US\$)	Dominancia
Rizobios	22.55	364.77	ND
Micorriza	28.45	369.99	ND
Urea 46% N ₂	140.27	497.98	ND
Rizobios + Urea 46% N ₂	162.83	365.04	D
Micorrizas+ Urea 46%	168.72	243.65	D
Rizobios + Micorrizas + Urea 46% N ₂	191.28	232.76	D

D: Dominado; ND: No dominado

Los tratamientos Rizobios, Micorriza y Urea 46% N₂, fueron utilizados para calcular la tasa de retorno marginal y determinar la rentabilidad económica. El cuadro 10 refleja que el tratamiento Urea 46% N₂ fue el más rentable, ya que presentó una tasa de retorno marginal de 114%, seguido del tratamiento Micorriza con una tasa de retorno de 88%. Estos resultados indican que, por cada dólar invertido, el productor puede esperar recobrar el US\$ 1.0 y obtener US\$ 1.14 o US\$ 0.88 de ganancia respectivamente.

Cuadro 10. Tasa de Retorno Marginal para los tratamientos evaluados en el cultivo de frijol

Tratamientos	Costos variables (US\$)	Ingreso Neto (US\$)	Costo variable marginal (US\$)	Beneficio neto marginal (US\$)	TRM (%)
Rizobios	22.55	364.77	-	-	-
Micorriza	28.45	369.99	5.9	5.2	88
Urea 46% N ₂	140.27	497.98	\$111.8	128.0	114

TRM: Tasa de retorno marginal.

Desde un punto de vista convencional, tanto agronómica como económicamente el tratamiento Urea 46% N₂ fue el que tuvo un mejor desempeño, no obstante, es importante no despreciar el efecto de los microorganismos, ya que es probable que las condiciones edafoclimáticas en las que se desarrolló el ensayo hayan enmascarado sus amplios beneficios. Aun así, el uso combinado de estos microorganismos con el fertilizante tuvo un importante efecto sobre las variables de rendimiento y los contenidos de Nitrógeno principalmente.

VI. CONCLUSIONES

El análisis estadístico mostró efecto de tratamiento en las variables producción de biomasa, vainas por planta, rendimiento de grano y nitrógeno total acumulado, sobresaliendo con las medias más alta los tratamientos donde se empleó Urea 46% N₂, seguido de la combinación con cualquiera de los inóculos.

En cuanto al rendimiento de grano, el tratamiento urea 46% N₂, fue estadísticamente superior a los demás tratamientos con 564.3 kg ha⁻¹. En cambio, las inoculaciones separadas de rizobios y micorrizas como única tecnología aplicada, expresaron los rendimientos más bajos.

El tratamiento más rentable fue Urea 46% N₂ (T₁) dado que presentó la mayor tasa de retorno marginal con US\$ 1.14.

VII. RECOMENDACIONES

Bajo las condiciones en las que se desarrolló el experimento, la opción más rentable para el productor es manejar la fertilización del cultivo de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) utilizando Urea 46% N₂.

Para productores interesados en el uso de microorganismos para reducir los costos de fertilizantes, la opción más factible desde el punto de vista económico y agronómico es utilizar las micorrizas.

Dado que no se encontró evidencia clara del efecto de los microorganismos, sería importante en estudios posteriores considerar el porcentaje de colonización de la micorriza para poder identificar mejor sus efectos sobre el cultivo y emplear otro tipo de cepas de rizobios para evaluar su efectividad.

Es importante verificar la calidad de los inóculos antes de su uso en campo, ya que es un factor determinante en el establecimiento de estos microorganismos en el sistema suelo-planta.

VIII. LITERATURA CITADA

- Acosta-Díaz, E., Kohashi-Shibata, J., y Acosta-Gallegos, J. A. (1997). Rendimiento y sus componentes en frijol bajo condiciones de sequía. *Agricultura Técnica En México*, 23(2), 139–151. <http://www.acuedi.org/ddata/1138.pdf>
- Acosta-Díaz, E., Amador-Ramírez, Mario D., Padilla-Ramírez, J., Gómez-Delgado, J., & Valadez-Montoya, H. (2007). Biomasa y rendimiento de frijol tipo flor de junio bajo riego y sequía. *Agricultura técnica en México*, 33(2), 153-162. Recuperado en 20 de enero de 2023, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172007000200005&lng=es&tlng=es.
- Apáez Barrios, P., Salvador Escalante, J. A., Ramírez Vallejo, P., Douglas Koch Olt, S., Sosa Montes, E., & Olalde Gutiérrez, V. M. (2013). Eficiencia agronómica de nitrógeno y fósforo en la producción de frijol chino en espaldera de maíz. *Terra latinoamericana*. 31(4):285.293. Recuperado 15 de julio de 2022, de <https://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v31n4/2395-8030-tl-31-04-00285.pdf>
- Álvarez, A.F. (2022) Fijación biológica de nitrógeno en tres variedades mejoradas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) por medio del método de dilución isotópica ¹⁵N [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria]. <https://repositorio.una.edu.ni/4496/1/tnp34a473f.pdf>
- Amezcu Romero, J., & Lara Flores, M. (2017). El zinc en las plantas. *Ciencia*, 68(3), 28-35. https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/68_3/PDF/zinc_plantas.pdf
- Araya Villalobos R, Hernández Fonseca JC. (2007). Caracteres fenológicos, morfológicos, y agronómicos de 26 líneas mutantes de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en su séptima generación en la búsqueda de genotipos promisorios a potencial de rendimiento, El Salvador [Tesis de pregrado, Universidad del Salvador] <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/11938/1/13101620.pdf>.
- Arias Restrepo, J. F., Rengifo Martínez, T., Jaramillo Carmona, M., & de Seguridad, G. D. A. C. G. (2007). Buenas practicas agricolas (BPA) en la producción de frijol voluble. <https://www.fao.org/3/a1359s/a1359s.pdf>
- Augé, R. M., Sylvia, D. M., Park, S., Buttery, B. R., Saxton, A. M., Moore, J. L., & Cho, K. (2004). Partición de la influencia de las micorrizas en las relaciones hídricas de *Phaseolus vulgaris* en los componentes del suelo y las raíces. *Revista canadiense de botánica*, 82(4), 503-514. <https://doi.org/10.1139/b04-020>
- ASOPROL (Asociación de productores de Santa Lucía). (2009). Guía técnica del cultivo de frijol. Consultado 31 de ago. de 2021. Disponible en: <http://repiica.iica.int/DOCS/B2170E/B2170E.PDF>

