



FACULTAD DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

Evaluación de biofertilizante a base de micorrizas arbusculares como complemento al fertilizante inorgánico (16-20-0) en diferentes porcentajes en las variedades de frijol CENTA Sequia y CENTA EAC.

**REQUISITO PARA OPTAR AL GRADO DE:
INGENIERO AGRÓNOMO**

**PRESENTADO POR:
WILLIAM ROLANDO HERNÁNDEZ GONZÁLEZ**

SANTA TECLA, JUNIO 2024



AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

ING. ROSENDO MAURICIO SERMEÑO PALACIOS
RECTOR

ING. FRANCISCO ALFREDO CARRILLO LARREYNAGA
VICE-RECTOR

ING. ROOSELVET ADOLFO OSORIO
SECRETARIO GENERAL

LIC. CARLOS ALBERTO COCA MUÑOZ
FISCAL

ING. MAURICIO ANTONIO AGUIRRE ORELLANA
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

ING. ALFREDO AGUSTIN RIVERA MENJIVAR
DIRECTOR DE ESCUELA DE INGENIERIA AGRONOMICA

SANTA TECLA, JUNIO 2024



ASESOR PRINCIPAL

ING. CARLOS HUMBERTO REYES CASTILLO

JURADO EVALUADOR

ING. ALFREDO AGUSTÍN RIVERA MENJÍVAR

ING. SILVIA DINORA GUARDADO

ING. RUTILIO ANTONIO PARADA GALÁN

SANTA TECLA, JUNIO 2024

UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA

ACTA DE CALIFICACIÓN DE
DEFENSA DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

No. TRES MIL TRESCIENTOS SESENTA Y UNO

A las diez horas, del sábado ocho de junio de dos mil veinticuatro. Reunidos los Miembros del Tribunal Examinador del Trabajo de Graduación presentado por WILLIAM ROLANDO HERNANDEZ GONZALEZ, en el salón de sesiones de la UNIVERSIDAD TÉCNICA LATINOAMERICANA. Se procedió:

PRIMERO: Que habiendo analizado el Trabajo de Graduación titulado:

"EVALUACION DE BIOFERTILIZANTE A BASE DE MICORRIZAS ARBUSCULARES COMO COMPLEMENTO AL FERTILIZANTE INORGANICO (16-20-0) EN DIFERENTES PORCENTAJES EN LAS VARIEDADES DE FRIJOL CENTA SEQUIA Y CENTA EAC."

Se dio por aprobada, la parte escrita.

SEGUNDO: Que, con base a dicha aprobación de la parte escrita, se procedió a instalar la respectiva defensa oral del trabajo.

De conformidad a los resultados en dicha defensa, este Tribunal Examinador acuerda dar por APROBADO, con una calificación de **NUEVE PUNTO SEIS (9.6)**, el Trabajo de Graduación presentado por el alumno arriba detallado, obteniendo a partir de esta fecha su calidad de: INGENIERO AGRONOMO

No habiendo más que hacer constar, damos por terminada el acta que firmamos.

INGA. SILVIA DINORA GUARDADO

ING. RUTILIO ANTONIO PARADA GALAN

ING. ALFREDO AGUSTIN RIVERA MENJIVAR

ING. ROOSELVET ADOLFO OSORIO
SECRETARIO GENERAL



Dedicatoria

A DIOS: Todo poderoso por haberme dado la oportunidad de avanzar en este camino y haberme iluminado en toda mi carrera. “Esfuézate y se valiente no desmayes, que yo soy tu Dios, y estaré contigo por donde quieras que vayas, Josué 1:19”.

A JUAN CARLOS REYES GUEVARA (Q.D.D.G): Por haberme apoyado incondicionalmente en este proceso y darme consejos y palabras de fortaleza, ánimos para seguir en esta etapa y culminarla, en mi mente estarán todos los recuerdos de cuando me apoyaba con tareas y actividades, sé que descansa en paz. De igual forma agradecer el apoyo a sus padres.

A MIS TIOS: A mi tía Nora Vilma Rivas Cea de Carrillo (Q.D.D.G), a mi pa “Toño” Juan Antonio Carrillo Ramos (Q.D.D.G). Por haberme cuidado, formado, educado y estar pendiente de mi persona los recuerdo mucho. Este título es para Dios y para ellos, sé que descansan en paz; a mi tío Edgar Cea Molina por haberme apoyado incondicionalmente desde niño en mis estudios de básica y ahora de universitario.

A MIS PADRES: Roxana Beatriz González Cea y a Inmar Hernández Bautista Por haberme apoyado incondicionalmente en este proceso y darme palabras de fortaleza.

A MIS PADRINOS: Ing. Carlos Manuel Murga Sutter y mi madrina Patricia Vidal de Murga; por haberme aconsejado, apoyado y darme los ánimos para seguir adelante y culminar mi carrera.

Agradecimientos

A Dios: Todo poderoso por haberme dado la oportunidad de avanzar en este camino y haberme iluminado en toda mi carrera. “Esfuézate y se valiente no desmayes, que yo soy tu Dios, y estaré contigo por donde quieras que vayas, Josué 1:19”.

A mi Alma Mater Universidad Técnica Latinoamericana UTLA y a sus autoridades: por haberme permitido ser parte de tan prestigiosa institución de educación superior.

Al Ing. Carlos Humberto Reyes Castillo, asesor principal, por su calidad de profesionalismo, enseñanza y valiosa colaboración en la revisión del documento y presentación final. El aprendizaje se lo agradezco a Dios primero y luego al Inge por tan valiosa experiencia en el cultivo de frijol.

Al Ing. Agustín Alfredo Rivera, por su amistad, apoyo académico durante mi carrera en la UTLA, por sus consejos, orientación y apoyo. Y compartir su experiencia en la rama de protección vegetal.

También deseo externar mis agradecimientos al Staff de catedráticos de ingeniería agronómica que fueron parte de mi formación profesional.

Agradecimiento a los Ingenieros. Fredy Edgardo Fuentes, Jaime Ayala Moran, Domingo Palacios Pérez, así como a las Estaciones Experimentales por el apoyo a la realización de mi tesis. De igual forma a los colaboradores agropecuarios del CENTA que fueron parte importante en el manejo agronómico del cultivo y apoyo en la toma de datos.

Al personal administrativo y de servicios generales de la universidad que fueron muy amables y brindaron orientación en los procesos administrativos.

Abreviaturas y significado

ANVA: Análisis de Varianza

CENTA: Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal “Enrique Álvarez Córdova”.

CIAT: Centro Internacional de Agricultura Tropical.

CAMPO: Asociación Cámara Salvadoreña de Pequeños y Medianos Productores Agropecuarios.

CRS: Catholic Relief Service.

DGEA: Dirección General de Economía Agropecuaria.

EAC: Enrique Álvarez Córdova.

HMA: hongos micorrízicos arbusculares

IICA: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

MAG: Ministerio de Agricultura y Ganadería.

pH: Potencial de hidrógeno

PG: Parcela Grande

PP: Parcela Pequeña

RED SICTA: Red de Innovación Agrícola del Sistema de Integración Centroamericano de Tecnología Agrícola.

TRM: Tasa de Retorno Marginal

ZAMORANO: Escuela Agrícola Panamericana

Índice

RESUMEN	1
ABSTRACT.....	2
1. Introducción.....	3
2. Objetivos	5
4.1. General	5
4.2. Específicos	5
3. Marco de referencia	6
5.1. Generalidades del cultivo del frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	6
5.2. Importancia del cultivo	8
5.2.1. Importancia social	8
5.2.2. Importancia económica	8
5.2.3. Importancia ambiental	9
5.3. Descripción botánica.....	9
5.3.1. Taxonomía y morfología del cultivo	9
5.3.2. Raíz	10
5.3.3. Tallo	10
5.3.4. El habito de crecimiento del tallo	10
5.3.5. Hojas	11
5.3.6. Flor.....	11
5.3.7. Semilla	12

5.4. Origen de las variedades de frijol rojo generadas por CENTA evaluadas en el estudio	12
5.5. Características del desarrollo de la planta de frijol	14
5.5.1. Etapas de desarrollo	14
5.5.2. Fase vegetativa.....	15
5.5.3. Fase reproductiva	16
5.6. Factores ambientales que influyen en la producción de frijol	17
5.6.1. Agua.....	17
5.6.2. Temperatura	18
5.6.3. Luminosidad	18
5.6.4. Requerimientos edáficos.....	18
5.6.5. El pH	18
5.6.6. Época de siembra	19
5.7. Manejo agronómico del cultivo de frijol	19
5.7.1. Semilla	19
5.8. Sistemas de siembra.....	20
5.8.1. Frijol solo o monocultivo.....	20
5.8.2. Siembra en asocio	20
5.8.3. Frijol en relevo.....	20
5.9. Características de lotes de siembra	21