- Banath, C. L., Greenwood, E. A. N., & Loneragan, J. F. (1966). Efectos de la deficiencia de calcio en la fijación simbiótica de nitrógeno. *Plant Physiology*, 41(5), 760-763. <https://doi.org/10.1104/pp.41.5.760>
- Bécquer C.J. (2002). La simbiosis leguminosa-rizobio: características generales e importancia productiva. *Pastos y Forrajes*, 25(2), 63+. <https://link.gale.com/apps/doc/A146835064/IFME?u=anon~aa9aaa8b&sid=googleScholar&xid=c61315e2>
- Bitocchi, E., Nanni, L., Bellucci, E., Rossi, M., Giardini, A., Zeuli, P. S., Logozzo, G., Stougaard, J., McClean, P., Attene, G., & Papa, R. (2012). Mesoamerican origin of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is revealed by sequence data. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(14), E788-E796. <https://doi.org/10.1073/pnas.1108973109>
- Bonilla, A. (2014). Patrones de sequía en Centroamérica Su impacto en la producción de maíz y frijol y uso del Índice Normalizado de Precipitación para los Sistemas de Alerta Temprana. https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/patrones-de-sequia_fin.pdf.
- Casieri, L., Ait Lahmidi, N., Doidy, J., Veneault-Fourrey, C., Migeon, A., Bonneau, L., Courty, P. E., Garcia, K., Charbonnier, M., Delteil, A., Brun, A., Zimmermann, S., Plassard, C., & Wipf, D. (2013). Biotrophic transportome in mutualistic plant–fungal interactions. *Mycorrhiza*, 23(8), 597-625. <https://doi.org/10.1007/s00572-013-0496-9>
- CENTA. (Centro Nacional de Tecnología Agropecuario y Forestal). (2018). Guía técnica para el manejo de variedades de frijol. Programa de Granos Básicos. p. 15. Consultado 28 de febrero de 2023. Disponible en <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/granos%20basicos/Guia%20Tecnica%20Frijol.pdf>
- CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). (1988). La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: un manual metodológico de evaluación. Consultado 31 de ago. de 2021. Disponible en <http://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/1063/9031.pdf>
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical, CO). (1984). Morfología de la planta de frijol común (en línea). Cali, CO. Consultado 13 de agosto de 2021. Disponible en https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/81884/Capitulo_Fr%c3%adjol_Investigaci%c3%b3n_y_producci%c3%b3nMorfologia%20de%20la%20planta%20de%20frijol%20comun-1985.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical1). (1994). Problemas de Producción del Frijol en los Trópicos (2.a ed., Vol. 230). Consultado 10 de agosto de 2021. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/132664941.pdf>

- CIGEO-UNAN, Managua (Instituto de Geología y Geofísica IGG-CIGEO de la UNAN-Managua). (2021). Estación meteorológica del Instituto de geología y geofísica IGG-CIGEO de la UNAN-Managua registro de acumulado de precipitación. *Boletín Climático Mensual*, 17,18,19 y 20. <https://igg.unan.edu.ni/index.php/2020/10/15/estacion-meteorologica/>
- Coskun D, Britto DT, Shi W, Kronzucker HJ. (2017). Cómo los exudados de las raíces de las plantas dan forma al ciclo del nitrógeno. *Trends in Plant Science* 22, 661–673.
- Corrales-González, M., Rada, F., & Jaimez, R. (2016). Efecto del nitrógeno en los parámetros fotosintéticos y de producción del cultivo de la gerbera (*Gerbera jamesonii* H. Bolus ex Hook. f.). *Acta Agronómica*, 65(3), 255-260. <https://doi.org/10.15446/acag.v65n3.49555>
- Cuadrado, B., Rubio, G., & Santos, W. (2009). Caracterización de cepas de *Rhizobium* y *Bradyrhizobium* (con habilidad de nodulación) seleccionados de los cultivos de fríjol caupi (*Vigna unguiculata*) como potenciales bioinóculos. *Revista Colombiana de Ciencias Químico - Farmacéuticas*, 38(1). Pp.78-104.
- Das, A. & Varma, A. (2009). Simbiosis: el arte de vivir. En: Varma, A., Kharkwal, AC (eds) *Symbiotic Fungi. Biología del suelo*, vol 18. Springer, Berlín, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-95894-9_1
- Dominguez Suarez, A., Martinez Davalo, Y., Perez Hernandez, Y., Fuentes Alfonso, L., Darias Rodriguez, R., Sosa del Castillo, M., Rea Suarez, R., & Sosa del Castillo, D. (2016). Comportamiento de variedades cubanas y venezolanas de frijol común, cultivados en condiciones de sequía / Yield of Cubans and Venezuelan genotypes of common bean, grown in drought conditions. *CIENCIA UNEMI*, 9(20), 68-75. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol9iss20.2016pp68-75p>
- Espinoza, E. (2009). Evaluación de 16 genotipos seleccionados en dos densidades de siembra de frijol canario cv.Centenario (*phaseolus vulgaris* L.) por su calidad y Rendimiento en condiciones de costa central. [Tesis para optar el grado de: Magister Scientiae Universidad Nacional Agraria La Molina]. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1710/PAG%2011-137-TM.pdf;sequence=1>.
- Essalmani, H., & Lahlou, H. (2003). Mécanismes de bioprotection des plantes de lentille par *Rhizobium leguminosarum* contre *Fusarium oxysporum* f. sp. lentis. *C. R. Biologies*, 326: 1163–1173. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2003.10.003>
- Fabre, TB, Secada, Y., Chaveco, O., Boudet, A., Gómez, Y., Meriño, Y., Reyes, JJ, Ojeda, CM, Tornes, N., & Barroso, L. (2011). Respuesta a la sequía de genotipos de fríjol común utilizando diferentes índices de selección. *Centro Agrícola*.38(4), 69-73. <https://biblat.unam.mx/hevila/Centroagricola/2011/vol38/no4/12.pdf>

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2020). El reto de tener un Sistema Nacional de Semillas funcional para el incremento de la productividad en la agricultura de Nicaragua [Comunicado de prensa]. <https://www.fao.org/nicaragua/noticias/detail-events/es/c/1297237/>
- FENALCE (Federación Nacional de Cultivadores de Cereales y Leguminosas). (2010). El cultivo del frijol, historia e importancia. p. 30-31. Recuperado 15 de agosto de 2021, de <https://xdoc.mx/documents/el-cultivo-del-frijol-historia-e-importancia-5ffd2f2d9b61c>
- Fernández-Canigia., V. (2020). *Factores determinantes de la nodulación* (Vol. 1). https://images.engormix.com/externalFiles/6_factores_determinantes_de_la_nodulacion.pdf
- FUNICA (Fundación para el desarrollo tecnológico agropecuario y forestal). (2009). Principales características de las semillas mejoradas de frijol. www.funica.gob.ni consultado el 01 de Julio de 2021.
- FUNDAR (Fundación Amigos del Río San Juan). (2012). Diez estudios preliminares, lineamientos estratégicos y planes municipales de ordenamiento y desarrollo territorial. Informe: Estudio de Población Distritos V, VI y VII del municipio de Managua. Recuperado 18 de julio de 2021, de <https://docplayer.es/51142112-Lineamientos-estrategicos-para-el-ordenamiento-territorial-distritos-v-vi-y-vii-managua.html>
- García, S. (2011). Bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno. *Dialnet*, 3(1), 173–186. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3761553>
- Gaitán, M. D., & Mairena, H. I. (2017). Cuantificación de la fijación biológica de nitrógeno por cuatro especies de leguminosas mediante el método de abundancia natural [Universidad Nacional Agraria]. <https://repositorio.una.edu.ni/3662/1/tnf04g144.pdf>
- García, J., & Umazor, A. (2018). Efecto de tres dosis de Biol en el cultivo de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), cv. INTA Fuerte Sequía en la finca El Plantel, Masaya 2017 [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria-UNA]. <https://repositorio.una.edu.ni/3676/>
- Granda, D. (2002). Catálogo de semillas: híbridas y variedades. Proyecto de Mejoramiento de Semilla (PROMESA).
- Grageda-Cabrera, O. A., Díaz-Franco, A., Peña-Cabriales, J. J., & Vera-Nuñez, J. A. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 3, 6. 1261–1274. DOI: <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i6.1376>.
- Giovannini, L., Palla, M., Agnolucci, M., Avio, L., Sbrana, Turrini, A., & Giovannetti, M. (2020). Hongos micorrízicos arbusculares y microbiota asociado como bioestimulantes

vegetales: estrategias de investigación para la selección de los inóculos de mejor rendimiento. *Agronomía*, 10(1), MDPI AG. <https://www.mdpi.com/2073-4395/10/1/106>

Gobierno de reconciliación y unidad nacional. (08 de mayo de 2021). Plan Nacional de Producción, consumo y comercio 2021-2022. Obtenido de el19digital.com: [https://www.el19digital.com/app/webroot/tinymce/source/2021/Mayo/19May/PLAN%20NACIONAL%20DE%20PRODUCCION%202021-2022%20\(08May21\)3.pdf](https://www.el19digital.com/app/webroot/tinymce/source/2021/Mayo/19May/PLAN%20NACIONAL%20DE%20PRODUCCION%202021-2022%20(08May21)3.pdf)

González, LR; Núñez Sosa, DB; Barceló Díaz, R. (2012) Efecto de la aplicación de *rhizobium* y micorriza en el crecimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad CC-25-9 negro (en línea). Centro Agrícola 39(4). Pág. 20. Consultado 18 de agosto 2021. Disponible en http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/pdf/V39-Numero_4/cag044121877.pdf

González, D., Álvarez, U., & Lima, R. (2018). Acumulación de biomasa fresca y materia seca por planta en el cultivo intercalado caupí - sorgo. *Centro Agrícola*, 45(2), 77-82. Recuperado en 29 de enero de 2023, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852018000200011&lng=es&tlng=es

Guarachi, M., Rojas, T., & Joaquín, A. (2005). Producción de biomasa y contenido nutritivo de tres leguminosas durante la época seca [Tesis de pregrado, Universidad Autónoma Gabriel René Moreno].

Hassan Dar, G., Zargar, M. & Beigh, G. (1997) Control biológico de la pudrición de la raíz por *Fusarium* en el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) mediante el uso de *Symbiotic Glomus mosseae* y *Rhizobium leguminosarum*. *Microb Ecol* 34, 74–80 (1997). <https://doi.org/10.1007/s002489900036>

Hernández, J. (2009). Cultivo de Frijol (*Phaseolus vulgaris* L). Manual de recomendaciones técnicas (p. 77).