5.10.	Fertilización.....	21
5.11.	Control de malezas	22
5.12.	Principales plagas y enfermedades del cultivo de frijol.....	22
5.12.1.	Manejo de plagas del frijol	22
5.13.	Manejo de insectos-plagas	22
5.13.1.	Insectos del suelo	23
5.14.	Principales enfermedades del cultivo de frijol	24
5.15.	Manejo post cosecha del frijol	26
5.15.1.	Madurez Fisiológica	26
5.15.2.	Cosecha	26
5.15.3.	Pre secado	26
5.15.4.	Aporreo	27
5.15.5.	Almacenamiento	27
5.16.	Generalidades de las micorrizas	28
4.	Materiales y métodos.	37
6.1.	Ubicación de la investigación	37
6.2.	Actividades realizadas durante el experimento.....	42
6.2.1.	Delimitación del terreno	42
6.2.2.	Preparación de la semilla	42
6.2.3.	Descripción del uso de biofertilizantes	42

6.2.4. Siembra	42
6.2.5. Fertilización	43
6.2.6. Rendimiento de grano kg/ha	43
6.3. Técnicas de análisis.....	43
5. Resultados y discusión	44
7.1. Número de Plantas Cosechadas (NPC).....	45
7.2. Número de Vainas por Planta (NVP):	46
7.3. Número de Granos por Vaina (NGPV).....	48
7.4. Rendimiento kg/ha	48
7.5. Análisis económico de Presupuestos Parciales.....	50
6. Conclusiones	52
7. Recomendaciones	53
8. Bibliografía	54
9. Anexos	66

Índice de cuadros

Cuadro 1. Características agronómicas de la variedad de frijol CENTA EAC-----	13
Cuadro 2. Características agronómicas de la variedad CENTA SEQUIA -----	14
Cuadro 3 Etapas vegetativas de las plantas de frijol -----	16
Cuadro 4. Etapas reproductivas de la planta de frijol -----	17
Cuadro 5. Requerimientos nutricionales del cultivo del frijol -----	21
Cuadro 6. Principales plagas insectiles en etapa vegetativa en el cultivo de frijol -----	23
Cuadro 7. Principales plagas insectiles en etapa reproductiva en el cultivo de frijol-----	24
Cuadro 8. Principales enfermedades en el cultivo de frijol -----	25
Cuadro 9. Composición química del suelo en ensayo de evaluación de biofertilizante en cantón Talcomunca, Izalco, Sonsonate, septiembre – diciembre 2023-----	38
Cuadro 10. Fuentes comerciales de biofertilizantes y abonos inorgánicos utilizados en el ensayo cantón Talcomunca, Sonsonate, septiembre – diciembre 2023 -----	39
Cuadro 11. Descripción de tratamientos utilizados en ensayo experimental en cantón Talcomunca, Sonsonate, septiembre – diciembre 2023.-----	40
Cuadro 12. Descripción de variables evaluadas en ensayo -----	40
Cuadro 13. Distribución de tratamientos evaluados en plano de campo, ubicado en cantón Talcomunca, Sonsonate, septiembre – diciembre 2023 -----	41
Cuadro 14. Dosis comerciales de inoculantes utilizados en el ensayo -----	42
Cuadro 15. Fuente comercial del suministro de nutrientes equivalentes al 50% de fertilización química en el cultivo de frijol común-----	43

Cuadro 16. Parcela Grande (PG) de ensayo de evaluación de biofertilizante en las variedades de frijol CENTA SEQUIA y CENTA EAC, en cantón Talcomunca, Sonsonate 2023 -----	44
Cuadro 17. Parcela Pequeña (PP) evaluación de tratamientos en ensayo de biofertilizantes, en cantón Talcomunca, Sonsonate, septiembre a diciembre 2023. -----	44
Cuadro 18. Medias de resultados obtenidos para la interacción PG x PP durante el año 2023 y su ANVA para las variables NPC, NVP, NGPV y rendimiento kg/ha, en evaluación de biofertilizantes a base de micorrizas arbusculares, cantón Talcomunca, El Salvador septiembre – diciembre 2023-----	45
Cuadro 19. Análisis de correlación de las variables NPC y rendimiento kg/ha, en ensayo de evaluación de biofertilizantes, cantón Talcomunca, Sonsonate, El Salvador, septiembre – diciembre 2023 -----	46
Cuadro 20. Análisis de correlación de las variables NGPV y rendimiento kg/ha, en ensayo de evaluación de biofertilizantes, en cantón Talcomunca, Sonsonate, El Salvador, septiembre – diciembre 2023-----	48
Cuadro 21. Análisis de dominancia de ensayo de evaluación de biofertilizante a base de micorrizas arbusculares en el cultivo de frijol, cantón Talcomunca, Sonsonate, El Salvador, septiembre – diciembre 2023-----	50
Cuadro 22. Análisis marginal de ensayo de evaluación de biofertilizante a base de micorrizas arbusculares en el cultivo de frijol, en cantón Talcomunca, Sonsonate, El Salvador, Septiembre – diciembre 2023 -----	51

Índice de figuras

Figura 1. Zonas productoras de frijol 2022-2023, El Salvador	7
Figura 2. Etapas de desarrollo del cultivo del frijol	15
Figura 3. Ubicación donde se estableció el ensayo de uso de biofertilizante, cantón Talcomunca, Sonsonate, El Salvador, septiembre – diciembre 2023.....	38

Índice de anexos

Anexo 1: Análisis de varianza para la interacción PG x PP para la variable número de plantas cosechadas (NPC)	67
Anexo 2: ANVA para la variable número de vainas por planta (NVP).....	68
Anexo 3: Análisis de varianza para la variable número de granos por vaina (NGPV)	69
Anexo 4: Análisis de varianza para la variable rendimiento kg/ha.....	70
Anexo 5: Análisis de Varianza para las variables NPC, NVP, NGPV, rendimiento kg/ha y correlaciones. Según programa estadístico InfoStat 2020.....	71
Anexo 6: Coeficiente de correlación para la variable Numero de Granos por Vaina/ Rendimiento kg/ha.....	75
Anexo 7: Coeficiente de correlación para la variable Numero de Plantas Cosechadas/Rendimiento kg/ha.....	75
Anexo 8: Calculo de costo variable, análisis de dominancia para presupuesto parcial del ensayo de uso de biofertilizantes, cantón Talcomunca, Sonsonate, El Salvador septiembre – diciembre 2023.	76

Anexo 9: Diseño del libro de campo que se utilizó para la toma de datos, del ensayo de evaluación de biofertilizantes, El Salvador 2023	77
Anexo 10: Selección del área de siembra y preparación del terreno.....	78
Anexo 11: Preparación de sobres con semillas según variedad y tratamientos evaluados en ensayo	78
Anexo 12: Inoculación de la semilla de frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) con los tratamientos evaluados	79
Anexo 13: Delimitación del área para ensayo y siembra	79
Anexo 14: Seguimiento a ensayo emergencia de la semilla uniforme, control de plagas y malezas	80
Anexo 15: Desarrollo vegetativo del cultivo y vista de los bloques que conformaron el ensayo	81
Anexo 16: Beneficios de las micorrizas en las plantas	82
Anexo 17: Simbiosis entre una planta y una micorriza.....	83

Evaluación de biofertilizante a base de micorrizas arbusculares como complemento al fertilizante inorgánico (16-20-0) en diferentes porcentajes en las variedades de frijol CENTA Sequia y CENTA EAC.

William Rolando Hernández-González

RESUMEN

La investigación se realizó en el municipio de Izalco, cantón Talcomunca, departamento de Sonsonate, Republica de El Salvador. Se desarrolló en el periodo de septiembre- diciembre 2023, utilizando dos variedades mejoradas de frijol común grano rojo: CENTA SEQUIA y CENTA EAC. El objetivo fue: conocer la respuesta de las variedades utilizadas ante la aplicación de tres fuentes comerciales de biofertilizante a base de *Rhizophagus irregularis*, *Glomus intrarradices* y *Glomus cubense* combinados con el 50% de la fertilización química recomendada por CENTA y su efecto en el rendimiento. El diseño experimental fue de parcelas divididas en arreglo de Bloques Completos al Azar, 12 tratamientos y 3 repeticiones; las condiciones edafológicas del área experimental se caracterizaron por niveles de fosforo y potasio: 7 y 276 mg.kg⁻¹ de suelo respectivamente, y valores de materia orgánica de 3.25%. Las variables en estudio fueron: Número de Plantas Cosechadas (NPC), Número de Vainas por Planta (NVP), Número de Granos por Vaina (NGPV) y Rendimiento en kg/ha ajustado al 12% de humedad. Los resultados fueron analizados estadísticamente a través del Análisis de Varianza y Correlación lineal para las variables NPC y NGPV. Finalmente, el Análisis Económico por medio de la Tasa de Retorno Marginal (TRM) propuesta por CIMMYT. Los resultados demuestran que no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos para las variables NPC, NVP, NGPV y Rendimiento. Existió una correlación positiva ($r=0.33$) entre NPC/REND, de igual forma correlación positiva para NGPV/REND ($r=0.54$). La fertilización química recomendada por CENTA reflejó los mayores valores de rendimiento en ambas variedades, con una media de 2545 kg/ha, seguido de la combinación de *Rhizophagus irregularis* + 50% de fertilización química, que obtuvo una media de rendimiento de 2440 kg/ha. El análisis económico refleja que la combinación del uso de la tecnología de fertilización química recomendada por CENTA y las variedades mejoradas de frijol CENTA Sequia y CENTA EAC presento una TRM de 3,471 y 3,176 %

Palabras Claves: Frijol, Biofertilizantes, *Rhizophagus*, *Glomus*, Rendimiento.