Hayman, D. S. (1986). Micorrizas de leguminosas fijadoras de nitrógeno. *Revista MIRCEN de microbiología aplicada y biotecnología*, 2(1), 121-145. <https://doi.org/10.1007/bf00937189>

Hungria, M., & Neves, M. C. P. (1987). Efecto de cepas de cultivares y *Rhizobium* sobre la fijación y el transporte de nitrógeno en *Phaseolus vulgaris* L. *Plant and Soil*, 103(1), 111-121. <https://doi.org/10.1007/bf02370675>

IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). (2009). La cadena agroindustrial del frijol. [cenida.una.edu.ni. https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/RENE70I59f.pdf](https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/RENE70I59f.pdf)

- INTA (Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria). (2009). Guía tecnológica del cultivo de frijol. *Gobierno de Reconciliación y Unidad Nacional*, 2. <https://es.scribd.com/document/346948435/GUIA-FRIJOL-INTA-pdf#>
- INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales). (2021). Boletín agrometeorológico. Recuperado de <https://www.ineter.gob.ni/boletinambioclimaticomensual.html>
- Jara, C. (2015). Consideraciones para la producción artesanal de semilla de fríjol (diapositivas) (en línea). Cali, CO.18 diapositivas, muda, color. Consultado 31 de ago. de 2021. Disponible en <http://www.aclimatecolombia.org/download/opcionestecnologicas/presentacion%20Frijol%20OK.pptx>
- Johansson, J. F., Paul, L. R., & Finlay, R. D. (2004). Interacciones microbianas en la micorrizosfera y su importancia para la agricultura sostenible. *FEMS Microbiology Ecology*, 48(1), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.femsec.2003.11.012>
- Kuzyakov, Y., & Xu, X. (2013). Competencia entre raíces y microorganismos por nitrógeno: mecanismos y relevancia ecológica. *New Phytologist*, 198(3), 656–669. <https://doi.org/10.1111/nph.12235>
- Lata-Tenesaca, L., Villaseñor-Ortiz, D., & Chabla-Carrillo, J. (2017). Fraccionamiento de la absorción de nutrientes en cuatro etapas fenológicas del cultivo de fréjol. *Revista Universidad y Sociedad*, 9(1), 20-27. Recuperado en 30 de enero de 2023, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202017000100003&lng=es&tlng=es.
- Levitt, J. (1972). *Respuestas de las plantas al estrés ambiental* (2.^a ed., Vol. 2). Prensa Académica. New York.
- León, J. (1968). *Botánica de los cultivos tropicales* (3.^a ed., Vol. 1). Editorial Agroamérica.
- López, J., Cruz, A., & Herrera, L. (2003). El papel de la disponibilidad de nutrientes en la regulación de la arquitectura radicular. *Opinión actual en biología vegetal*, 6(3), 280-287. [https://doi.org/10.1016/s1369-5266\(03\)00035-9](https://doi.org/10.1016/s1369-5266(03)00035-9)
- Néstor, Nicolás, F., Uribe, S., López, E., Camacho, R., & Turrent, A. (1999). El sistema maíz-leguminosa-frijol y la fertilización mineral en terrazas de muro vivo. *Agronomía mesoamericana*, 10(2), 59–67. http://www.mag.go.cr/rev_meso/v10n02_059.pdf
- Mayak, S., Tirosh, T., & Glick, B. (2004). Bacterias promotoras del crecimiento vegetal confieren resistencia en plantas de tomate al estrés salino. *Bioquímica fisiológica vegetal*, 42(6), 565–572. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2004.05.009>

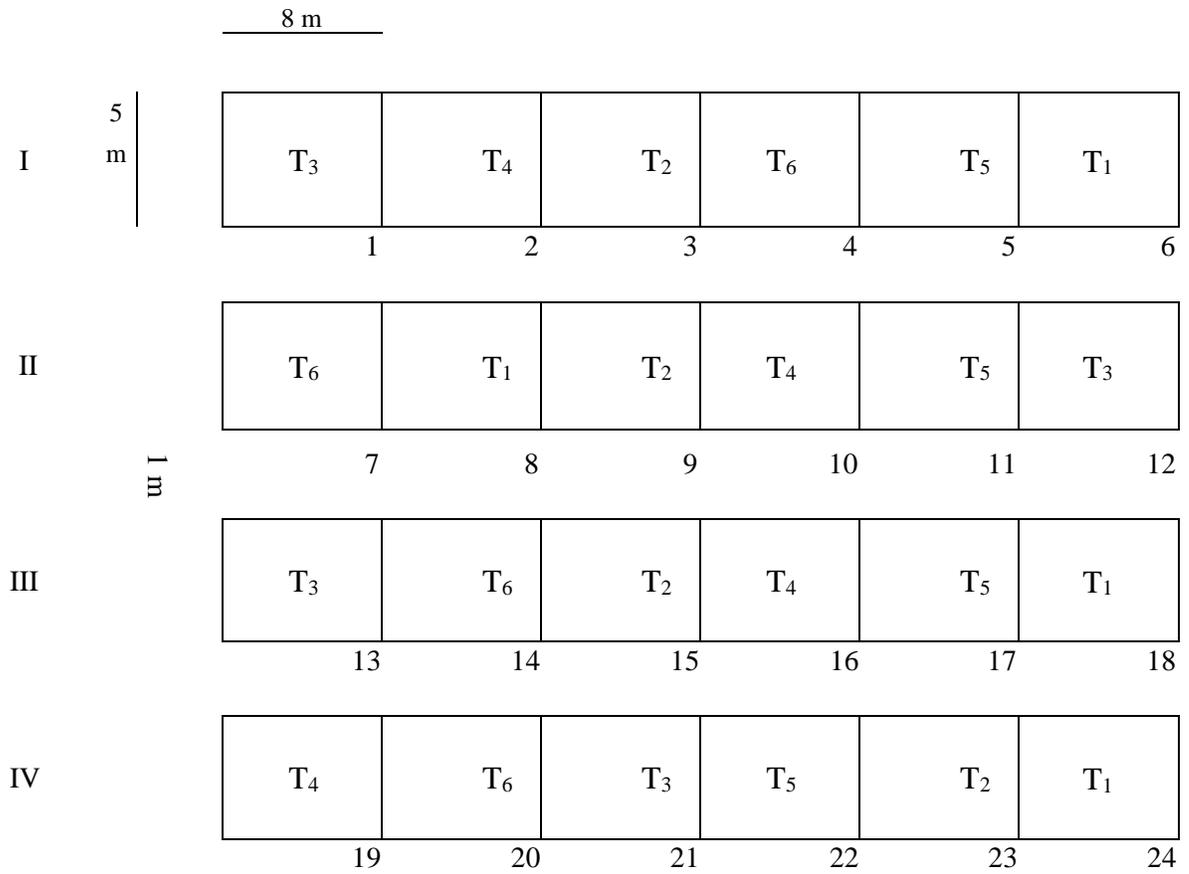
- MAG (Ministerio Agropecuario) & INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales). (2010). Nicaragua. Uso potencial de la tierra. Compendio de mapas. <https://www.yumpu.com/es/document/read/50018284/uso-potencial-de-la-tierra-compendio-de-mapas-magfor>
- MAG (Ministerio Agropecuario). (2018). Encuestas de producción por ciclo. Ministerio de Agricultura y Ganadería y Banco Central de Nicaragua. [fecha de Consulta 23 de agosto de 2022]. Disponible en: https://www.bcn.gob.ni/sites/default/files/documentos/anuario_estadistico_2018.pdf
- Meriño, Y., Boudet, A., Boicet, T., Barreiro, E., Palacio, A., y Oduardo, R. (2015). Rendimiento y tolerancia a la sequía de seis variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en condiciones de campo. *Centro Agrícola*, 42(1), 69–74. <http://cagricola.uclv.edu.cu/index.php/es/volumen-42-2015/numero-1-2015/17-rendimiento-y-tolerancia-a-la-sequia-de-seis-variedades-de-frijol-comun-phaseolus-vulgaris-l-en-condiciones-de-campo>
- Mendoza, R. (2014). Guía para el uso de indicadores de calidad de suelo. Recuperado 21 de enero de 2023, de <https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/REN35M539.pdf>
- Miller, R. W., & Sirois, J. C. (1983). Efectos del calcio y magnesio sobre la fijación simbiótica de nitrógeno en el sistema alfalfa (*M. sativa*) – *Rhizobium meliloti* system. *Physiologia Plantarum*, 58(4), 464-470. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1983.tb05728.x>
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego). (2019). Requerimientos Agroclimáticos del cultivo de Frijol Grano Seco (Ficha Técnica N° 06). <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/419899/ficha-tecnica-06-cultivo-frijol.pdf>
- Monserrate, F. (2008) Análisis del proceso de Biofortificación de variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) andino de tipo comercial “calima” en Colombia. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Colombia]. Consultado 10 de Agosto de 2021. Disponible en: <https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/67278/analisisprocesobiofortificacion-variedadesdefrijol.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Murray, J. D., Liu, C. W., Chen, Y., & Miller, A. J. (2016). Detección de nitrógeno en leguminosas. *Revista de botánica experimental*, erw405. <https://doi.org/10.1093/jxb/erw405>
- Pate, B. (1957). La sincronización del desarrollo del hospedador y el simbiótico en el campo guisante, *Pisum arvense* L. En *estudios de nodulación en legumbres*. <https://www.publish.csiro.au/bi/pdf/bi9580366>

- Parsons, L. R. (1979). Mejoramiento para la resistencia a la sequía: ¿qué características de las plantas imparten resistencia? *HortScience*, 14(5), 590–593.
- Perrine, F. M., Rolfe, A. G., Hynes, M. F., & Hocart, C. H. (2004). Análisis por cromatografía de gases-espectrometría de masas de ácido indolacético y triptófano después de la derivatización acuosa con cloroformiato de exudados de rhizobium. *Bioquímica fisiológica vegetal*, 42(9), 723-729. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2004.07.008>
- Peña Cabriales, J. J., & Zapata, F. (1999). *Aumento de la fijación biológica del nitrógeno en el frijol común en América Latina: Resultados de un programa FAO/OIEA de Investigación Coordinada, 1986-1991*. [Viena]: ARCAL. <https://catalogosiidca.csuca.org/Record/UCR.000054859/Details>
- Pommeresche & Hansen, S. (2017). Examen de la actividad de los nódulos en raíces de leguminosas. <https://Orgprints.Org>. Recuperado 11 de enero de 2022, de <https://orgprints.org/id/eprint/31344/7/pommeresche-hansen-2017-root-nodules-spanish.pdf>
- Rodríguez, H., & Fraga, R. (1999). Bacterias solubilizadoras de fosfato y su papel en la promoción del crecimiento vegetal. *Avances en biotecnología*, 17(4–5), 319–339. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0734975099000142?via%3Dihub>
- Rossum, D., Muyotcha, A., Verseveld, H. W., Stouthamer, A. H., & Boogerd, F. C. (1994). Producción de sideróforos por Bradyrhizobium spp. cepas de maní nodulante. *Springer*, 163(2), 177–187. <https://www.jstor.org/stable/42939751>
- Reinprecht, Y., Schram, L., Marsolais, F., Smith, T. H., Hill, B., & Pauls, K. P. (2020). Efectos de la Aplicación de Nitrógeno en la Fijación de Nitrógeno en la Producción de Frijol Común. *Frontiers in Plant Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01172>
- Rugama, J. (2021). Evaluación de diferentes fertilizantes en el cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), Variedad Rojo Extrema Sequía, Centro Experimental las Mercedes, 2020 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria-UNA]. <https://repositorio.una.edu.ni/4420/>
- Sánchez, P. (1981). Suelos del trópico: características y manejo. IICA <https://repositorio.iica.int/handle/11324/16537>
- Sawada, H., Kuykendall, L. & Young, J. (2003). Conceptos cambiantes en la sistemática de simbiontes bacterianos de leguminosas fijadoras de nitrógeno. *Revista de Microbiología General y Aplicada*, 49(155-179), Article 3. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jgam/49/3/49_3_155/pdf/-char/en