Evaluation of biofertilizer based on arbuscular mycorrhizae as a complement to inorganic fertilizer (16-20-0) in different percentages in the CENTA Sequia and CENTA EAC bean varieties.

William Rolando Hernández-González

ABSTRACT

The research was carried out in the municipality of Izalco, Talcomunca canton, department of Sonsonate, Republic of El Salvador. It was developed in the period of September-December 2023, using two improved varieties of common red grain beans: CENTA SEQUIA and CENTA EAC. The objective was: to know the response of the varieties used to the application of three commercial sources of biofertilizers based on *Rhizophagus irregularis*, *Glomus intraradices* and *Glomus cubense* combined with 50% of the chemical fertilization recommended by CENTA and its effect on yield. The experimental design was divided plots in a Random Complete Block arrangement, 12 treatments and 3 repetitions; the soil conditions of the experimental area were characterized by levels of phosphorus and potassium: 7 and 276 mg.kg⁻¹ of soil respectively, and organic matter values of 3.25%. The variables under study were: Number of Harvested Plants (NPC), Number of Pods per Plant (NVP), Number of Grains per Pod (NGPV) and Yield in kg/ha adjusted to 12% humidity. The results were statistically analyzed through Analysis of Variance and Linear Correlation for the NPC and NGPV variables. Finally, the Economic Analysis through the Marginal Rate of Return (MRR) proposed by CIMMYT. The results show that no significant statistical differences were found between the treatments for the NPC, NVP, NGPV and Performance variables. There was a positive correlation ($r=0.33$) between NPC/REND, similarly positive correlation for NGPV/REND ($r=0.54$). The chemical fertilization recommended by CENTA reflected the highest yield values in both varieties, with an average of 2545 kg/ha, followed by the combination of *Rhizophagus irregularis* + 50% chemical fertilization, which obtained an average yield of 2440 kg/ha. The economic analysis reflects that the combination of the use of chemical fertilization technology recommended by CENTA and the improved bean varieties CENTA Sequia and CENTA EAC presented a TRM of 3.471 and 3.176%.

Keywords: Bean, Biofertilizers, *Rhizophagus*, *Glomus*, Yield.

1. Introducción

En El Salvador se registra una superficie cultivada de frijol 128,375 mz, con una producción de 2,003,519 quintales, con rendimiento de 15.6 quintales/manzana (DGEA-MAG, 2022-2023). Por otra parte, el alto costo de los fertilizantes químicos y su influencia directa en mayores concentraciones de CO₂ en la atmosfera debido a su uso excesivo ha generado efectos negativos en el calentamiento global y aumentado la emisión de gases de efecto invernadero, en ese sentido se hace necesario aplicar alternativas tecnológicas que ayuden a reducir estos problemas y contribuyan de una manera más sostenible a satisfacer la demanda de alimentos, sin menoscabo del medio ambiente (Grageda *et al*; 2000).

La importancia de trabajar con leguminosas es por la mal nutrición de la población, ya que es uno de los factores importantes que contribuye a muchos tipos de enfermedades que pueden llevar, en algunos casos, incluso a la muerte. Entendemos por mal nutrición el resultado de comer muy poco o de tener una dieta desequilibrada que no contiene ni la cantidad ni la calidad adecuada de nutrientes para una salud. Las legumbres suelen contener alrededor del doble de la cantidad de proteínas que se encuentran en los cereales de grano entero como el trigo; de ahí que para la mayoría de las poblaciones de los países en desarrollo pueden constituir una importante fuente de proteínas. Las legumbres son un excelente alimento complementario para que los lactantes y niños pequeños satisfagan sus necesidades diarias de energía. Pueden incluirse en las dietas de los niños por medio de la alimentación familiar y los programas de comidas escolares tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo. Su contenido alto de nutrientes también vuelve a las legumbres ideales para las personas vegetarianas y veganas dado que aseguran la ingesta suficiente de proteínas, minerales y vitaminas (FAO, 2021).

La principal actividad agrícola en El Salvador se basa en la producción de granos básicos, principalmente maíz y frijol en relevo. Por las condiciones de topografía, manejo tecnológico y ambiental la producción se ha deprimido con el eminente deterioro del agro ecosistema y pérdida de rentabilidad (CENTA, 2016).

De acuerdo a datos de la Dirección General de Estadísticas y Censos (DIGESTYC 2016-2017), el consumo de frijol en El Salvador es de 28 kilogramos anuales por persona, que lo convierte junto al maíz, en el principal alimento fuente de proteínas para las familias salvadoreñas (Zelada, 2010.)

Debido a los efectos negativos que han causado los fertilizantes químicos en el deterioro del medio ambiente, se trabaja, desde hace algunas décadas, en la introducción de alternativas de fertilización en el manejo de los cultivos.

El objetivo del estudio fue conocer el efecto del uso de inoculantes a base de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) para disminuir el uso de fertilizante químico, e incrementar los rendimientos del cultivo de frijol y mejorar la rentabilidad del mismo.

2. Objetivos

4.1. General

- ✚ Establecer la combinación más idónea del uso de biofertilizantes con fertilización inorgánica en el cultivo de frijol.

4.2. Específicos

- ✚ Determinar la respuesta de las dos variedades de frijol común CENTA Sequia y CENTA EAC a la aplicación de biofertilizantes, utilizado como complemento de los fertilizantes inorgánicos.
- ✚ Comprobar la rentabilidad económica de la aplicación de biofertilizantes como complemento a los fertilizantes inorgánicos en la producción de frijol común.

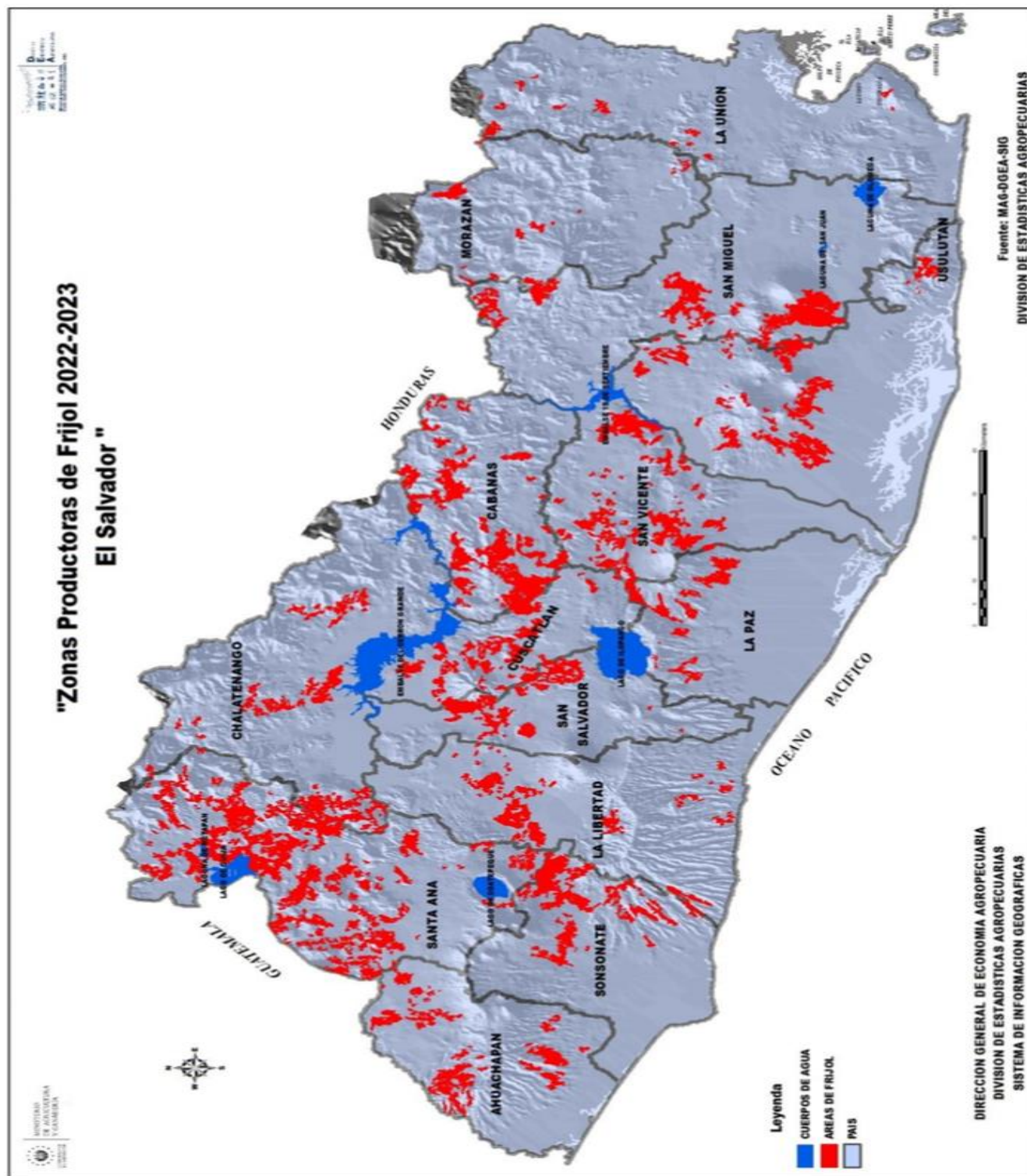
3. Marco de referencia

5.1. Generalidades del cultivo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)

Es una planta herbácea que presenta su legumbre en más de 50 variedades de diversos tamaños y colores. Es originaria de América Central y América del Sur, nativa de Mesoamérica (México, Guatemala, Honduras y El Salvador), floración anual, trepadora, de tallo pubescente o glabrescente cuando llega a la edad adulta. Es uno de los alimentos más antiguos conocidos del hombre y ha formado parte importante de la dieta humana desde tiempos remotos. El frijol común empezó a cultivarse aproximadamente hacia el año 7000 a. C. en el sur de México, El Salvador y Guatemala (Expansión, 2012).