- Sessitsch, A., Howieson, J. G., Perret, X., Antoun, H., & Martínez-Romero, E. (2002). Avances en la investigación de *Rhizobium*. *Reseñas críticas en ciencias vegetales*, 21(4), 323–378. <https://doi.org/10.1080/0735-260291044278>
- Scheublin, T. R., & Van Der Heijden, M. G. A. (2006). Hongos micorrízicos arbusculares colonizan nódulos radiculares no fijados de varias especies de leguminosas. *New Phytologist*, 172(4), 732-738. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01858.x>
- Shrawat, A. K., Carroll, R. T., DePauw, M., Taylor, G. J., & Good, A. G. (2008). Ingeniería genética para mejorar la eficiencia del uso de nitrógeno en arroz mediante la expresión específica de tejido de *alanina aminotransferasa*. *Revista de biotecnología vegetal*, 6(7), 722-732. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7652.2008.00351.x>
- Solís, A. J. (2017). Análisis Económico del Cultivo del Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en Nicaragua, 1980 – 2014 [Trabajo de Graduación: Universidad Nacional Agraria]. <https://repositorio.una.edu.ni/3622/1/tne10s687.pdf>
- Smith, S., & Read, D. (2008). Simbiosis micorrízica (3.a ed.). Academic Press. Casieri, L., Ait Lahmidi, N., Doidy, J., Veneault-Fourrey, C., Migeon, A., Bonneau, L., Courty, P. E., Garcia, K., Charbonnier, M., Delteil, A., Brun, A., Zimmermann, S., Plassard, C., & Wipf, D. (2013). Biotrophic transportome in mutualistic plant–fungal interactions. *Mycorrhiza*, 23(8), 597-625. <https://doi.org/10.1007/s00572-013-0496-9>
- Sprent, J. I., & James, E. K. (2007). Evolución de las leguminosas: ¿dónde encajan los nódulos y las micorrizas? *Plant Physiology*, 144(2), 575-581. <https://doi.org/10.1104/pp.107.096156>
- Westover, K. M., Kennedy, A. C., & Kelley, S. E. (1997). Patrones de estructura de la comunidad microbiana de la rizosfera asociados con especies de plantas coexistentes. *Journal of Ecology, Oxford (Reino Unido)*, 85(6), 863–873.
- Weisany, W., Yaghoub, R., & Allahverdipoor, K. (2013). Papel de algunos de los nutrientes minerales en la fijación biológica del nitrógeno. <https://www.topsoils.co.nz/wp-content/uploads/2014/09/Role-of-some-of-Mineral-Nutrients-in-Biological-Nitrogen-Fixation-Academy-for-Environment-and-Life-Sciences.pdf>
- Wu, S., & Xia, R. (2004). Efectos de hongos micorrízicos arbusculares sobre el crecimiento de las plantas y el contenido de materia de ajuste osmótico de plántulas de naranjo trifoliado bajo estrés hídrico. *Revista de fisiología vegetal y biología molecular*, 30(5), 583–588. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15627714/>

IX. ANEXOS

Anexo 1. Plano de campo



Área total: Largo x Ancho= 25 m x 54 m= 1350 m²

Área de bloque= 5 m x 8 m=40 m²

Área de parcela útil= 2.5 m x 5 m=12.5 m²

Anexo 2. Análisis Físico – Químico de suelo

Universidad Nacional Agraria
Laboratorio de Suelos y Agua LABSA
Análisis Físico de Suelos

Fecha: 26/08/2021 Finca: Dpto. y Municipio: Managua-Venecruz

Entidad: privado Contacto: Fátima Polanco

No.	Cód. LABSA	IDENTIFICACION	PROCP			RETENCION DE HUMEDAD			PLASTICIDAD			PARTICULAS %			CLASE TEXTURA
			cm	Da	Dr	CC	% H	PMSP	LSP	LP	%P	Arilla	Limo	arena	
1	441	Fátima Polanco													Francés Lámnea


 Ing. MSc. Fernando García
 Director de LABSA

Universidad Nacional Agraria - UNA
Laboratorio de Suelos y Agua - LABSA
Análisis Químico de Suelos

Fecha: 26/08/2021 Finca: Dpto. Municipio: Managua Venecruz

Entidad: privado Contacto: Fátima Polanco

No.	Cód. LABSA	Descripción	RUTINA					Disponibles										BASES										ANÁLISIS COMPLETO									
			pH	MO	N	CaCO ₃	P-disp	CE	Al	K	Ca	Mg	K	Ca	Mg	Na	Cl	SB	Fe	Cu	Mn	Zn	Pb	B	Si	V	Ni	Cd	Hg	As							
																															ppm	ppm	mg/100 g suelo	mg/100 g suelo	ppm	ppm	
1	441	Fátima Polanco	7,18	2,48		35,71	86,60	4,48	19,53	4,72	5,38	10,29	5,07	0,40	33,60	16,20	5,10	20,00	0,40																		


 DIRECCION LABSA

Anexo 3. Preparación del terreno para establecimiento del cultivo de frijol



Anexo 4. Delimitación de parcela y bloques para establecimiento del cultivo de frijol



Anexo 5. Preparación e inoculación de la semilla de frijol para establecimiento en campo



Anexo 6. Resultados de análisis de nitrógeno total en biomasa a los 30,45 y 60 dds en el cultivo de frijol

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LABSA - UNA

Resultados de Análisis en Planta.