La distribución de las áreas del cultivo de frijol en El Salvador se encuentra dispersas en mayor parte en la zona central, occidente y mínima cantidad de área al oriente del país. Dichas áreas se detallan en el mapa siguiente.

Figura 1. Zonas productoras de frijol 2022-2023, El Salvador



Fuente: Dirección General de Economía Agropecuaria (DGEA/MAG, 2022-2023)

5.2. Importancia del cultivo

5.2.1. Importancia social

En El Salvador se registra una superficie cultivada de frijol 128,375 mz, con una producción de 2,003,519 quintales, con rendimiento de 15.6 quintales/manzana (DGEA-MAG, 2022-2023). En El Salvador el frijol ocupa un lugar preponderante en la dieta de la población, forma parte de la canasta básica de alimentación; se cultiva en todo el territorio nacional desde los 50 a 1,500 msnm. De acuerdo a datos de la Dirección General de Estadísticas y Censos (DIGESTYC, 2016-2017), el consumo de frijol es de 28 Kg anuales por persona (0.61qq), que lo convierte, en el principal alimento fuente de proteínas para las familias salvadoreñas. La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y el Decenio de las Naciones Unidas de Acción sobre la Nutrición (2016-2025) instan a todos los países y partes interesadas a trabajar conjuntamente para erradicar el hambre y prevenir cualquier forma de malnutrición para el 2030 (FAO, 2020)

5.2.2. Importancia económica

El cultivo de frijol es un alimento básico en la dieta diaria de la población salvadoreña y principal fuente de proteína. El país está por debajo de suplir la demanda interna, existiéndose un déficit de 297,175 quintales, por los altos costos de insumos agrícolas (fertilizantes), La Asociación Cámara Salvadoreña de Pequeños y Medianos Productores Agropecuarios (CAMPO) pronosticó una disminución del 29.5% en la cosecha del ciclo agrícola 2022-2023. Según un informe realizado por la Red de Sistemas de Alerta Temprana contra la Hambruna (FEWS NET), se espera que los precios de los granos básicos continúen aumentando durante el segundo semestre de 2023, superando el promedio de los últimos cinco años, con especial énfasis en el frijol rojo, que ha mostrado una de las mayores alzas. Entre julio y agosto se espera que tanto el frijol como el maíz alcancen un incremento de hasta el 70% en su precio (CAMPO, 2023)

5.2.3. Importancia ambiental

La generación de tecnologías de nuevas variedades de frijol con altos rendimientos y resistencia a las principales plagas y enfermedades dará como resultado la utilización de menor área de cultivo para llenar el déficit de producción y, además, menor uso de agroquímicos contribuyendo al bajo uso de aplicaciones y preservar el medio ambiente.

5.3. Descripción botánica

La planta de frijol es anual, herbácea, se cultiva esencialmente para obtener las semillas y granos, los cuales tienen un alto grado de proteínas, siendo alrededor del 22% (CENTA, 1992).

5.3.1. Taxonomía y morfología del cultivo

Clasificación Taxonómica del frijol común

(*Phaseolus vulgaris* L.)

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Sub Clase: Rosidae

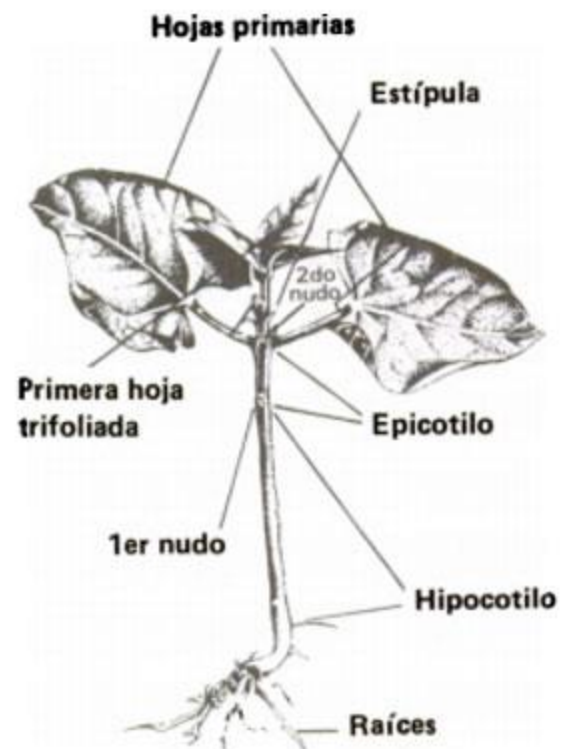
Orden: Fabales

Familia: Fabaceae

Sub Familia: Faboideae

Género: *Phaseolus*

Especie: *vulgaris*



Los caracteres variables reciben la influencia de las condiciones ambientales; podrían ser considerados como la resultante de la acción del medio ambiente sobre el genotipo (CIAT, 1984).

5.3.2. Raíz

En las primeras etapas de desarrollo el sistema radical está formado por la radícula del embrión, la cual se convierte posteriormente en la raíz principal o primaria. Pocos días después se observan las raíces secundarias que se desarrollan en la parte superior o cuello de la raíz principal. Sobre las raíces secundarias se desarrollan las raíces terciarias y otras subdivisiones como los pelos absorbentes, los cuales se encuentran en todos los puntos de crecimiento de la raíz. Aunque generalmente se distingue la raíz, el sistema radical tiende a ser fasciculado, fibroso en algunos casos, pero con una amplia variación, incluso dentro de una misma variedad. *Phaseolus vulgaris* presenta nódulos distribuidos en las raíces laterales de la parte superior y media del sistema radical. Estos nódulos tienen forma poliédrica y un diámetro aproximado de 2 a 5 milímetros. Son colonizados por bacteria del género *Rhizobium*, las cuales fijan nitrógeno atmosférico, que contribuye a satisfacer los requerimientos de este elemento en la planta.

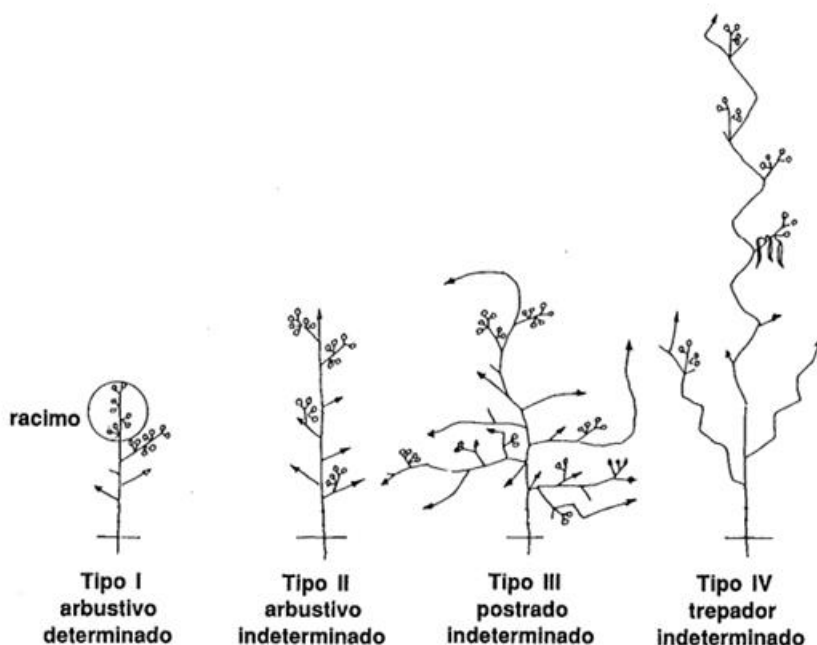
5.3.3. Tallo

El tallo puede ser identificado como el eje central de la planta, está formado por una sucesión de nudos y entrenudos; es herbáceo y con sección cilíndrica o levemente angular; puede ser erecto, semi postrado o postrado, según el hábito de crecimiento de la variedad.

5.3.4. El hábito de crecimiento del tallo

Está determinado por el genotipo e influenciado por los factores ambientales. Los hábitos de crecimiento se pueden agrupar en los siguientes tipos:

- Arbustivo determinado
- Arbustivo indeterminado, con guía corta
- Arbustivo indeterminado, con guía más o menos larga



Fuente: descriptores varietales CIAT, 1993

5.3.5. Hojas

Son de dos tipos: simples y compuestas. Los cotiledones constituyen el primer par de hojas, proveen de sustancias de reserva a la planta durante la germinación y emergencia, y elaboran los primeros carbohidratos a través de la fotosíntesis en sus cloroplastos. Son de poca duración, el segundo par y primeras hojas verdaderas, se desarrollan en el segundo nudo; son simples, opuestas y cortadas. A partir del tercer nudo se desarrollan las hojas compuestas, las cuales son alternas, de tres folíolos, un peciolo y un raquis. Presentan variación en cuanto tamaño, color y pilosidad, esta variación está relacionada, con la variedad y las condiciones ambientales de luz y humedad.

5.3.6. Flor

La flor contiene los órganos sexuales de la planta. Las flores masculinas llamados estambres y las femeninas llamadas pistilos. En los estambres se produce el polen que cuando cae en los pistilos producen la semilla o el grano. El cáliz es un tubo acampanado hacia el ápice que se divide en cinco lóbulos, dos de los cuales se encuentra parcialmente unidos; la corola rosa-purpura a casi blanca, de cinco pétalos desiguales, el más extremo es el más ancho y vistoso, llamado estandarte. La flor de frijol no se abre mientras esta no ha sido polinizada,

por lo que se clasifica como una planta autógena. Básicamente existen dos tipos de color en las de frijol, blanco para variedades de grano rojo y moradas para variedades de grano negro.

5.3.7. Semilla

La semilla es la unidad reproductora de las plantas. Es el producto que se obtiene después de la floración y de otros fenómenos que se dan dentro de la flor. La semilla es de varios colores, dependiendo de la variedad: rojas, negras, blancas, amarillas, entre otras. (CENTA, 2018).

Según (Cristales, 1970) uno de los medios para aumentar la producción en frijol, es elevando el rendimiento promedio nacional, y esto a su vez puede llevarse a cabo sembrando variedades mejoradas con capacidad de rendimiento superior al promedio nacional.

5.4. Origen de las variedades de frijol rojo generadas por CENTA evaluadas en el estudio

CENTA EAC (Enrique Álvarez Córdova) (Cuadro 1). Proviene de la cruza simple Negro Vaina Blanca/BCN 20-02- 94, realizada por el Programa de Investigaciones en Frijol (PIF), en Zamorano, Honduras. Durante las fases de selección en campo experimental y validaciones en fincas de agricultores fue manejada con la codificación SJC 730-79. - La evaluación de la línea experimental SJC 730-79, se inició en El Salvador en el 2011 en el Vivero Centroamericano de Adaptación y Rendimiento de Grano Rojo (VIDAC Rojo) distribuido por el PIF/Zamorano. - Debido a su comportamiento superior a factores bióticos y abióticos, identificado por el equipo de mejoramiento del Programa Granos Básicos del CENTA y de los programas miembros de la Red de Frijol de Centroamérica y el Caribe, en el 2013, la línea SJC 730-79 fue incorporada en el Ensayo Centroamericano de Adaptación y Rendimiento de Grano Rojo (ECAR Rojo) en el que se comprobó su valor como línea promisorio por sus características de arquitectura erecta, adaptación a ambientes con estrés de humedad limitada y alta temperatura, tolerancia a enfermedades como los virus del mosaico común y mosaico dorado amarillo, potencial de rendimiento y excelente calidad de grano. - En la última etapa la línea SJC 730-79 se sometió al proceso de validación a nivel nacional para evaluar su adaptación y respuesta a diferentes ambientes y épocas de siembra,

resultando superior a los testigos mejorados y criollos con los cuales fue comparada (CENTA, 2015).

Cuadro 1. Características agronómicas de la variedad de frijol CENTA EAC

Hábito de crecimiento	II B (guía intermedia)
Días a floración	35
Días a madurez fisiológica	67
Vainas por plantas	20
Granos por vaina	6-8
Peso de 100 semillas	26-27 g
Color de grano y semilla (testa)	Rojo claro (No 2, en escala de color)
Forma de la semilla	Ovoide
Promedio de rendimiento	36 qq/mz (2,337.66 kg/ha)
Adaptación (elevación)	50-800 msnm
Altas temperaturas	Tolerante
Humedad limitada	Tolerante
Virus del mosaico dorado amarillo (BGYMV)	Resistente
Mustia hilachosa (<i>Thanatephorus cucumeris</i>)	Tolerante
Bacteriosis común (<i>Xantomonas axonopodis</i>)	Susceptible (*)
Virus del mosaico común	Resistente
Roya (<i>Uromyces appendiculatus</i>)	Susceptible (**)

Fuente: CENTA, 2015

Frijol CENTA Sequia (Cuadro 2). Es una variedad de grano color rojo, desarrollada por el CENTA con la colaboración del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Posee alto potencial de rendimiento, tolerancia a las principales enfermedades que afectan al cultivo y buen color de grano para su comercialización. Su principal atributo es la tolerancia a sequía moderada y altas temperaturas. Esta variedad es una alternativa sostenible para reducir los efectos ocasionados por el cambio climático en el cultivo de frijol (CENTA, 2020).

Cuadro 2. Características agronómicas de la variedad CENTA SEQUIA

Características	Valoración
Hábito de crecimiento	II B (guía corta)
Días a floración	33-35
Días a madurez fisiológica	65
Color de grano	Rojo claro
Forma del grano	Arriñonada
Número de granos por vainas	6-7
Número de vainas por planta	20
Color de vaina	Crema
Reacción al virus del mosaico dorado amarillo	Resistente
Reacción al virus del mosaico común	Resistente
Reacción a mancha angular	Ligeramente tolerante
Reacción a mustia hilachosa	Susceptible
Reacción a bacteriosis	Susceptible
Altas temperaturas	Tolerante
Humedad limitada	Tolerante
Peso de 100 granos (g)	23
Rendimiento potencial (qq/mz)	35
Adaptación (msnm)	300-900
Contenido de hierro (ppm)	46
Contenido de zinc (ppm)	30

Fuente: CENTA, 2020

5.5. Características del desarrollo de la planta de frijol

El ciclo biológico de la planta de frijol se divide en dos fases sucesivas: la fase vegetativa y la fase reproductiva (CIAT, 1986).

5.5.1. Etapas de desarrollo

En el desarrollo de la planta de frijol se han identificado 10 etapas las cuales están delimitadas por eventos fisiológicos importantes. El conjunto de estas 10 etapas forma la escala de desarrollo de la planta de frijol. Cada etapa comienza en un evento del desarrollo de la planta con cuyo nombre se identifica y termina donde se inicia la siguiente etapa, y así sucesivamente. La identificación de cada etapa se realiza con base en un código que consta de una letra y un número. La letra corresponde a la inicial de la fase a la cual pertenece la etapa particular; es decir, V si la etapa pertenece a la fase vegetativa o R si pertenece a la reproductiva. El número del 0 al 9 indica la posición de la etapa en la escala. Factores que influyen en la duración de las etapas Los factores más importantes que afectan la duración

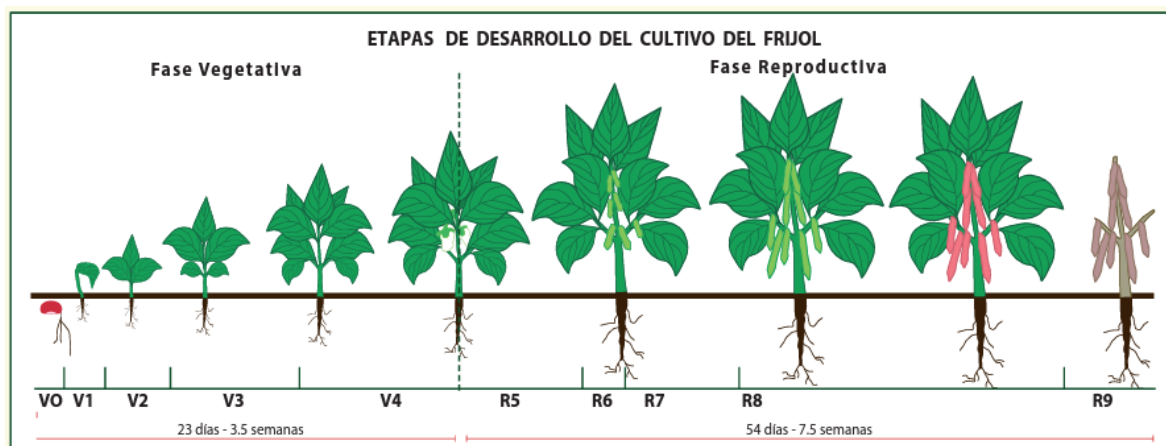
de las etapas de desarrollo del frijol incluyen el genotipo (cuyas características hábito de crecimiento y precocidad pueden variar), y el clima. Existen otros factores tales como las condiciones de fertilidad, las características físicas del suelo, la sequía y la luminosidad, entre otros, que causan variaciones en la duración de las etapas (Rosas, 2003).