Entidad: Privado
Nombre: Fátima Polanco
Material Analizado: Frijol

Finca: Los Angeles
Departamento: Marangua
Municipio: Sabana Grande

No.	Código LABSA	Identificación	Cenizas	Micro Elementos									
				N	P	K	Ca	Mg	Na	B			
				%									
				mg/kg									
1	P-2022-0001	TR1		3.81									
2	P-2022-0002	TR2		3.89									
3	P-2022-0003	TR3		3.88									
4	P-2022-0004	TR4		3.81									
5	P-2022-0005	TR5		3.71									
6	P-2022-0006	TR6		3.74									

ND: No Detectado

Ing. MSc. Leonardo García
Director LABSA

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LABSA - UNA

Resultados de Análisis en Planta.

Entidad: Privado
Nombre: Fátima Polanco
Material Analizado: Frijol

Finca: Los Angeles
Departamento: Marangua
Municipio: Sabana Grande

No.	Código LABSA	Identificación	Cenizas	Micro Elementos									
				N	P	K	Ca	Mg	Na	B			
				%									
				mg/kg									
1	P-2022-0001	TR1		3.79									
2	P-2022-0002	TR2		3.75									
3	P-2022-0003	TR3		3.68									
4	P-2022-0004	TR4		3.82									
5	P-2022-0005	TR5		3.68									
6	P-2022-0006	TR6		3.62									

ND: No Detectado

Ing. MSc. Leonardo García
Director LABSA

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LABSA - UNA

Resultados de Análisis en Planta.

Entidad: Privado
Nombre: Fátima Polanco
Material Analizado: Frijol

Finca: Los Angeles
Departamento: Marangua
Municipio: Sabana Grande

No.	Código LABSA	Identificación	Cenizas	Micro Elementos									
				N	P	K	Ca	Mg	Na	B			
				%									
				mg/kg									
1	P-2022-0001	TR1		3.98									
2	P-2022-0002	TR2		3.83									
3	P-2022-0003	TR3		3.67									
4	P-2022-0004	TR4		3.78									
5	P-2022-0005	TR5		3.97									
6	P-2022-0006	TR6		3.91									

ND: No Detectado

Ing. MSc. Leonardo García
Director LABSA

Anexo 7. Resultados de análisis de nitrógeno total en grano de frijol

16/02/2022

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LABSA - UNA

Resultados de Análisis en Planta.

Entidad: Privado
Nombre: Fátima Polanco
Material Analizado: Frijol

Finca: Los Angeles
Departamento: Marangua
Municipio: Sabana Grande

No.	Código LABSA	Identificación	Cenizas	Micro Elementos								
				N	P	K	Ca	Mg	Na	B		
				%								
				mg/kg								
1	P-2022-0001	TR1		4.52								
2	P-2022-0002	TR2		3.81								
3	P-2022-0003	TR3		5.59								
4	P-2022-0004	TR4		3.58								
5	P-2022-0005	TR5		7.05								
6	P-2022-0006	TR6		4.97								

ND: No Detectado

Ing. MSc. Leonardo García
Director LABSA

Km 12 y 1/2 Carretera Norte, Línea directa: 22331178, Central telefónica: 22331501- 22331354- 22331889
Ext. 5252- 5251, Email: labasa@ci.una.edu.ni

Anexo 8. Muestreo de frijol por tratamiento a los 60 dds



Anexo 9. Cosecha y secado de grano de frijol



Anexo 10. Resultados de los análisis de varianza de las variables evaluadas

Rendimiento de grano en kilogramo por hectáreas (Kg ha⁻¹)

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Columna2	24	0.54	0.42	26.40

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	232917.71	5	46583.54	4.30	0.0095
Columnal	232917.71	5	46583.54	4.30	0.0095
Error	195138.15	18	10841.01		
Total	428055.86	23			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=233.97988

Error: 10841.0083 gl: 18

Columnal	Medias	n	E.E.		
Fert sint	564.30	4	52.06	A	
Rizo + Fert sint	466.72	4	52.06	A	B
Mico + Rizo	375.64	4	52.06	A	B
Mico + Fert sint	364.68	4	52.06	A	B
Rizo	342.46	4	52.06	A	B
Mico	252.28	4	52.06		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

Nitrógeno total en grano por porcentaje NTG (%)

Momento	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
1	NTG (%)	24	1.00	1.00	0.00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	33.58	8	4.20	sd	sd
Tratamientos	33.58	5	6.72	sd	sd
Bloque	0.00	3	0.00	sd	sd
Error	0.00	15	0.00		
Total	33.58	23			

Nitrógeno Total en Grano en kilogramos por hectáreas NTG (Kg ha⁻¹)

Momento	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
1	NTG (Kg ha ⁻¹)	24	0.65	0.46	27.23

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	729.72	8	91.21	3.45	0.0186
Tratamientos	659.04	5	131.81	4.98	0.0069
Bloque	70.68	3	23.56	0.89	0.4684
Error	396.65	15	26.44		
Total	1126.37	23			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=11.81379

Error: 26.4434 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.			
Mico + Fert sint	26.33	4	2.57	A		
Fert sint	25.48	4	2.57	A	B	
Mico + Rizo	18.02	4	2.57	A	B	C
Rizo + Fert sint	16.41	4	2.57	A	B	C
Mico	14.51	4	2.57		B	C
Rizo	12.57	4	2.57			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Análisis de la varianza biomasa aérea en kilogramos por hectáreas

Biomasa Seca en kilogramos por hectárea (Kg ha⁻¹)