5.5.2. Fase vegetativa

La fase vegetativa se inicia cuando las semillas encuentran las condiciones favorables para iniciar la germinación; y termina cuando aparecen los primeros botones florales en las variedades de hábito de crecimiento determinado, o los primeros racimos en las variedades de hábito de crecimiento indeterminado. En esta fase se desarrolla la estructura vegetativa necesaria para iniciar la actividad reproductiva de la planta.

En la fase vegetativa el desarrollo de los meristemos terminales del tallo y de las ramas produce nudos en los cuales se forman complejos axilares sujetos a un desarrollo posterior (Rosas, 2003).

Figura 2. Etapas de desarrollo del cultivo del frijol



Fuente: IICA

Cuadro 3 Etapas vegetativas de las plantas de frijol

Etapas de desarrollo vegetativo de la planta de frijol	
Etapas vegetativas	Descripción
Etapa V0 germinación	Se inicia la etapa VO, en que la semilla tiene humedad suficiente para el comienzo del proceso de germinación.
Etapa V1 emergencia	Se inicia cuando los cotiledones de la planta aparecen al nivel del suelo; se considera que un cultivo de frijol inicia esta etapa cuando el 50% de la población alcanza esta situación.
Etapa V2 hojas primarias	Las hojas primarias del frijol son unifoliadas y opuestas, están situadas en el segundo núcleo del tallo principal; cuando están completamente desplegadas se encuentran generalmente en posición horizontal, aunque no han alcanzado su tamaño máximo.
Etapa V3 primera hoja trifoliada	Inicia cuando la planta presenta la primera hoja trifoliada completamente abierta y plana. Cuando el 50% de las plantas de un cultivo presenta la primera hoja trifoliada desplegada, se inicia esta etapa.
Etapa V4 tercera hoja trifoliada	Comienza cuando la tercera hoja trifoliada se encuentra desplegada. En un cultivo se considera que se inicia la etapa V4 cuando el 50% de las plantas presentan esta característica.

Fuente: CIAT, 1986

5.5.3. Fase reproductiva

Esta fase está comprendida entre el momento de la aparición de los botones florales o los racimos y la madurez de cosecha. En las plantas de hábito de crecimiento indeterminado cuando termina la denominada fase vegetativa, todavía continúa la aparición de estructuras vegetativas; esto hace posible que una planta indeterminada pueda estar produciendo simultáneamente hojas, ramas, tallos, flores y vainas. (Rosas, 2003)

Cuadro 4. Etapas reproductivas de la planta de frijol

Etapas de desarrollo reproductivo de la planta de frijol	
Etapas reproductiva	Descripción
Etapa R5 pre floración	Inicia cuando aparecen el primer botón o el primer racimo floral. El cultivo, se considera que ha entrado en esta etapa cuando el 50 % de las plantas presenta esta característica.
Etapa R6 floración	Esta etapa se inicia cuando la planta presenta la primera flor abierta y, en un cultivo, cuando el 50% de las plantas presenta esta característica. La primera flor abierta corresponde al primer botón floral que apareció.
Etapa R7 formación de vainas	Inicia cuando una planta presenta la primera vaina con la corola de la flor colgada o desprendida, y en condiciones de cultivo, cuando el 50% de las plantas presenta esta característica.
Etapa R8 llenado de vainas	La etapa R8 inicia cuando el 50% de las plantas empieza a llenar la primera vaina, comenzando el crecimiento activo de las semillas o grano. La vaina crece después de la floración hasta los 10 o 12 días, su peso hasta los 15 o 20 y los granos alcanzan su peso máximo a los 30 o 35 días después de la floración.
Etapa R9 madurez fisiológica	Un cultivo de frijol inicia esta etapa cuando al menos una vaina inicia su decoloración y secado, por planta en un 90% de toda la población. Continúa el amarillamiento y la caída de las hojas y todas las partes de la planta se secan; las vainas al secarse pierden su pigmentación (Rosas 2012).

Fuente: CIAT, 1986

5.6. Factores ambientales que influyen en la producción de frijol

5.6.1. Agua

El agua es tan importante que no sorprende que el crecimiento y rendimiento final dependan de su disponibilidad. Hay líneas y variedades que muestran buena tolerancia a deficiencias hídricas, dando rendimientos aceptables, esta condición, puede estar basada en la mayor capacidad de extracción de agua de capas profundas del suelo. El cultivo de frijol en su ciclo de vida tiene un consumo promedio de 228 mm. La fase vegetativa tiene demanda aproximada de 85.7 mm, dentro de esta las etapas V3 y V4 es donde el cultivo requiere mayor

cantidad de agua 63.3 mm; mientras que durante la fase reproductiva el consumo aproximado es superior al de la anterior fase con 143.2 mm, en donde las etapas R5 y R8 son las que requieren mayor volumen de agua equivalentes a 92.6 mm.

5.6.2. Temperatura

La planta de frijol crece bien entre temperaturas promedio de 15 a 27 °C, las que generalmente predominan a elevaciones de 400 a 1500 msnm. Actualmente se han generado variedades que toleran altas temperaturas y pueden ser cultivadas a menor y mayor elevación.

5.6.3. Luminosidad

El papel principal de la luz está en la fotosíntesis, pero también afecta la fenología y morfología de una planta por medio de reacciones de fotoperiodo y elongación.

5.6.4. Requerimientos edáficos

El cultivo de frijol requiere suelos fértiles, con buen contenido de materia orgánica; las texturas del suelo más adecuadas son franco arcilloso y franco arenoso, estos suelos permiten mayor aireación y drenaje, factor importante para un mejor desarrollo radicular y la formación de nódulos. Este cultivo no tolera suelos compactos, poca aireación y acumulación de agua.

5.6.5. El pH

Acidez o alcalinidad óptima fluctúa entre 6.5 y 7.5; dentro de este límite la mayoría de los elementos nutritivos del suelo presentan una máxima disponibilidad para la planta. El frijol tolera pH hasta de 5.5, aunque debajo de ese límite presenta generalmente síntomas de toxicidad de aluminio y/o manganeso (CENTA, 2018).

5.6.6. Época de siembra

Para el cultivo de frijol en El Salvador se reconocen 3 épocas de siembra:

Época de Mayo: La determinación de siembra en esta época está en función del comportamiento de las lluvias. Se sugiere que la humedad del suelo alcance por lo menos 20 cm de profundidad para dar inicio a la siembra. Que en promedio su ocurrencia se da entre el 25 de mayo al 5 de junio. En esta época el sistema de siembra predominante es el monocultivo.

Época de Agosto: Esta época de siembra generalmente está condicionada a la madurez fisiológica del maíz, debido a que es el relevo el sistema predominante, su implementación actualmente es coincidente con el periodo del 15 de agosto al 15 de septiembre.

Época de Apante: Esta época se efectúa bajo riego o humedad residual. Se recomienda el periodo de siembra del 15 de noviembre al 15 de diciembre. A fin de escapar a dos plagas importantes del cultivo del frijol la mosca blanca y chicharrita (*Bemisia tabaci* y *Empoasca kraemeri*), y la incidencia de las enfermedades fungosas es menor. Esta época es la más recomendable para la producción de semilla y grano CENTA, (2018).

5.7. Manejo agronómico del cultivo de frijol

5.7.1. Semilla

El uso de semilla de buena calidad es muy importante en el cultivo de frijol. Las siembras con buena semilla aumentan las posibilidades de obtener una buena cosecha (Rosas, 2003).

Para la producción de frijol es recomendable: Utilizar semilla certificada o producida en parcelas con baja o sin presencia de enfermedades, obtenida de una fuente confiable (empresa o agricultor). Procurar mantener las parcelas y las cosechas provenientes de buena semilla lo más puro posible y renovar la semilla cada 2 a 3 años. Antes de la siembra, tratar la semilla con fungicida, especialmente si proviene de lotes que han sido afectados por

enfermedades transmitidas por semilla como antracnosis, bacteriosis, mancha angular y mustia hilachosa. Previo a la siembra, tratar la semilla con insecticida si en el lote se han observado daños por plagas del suelo. Si no se conoce la calidad de la semilla, o ésta ha estado almacenada por mucho tiempo, hacer una prueba de germinación 2 a 3 semanas antes de la siembra. Conociendo esto, se puede determinar la cantidad de semilla necesaria para lograr la densidad poblacional deseada. (CENTA, 2008).

5.8. Sistemas de siembra

5.8.1. Frijol solo o monocultivo

Puede hacerse en cualquier época de siembra y consiste en sembrar el frijol solo, con distanciamientos entre surcos de 50 a 60 cm y en promedio de 10 plantas por metro lineal.

5.8.2. Siembra en asocio

Con todos aquellos cultivos en los cuales no haya competencia por luz. En El Salvador el asocio más común es con maíz o con caña de azúcar. Así mismo con cultivos perennes en sus primeros años de plantación. El asocio maíz-frijol se recomienda hacerlo al mismo tiempo, pero cuando hay atrasos en alguno de los cultivos, el período de siembra del segundo no debe exceder a los 5 días. Cuando se asocia frijol con caña de azúcar, se recomienda hacerlo con caña de segundo corte en adelante, pudiendo hacerse en la época de mayo y apante, después que se ha cosechado la caña. Los distanciamientos de siembra dependerán de la distancia entre las hileras de caña, generalmente se siembran 2 o 3 surcos de frijol entre 2 surcos de caña. El distanciamiento entre plantas de frijol es de 10-20 cm colocando 2 semillas por postura.

5.8.3. Frijol en relevo

Consiste en sembrar frijol en un terreno donde hay cultivo de maíz que ha llegado a su madurez fisiológica, intercalando el frijol entre los surcos de maíz. El frijol se siembra a ambos lados del surco de maíz, separados de éste 20-25 cm; colocando 2 semillas por postura y un distanciamiento entre plantas de 20 cm. (CENTA, 2018).

5.9. Características de lotes de siembra

La siembra de frijol debe hacerse en suelos sueltos y con buen drenaje, buen contenido de materia orgánica, y con profundidad superior a los 30 cm. En lo posible se recomienda evitar sembrar en suelos que se compactan fácilmente o que forman costras cuando se secan debido a que estas afectan el buen desarrollo de las plantas (CENTA, 2018).

Un suelo sin cobertura es un suelo desprotegido descubierto ante la sequía, el calor y la lluvia. Por eso, la cobertura de los suelos es importante ya que permite que estos estén más y mejor protegidos, y evita su erosión y la escorrentía de la lluvia. Pero permite también algo muy valioso: que más lluvia penetra y se almacene en el suelo (CRS, 2020).

5.10. Fertilización

Incorporar los residuos de las cosechas anteriores, ya que esta materia orgánica mejora la calidad del suelo y reduce la cantidad de fertilizante que necesita aplicar al cultivo CENTA, (2018).

Cuando los suelos son pobres o están “agotados”, una fertilización adecuada proporciona los nutrientes necesarios para el buen crecimiento, desarrollo y productividad del cultivo. (Rosas, 2003).

Cuadro 5. Requerimientos nutricionales del cultivo del frijol

N (lb/Mz)	P2O5(lb/Mz)	K2O (lb/Mz)
125	60	125

N: en forma elemental P2O5 y K2O: en forma oxidada.

Fuente: CENTA, 2018

CENTA. (2018), recomienda hacer un análisis de suelo previo a la implementación del cultivo. A falta de un análisis, se recomiendan 2 fertilizaciones básicas: la primera a la siembra o a más tardar 8 días después, incorporado al suelo 2 qq/mz con la fórmula 18-46-0,

o 4 qq/mz de 15-15-15; la segunda a los 30 días después de la siembra con un saco de Urea (150 lb/mz).

5.11. Control de malezas

Un control adecuado de malezas permite que las plantas de frijol se desarrollen más vigorosas, pues no sufren por la competencia de espacio, luz, agua y nutrimentos (Rosas, 2003).

Entre las recomendaciones para el manejo de malezas se incluyen: Incorporar las malezas durante la preparación del terreno mediante un paso de arado profundo, luego complementar el control manual con el químico, según se describe a continuación: Control manual: dos deshierbes entre los 15-20 y 30-35 días después de la siembra (previo a la floración). (CENTA, 2018).

5.12. Principales plagas y enfermedades del cultivo de frijol

5.12.1. Manejo de plagas del frijol

La previsión y el manejo adecuado y oportuno de insectos y enfermedades resultan más efectivos y rentables que los controles realizados a la suerte o por costumbre, y permiten a la planta un mejor desarrollo, pues no sufre daños que alteren su crecimiento ni afecten la calidad de la cosecha. Es de suma importancia saber reconocer los insectos y las enfermedades que afectan al cultivo, y el momento y método para prevenirlos y/o controlarlos (Rosas, 2003).

5.13. Manejo de insectos-plagas

El cultivo de frijol es atacado por los insectos desde el momento que se deposita la semilla en el suelo hasta la cosecha y almacenamiento. Se requiere el uso de diferentes prácticas que contribuyan a la prevención y/o control de las mismas en forma oportuna, tratando de integrar dichas prácticas (manejo integrado) de tal manera que el uso de plaguicidas sea aplicado en forma racional.

5.13.1. Insectos del suelo

Causan daños en las raíces y las plántulas. La presencia de estos insectos puede ser reducida con la preparación del terreno, haciendo una aradura profunda y volteando el suelo para que las plagas queden expuestas y sean destruidas por el sol o consumidas por aves, reptiles y otros animales insectívoros.

Cuadro 6. Principales plagas insectiles en etapa vegetativa en el cultivo de frijol

Principales plagas insectiles etapa vegetativa en el cultivo de frijol		
Nombre común	Nombre científico	Daño
Gallina ciega	<i>Philophaga</i> spp. y otros géneros	Son larvas grandes en forma de C con cabeza y patas color café; se alimentan de raíces de muchas plantas. En frijol esta plaga se presenta cuando se siembra en un terreno que ha sido cultivado con pastos o gramíneas. Se recomienda usar tratamiento químico a la semilla, o aplicar insecticidas granulados en el surco de siembra.
Gusanos cortadores	<i>Agrotis ipsilon</i>	Los daños de cortadores se observan en plantas que han sido cortadas en la base del tallo o por presencia de daños en hojas en plántulas. Se sugiere tratar la semilla con químicos o hacer aplicaciones al cultivo cuando las larvas estén pequeñas, preferentemente por la tarde.
Babosas	<i>Vaginulus plebeius</i>	Las babosas son moluscos que causan daños al frijol en las primeras semanas de su cultivo. Se recomienda su control manual por las noches mediante el uso de trampas y/o atrayentes.
Mosca blanca	<i>Bemisia tabaci</i>	Las ninfas se alimentan chupando la savia de las plantas. Las hojas afectadas presentan manchas amarillentas dispersas y se arrugan o encrespan. El insecto hace más daño como vector de virus que por el daño directo de alimentación. La mosca blanca transmite geminivirus, como los virus del Mosaico dorado amarillo, del Moteado clorótico y del Mosaico enano.
Trips	<i>Frankliniella occidentalis</i>	Es una plaga directa del cultivo, a diferencia de otras indirectas como arañas y minadores foliares (Figura 23). Tanto las larvas como los adultos se alimentan de flores, polen, néctar y brotes usando sus partes bucales y causando anomalías en la vaina. Las hembras incrustan los huevos de manera aislada en los tejidos de las flores, las hojas o los tallos tiernos.
Áfidos, Pulgones	<i>Aphis</i> sp	Los pulgones son insectos chupadores. Tanto adultos como ninfas succionan la savia de las hojas, brotes, tallo y flores. Su saliva es tóxica. Las hojas picadas se enrollan y encrespan y finalmente caen de la planta. Este daño hace que las plantas se debiliten y se queden pequeñas.

Fuente: CENTA, 2018

Cuadro 7. Principales plagas insectiles en etapa reproductiva en el cultivo de frijol

Principales plagas insectiles etapa reproductiva en el cultivo de frijol		
Nombre común	Nombre científico	Daño
Picudo de la vaina	<i>Trichapion godmani</i>	El daño principal lo ocasionan las larvas que se alimentan de los granos. Al colocar los huevos, ocasionan daños en las vainas, provocando cicatrices circulares de color amarillo y malformaciones. Estos insectos pueden reducir los rendimientos y la calidad de los granos de forma considerable.
Gorgojo	<i>Acanthoscelides obtectus</i>	Los adultos son pequeños escarabajos (3 mm) de cuerpo angosto por el frente y ancho por detrás. Son de color gris o pardo con manchas claras en la parte superior del abdomen. Colocan sus huevos sobre las vainas maduras o sobre los granos. Éstos son color blanco, de forma ovalada y no están pegados a los granos. Esta plaga comienza a hacer daño al final de la floración. Ya en esta etapa las larvas se comen las semillas.
Gorgojo	<i>Zabrotes subfasciatus</i>	Es una plaga que solamente ataca los granos almacenados. El daño es realizado por las larvas en el interior del frijol.