Momento	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
1	Bio (Kg ha ⁻¹)	24	0.51	0.37	18.38

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	40694.51	5	8138.90	3.75	0.0168
Tratamientos	40694.51	5	8138.90	3.75	0.0168
Error	39080.90	18	2171.16		
Total	79775.40	23			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=104.71036

Error: 2171.1608 gl: 18

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
Rizo	311.00	4	23.30	A	
Mico	281.50	4	23.30	A	B
Rizo + Fert sint	279.35	4	23.30	A	B
Fert sint	232.53	4	23.30	A	B
Mico + Fert sint	228.95	4	23.30	A	B
Mico + Rizo	187.38	4	23.30		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Nitrógeno Total en Biomasa seca en porcentaje (%)

Momento	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
1	NTB (%)	24	1.00	1.00	0.00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3.99	5	0.80	sd	sd
Tratamientos	3.99	5	0.80	sd	sd
Error	0.00	18	0.00		
Total	3.99	23			

Nitrógeno Total en Biomasa en kilogramos por hectárea (Kg ha⁻¹)

Momento	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
1	NTB (Kg ha ⁻¹)	24	0.71	0.63	18.30

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	121.02	5	24.20	8.87	0.0002
Tratamientos	121.02	5	24.20	8.87	0.0002
Error	49.13	18	2.73		
Total	170.15	23			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=3.71277

Error: 2.7297 gl: 18

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
Rizo	11.48	4	0.83	A	
Mico	10.92	4	0.83	A	B
Rizo + Fert sint	10.67	4	0.83	A	B
Mico + Fert sint	8.52	4	0.83	A	B C
Fert sint	7.44	4	0.83		B C
Mico + Rizo	5.13	4	0.83		C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Análisis de Varianza Momento Dos.

Biomasa Seca en kilogramos por hectárea (Kg ha^{-1})

Momento	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2	Bio (Kg ha^{-1})	24	0.47	0.33	31.23

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	475345.18	5	95069.04	3.24	0.0292
Tratamientos	475345.18	5	95069.04	3.24	0.0292
Error	527762.87	18	29320.16		
Total	1003108.05	23			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=384.79271

Error: 29320.1594 gl: 18

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
Rizo + Fert sint	763.05	4	85.62	A	
Mico	628.58	4	85.62	A	B
Rizo	609.13	4	85.62	A	B
Fert sint	542.88	4	85.62	A	B
Mico + Fert sint	398.85	4	85.62	A	B
Mico + Rizo	347.78	4	85.62		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Nitrógeno Total en Biomasa por porcentaje (%)

Momento	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2	NTB (%)	24	0.93	0.91	2.31

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2.16	5	0.43	49.10	<0.0001
Tratamientos	2.16	5	0.43	49.10	<0.0001
Error	0.16	18	0.01		
Total	2.32	23			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.21101

Error: 0.0088 gl: 18

Tratamientos	Medias	n	E.E.		
Mico + Rizo	4.62	4	0.05	A	
Rizo + Fert sint	4.20	4	0.05		B
Mico + Fert sint	4.08	4	0.05		B

Mico	4.05	4	0.05	B
Rizo	3.78	4	0.05	C
Fert sint	3.70	4	0.05	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Nitrógeno Total en Biomasa en Kilogramo por Hectárea (Kg ha⁻¹)

Momento	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
2	NTB (Kg ha ⁻¹)	24	0.46	0.30	31.62

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	740.03	5	148.01	3.02	0.0377
Tratamientos	740.03	5	148.01	3.02	0.0377
Error	882.92	18	49.05		
Total	1622.95	23			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=15.73868

Error: 49.0512 gl: 18

Tratamientos	Medias	n	E.E.
Rizo + Fert sint	32.05	4	3.50 A
Mico	25.39	4	3.50 A B
Rizo	23.02	4	3.50 A B
Fert sint	20.08	4	3.50 A B
Mico + Fert sint	16.28	4	3.50 B
Mico + Rizo	16.07	4	3.50 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Biomasa Seca en kilogramos por hectárea Kg (ha⁻¹)

Momento	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
3	Bio (Kg ha ⁻¹)	24	0.48	0.34	24.63

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1660035.06	5	332007.01	3.38	0.0250
Tratamientos	1660035.06	5	332007.01	3.38	0.0250
Error	1766684.42	18	98149.13		
Total	3426719.48	23			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=704.02309

Error: 98149.1343 gl: 18

Tratamientos	Medias	n	E.E.
Fert sint	1749.60	4	156.64 A
Mico + Fert sint	1474.20	4	156.64 A B

Rizo + Fert sint	1220.43	4	156.64	A	B
Mico	1121.75	4	156.64	A	B
Rizo	1086.50	4	156.64	A	B
Mico + Rizo	978.10	4	156.64		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Nitrógeno Total en Biomasa por porcentaje (%)

Momento	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
3	NTB (%)	24	1.00	1.00	0.00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3.26	5	0.65	sd	sd
Tratamientos	3.26	5	0.65	sd	sd
Error	0.00	18	0.00		
Total	3.26	23			

Nitrógeno Total en Biomasa en Kilogramo por Hectárea (Kg ha⁻¹)

Momento	Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
3	NTB (Kg ha ⁻¹)	24	0.41	0.24	26.27

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1668.28	5	333.66	2.48	0.0706
Tratamientos	1668.28	5	333.66	2.48	0.0706
Error	2419.92	18	134.44		
Total	4088.20	23			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=26.05601

Error: 134.4399 gl: 18

Tratamientos	Medias	n	E.E.
Mico + Fert sint	57.05	4	5.80 A
Fert sint	52.14	4	5.80 A
Rizo + Fert sint	46.13	4	5.80 A
Mico + Rizo	37.85	4	5.80 A
Rizo	37.16	4	5.80 A
Mico	34.44	4	5.80 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)