Fuente: CENTA, 2018

5.14. Principales enfermedades del cultivo de frijol

Un gran número de enfermedades causadas por virus, hongos y bacteria afectan al cultivo de frijol. A continuación, se describen las de mayor importancia:

Cuadro 8. Principales enfermedades en el cultivo de frijol

Principales enfermedades en el cultivo de frijol		
Nombre común	Nombre científico	Daño
Mosaico Común (VMCF)	Vector <i>Bemisia tabaci</i>	El virus del mosaico común es transmitido principalmente por áfidos y por semillas infectadas; se presenta bajo condiciones agroecológicas diversas y temperaturas intermedias (18-25°C) Bajo condiciones de altas temperaturas (>28°C), se pueden presentar síntomas causados por las cepas necróticas del virus, consistentes en una reacción de hipersensibilidad, expresada con la muerte del tejido desde los trifolios más jóvenes hacia el resto de la planta.
Virus del Mosaico dorado amarillo (BGYMV)	Vector <i>Bemisia tabaci</i>	Transmitido por la mosca blanca (<i>Bemisia tabaci</i>) es la enfermedad viral de mayor importancia en El Salvador y su incidencia ha aumentado con el tiempo, con la probabilidad de ser más severa por efecto del comportamiento climático. No se transmite por semilla. Los síntomas del mosaico dorado amarillo son muy característicos: las hojas presentan un color amarillo intenso
Bacteriosis común	<i>Xanthonomas campestris</i> pv. <i>Phaseoli</i>	Esta enfermedad produce manchas acuosas irregulares en el envés de las hojas. Las áreas afectadas se tornan flácidas e inicialmente son rodeadas por un margen de color verde amarillo-limón, que luego se convierte en un tejido necrótico color marrón. Los tallos y vainas también pueden infectarse.
Mustia hilachosa	<i>Thanephorus cocumeris</i>	La mustia hilachosa o telaraña es favorecida por clima lluvioso, temperaturas moderadas a altas (promedio de 25-26°C) y alta humedad relativa. Las principales fuentes de inóculo son los esclerocios y micelio del hongo, presentes en el suelo o en residuos de cosecha contaminados, dispersados por la acción de las gotas de lluvias. La mustia ataca el follaje, tallos, ramas y vainas del frijol.
Mancha angular o requemo amarillo		Esta enfermedad se presenta mayormente en zonas y épocas con temperaturas moderadas (16 a 28°C, óptimo de 24°C), y alta humedad relativa alternada con períodos cortos de baja humedad. Cuando las lesiones están bien establecidas en el follaje, son típicamente angulares en ambos lados de las hojas. En ataques severos, las hojas se tornan amarillentas y mueren, resultando en la defoliación prematura de las plantas.
Antracnosis.	<i>Colletotrichum</i> sp	La antracnosis puede afectar cualquier órgano aéreo (excepto flores) y en cualquier etapa de desarrollo; aunque los síntomas severos se observan en pecíolos, hojas y vainas. En el follaje, los síntomas se aprecian a lo largo de las nervaduras en el haz de las hojas, consistentes en lesiones de color ladrillo a púrpura.

Fuente: Proyecto Red SICTA/IICA, 2010

5.15. Manejo post cosecha del frijol

5.15.1. Madurez Fisiológica

En el campo, cuando el frijol llega a madurez fisiológica, se observa según la variedad, un cambio en la coloración de las vainas de verde a amarillo, de verde a rojo o rayas moradas y además el inicio de la decoloración de las hojas. En este estado se detiene su crecimiento y la semilla alcanza su máximo contenido de materia seca, de vigor y germinación, además del color definitivo de la testa o cáscara, y con un contenido de agua entre 30 % a 45 %. El embrión está totalmente maduro, pero en un estado de latencia.

El mal manejo de los campos de producción o condiciones climáticas adversas provocarán plantas mal desarrolladas (Cândido da Silva, C. 2005), lo cual podrá afectar el llenado de la semilla y su sanidad, lo que no será corregido con un buen manejo post cosecha. Las buenas prácticas de cosecha, de secado, acondicionado y almacenamiento, únicamente lograrán mantener la calidad que proviene de esa cosecha y hacer más lento su deterioro.

5.15.2. Cosecha

Luego de que la semilla ha alcanzado su madurez fisiológica, el momento de cosecha dependerá de las condiciones ambientales, las cuales influyen directamente sobre el contenido de humedad de la semilla, factor determinante en todas las operaciones posteriores. Cuando la semilla está lista para la cosecha y las condiciones son húmedas y lluviosas, el secado del grano en la vaina se prolongará. La cosecha se realiza cuando tienen entre un 18% y un 20 % de humedad.

5.15.3. Pre secado

El pre secamiento es el secado del frijol en el campo, esta actividad se realiza cuando el tiempo está seco y consiste en arrancar la planta de frijol cuyo grano tiene un 30 a 50% de humedad, se juntan unas cuatro a cinco matas y se dejan los manojos en el campo para su secamiento, si el tiempo es soleado las vainas se secarán en 3 a 4 días, se ponen quebradizas listas para el aporreo.

5.15.4. Aporreo

El aporreo consiste en golpear las matas secas con un bastón de madera para que las vainas se habrán y liberen el grano, esta actividad se hace en día soleado o nublado en un lugar adecuado del campo, ya que luego es soplado y ensacado el frijol, para esta actividad se usan plásticos, lonas o sacos unidos entre sí. Al momento del aporreo el grano de frijol tiene una humedad del 18 al 20 %, por lo tanto, es necesario secarlo más para su venta o almacenamiento (Red SICTA, 2009).

Si el secado se pretende iniciar en el campo, las plantas no deben permanecer por periodos mayores a una semana. Se sugiere efectuar al trillado lo más pronto posible. Una vez cosechadas, la calidad disminuye con el transcurso del tiempo (Araya R; et al. 2010. Faria Vieira R; et al. 1993. Ennen, RD. 2011). La tasa de deterioro dependerá de las condiciones de humedad, temperatura y del tiempo en que estas permanecerán almacenadas (Ferguson, 1995).

El secado al sol se puede efectuar en una lona (tela fuerte de algodón o cáñamo o plástica, para toldos, tiendas de campaña y otros usos), sobre concreto o asfalto, formando una capa de 10 cm de grosor. La superficie de la capa de semillas debe ser ondulada para un secado más rápido y uniforme (Baudet L; Peske S. 2005). Se deben revolver en intervalos de dos horas, con el fin de evitar el calentamiento excesivo de las mismas y una vez que han alcanzado el 13 % de humedad, almacenarlas (FAO. 2012).

5.15.5. Almacenamiento

El frijol una vez seco (13% de humedad) se debe ensacar para su comercialización inmediata, si se va a esperar unos días para su venta o consumo los sacos deben estibarse sobre polines de madera y separados de la pared para que exista suficiente aireación para evitar exceso de calor que endurece el grano (Red, SICTA, 2009).

5.16. Generalidades de las micorrizas

Sigüenza, Zúniga, 2021. Concluyó que la baja fertilidad de los suelos en El Salvador es una limitante muy grande para la producción de maíz, mediante el uso de abonos verdes, micorrizas y cantidades reducidas de fertilizante químico se pretende mejorar los suelos e incrementar rendimientos de grano por unidad de área. Para garantizar la seguridad alimentaria del país se debe de contar con alternativas de bajo costo y más amigables con el medio ambiente.

La materia orgánica sirve como fuente de energía tanto para organismos de macro y micro fauna del suelo. Un número de bacterias, actinomicetos y hongos en el suelo están relacionados de manera general con el contenido de humus, lombrices y otros organismos de la fauna están fuertemente influenciados por la cantidad de residuos vegetales retornados al suelo. Las sustancias orgánicas en el suelo pueden tener un efecto fisiológico directo en el crecimiento de las plantas. Algunos compuestos, tales como ciertos ácidos fenólicos, tienen propiedades citotóxicas; otras tales como las auxinas, mejoran el crecimiento de las plantas (Nigoul, M. 2006).

El mantenimiento de la capacidad productiva del suelo requiere integrar prácticas de nutrición vegetal y mejoramiento del suelo, mediante la aplicación de abonos orgánicos y fertilizantes. Con esta actividad se puede contribuir a resolver la problemática de la pérdida de productividad de los suelos en terrenos de ladera (UES, 2013).

Tomando en cuenta la imperiosa necesidad de producir alimentos saludables para una población muy numerosa y en constante crecimiento, uno de los principales desafíos de El Salvador es: mantener, recuperar y aumentar el potencial productivo de las tierras, con normas que aseguren la calidad de los productos, que tenga la capacidad de nutrir a las personas sin ocasionar daños a la salud humana (Chemonics, 2011)

El nitrógeno se encuentra en la naturaleza fundamentalmente como gas (79% de la atmósfera), pero a pesar de su gran abundancia, de poco les sirve a las plantas y animales mientras permanezca en la atmósfera, ya que son incapaces de fijarlo y aprovecharlo; sin

embargo, existen microorganismos que son capaces de fijar ese nitrógeno atmosférico y transformarlo en compuestos fácilmente asimilables (Cuadrado, B. et al; 2009).

Las bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno, se asocian con las plantas en interacciones simbióticas y mutualistas; por ejemplo, las bacterias de los géneros *Rhizobium* y *Bradyrhizobium* conocidas como rizobios, realizan fijación simbiótica de nitrógeno con las leguminosas, en un proceso considerado de alta eficiencia (Jong-Soo, J. et al; 2003).

La palabra micorriza significa hongo-raíz (mykós-rhiza) y se usa para definir a una relación simbiótica entre ciertos hongos y las raíces de las plantas. Esta relación da un beneficio a la planta, ya que el micelio del hongo explora un mayor volumen de suelo y penetra poros más pequeños que la raíz, mejorando la absorción de nutrientes para la planta (Dreyer, 2007).

El uso de inoculantes a base de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) con un alto grado de pureza y estabilidad biológica permite un mayor desarrollo del sistema radical, aumenta la absorción de nutrientes, fundamentalmente fósforo y nitrógeno, aumenta la calidad de absorción de agua por las plantas y crea protección contra ciertas plagas de las raíces, favoreciendo el crecimiento de las mismas, además contribuyen al mejoramiento de las propiedades físicas y eleva las poblaciones de varias especies microbianas del suelo (Alarcón y Ferrera; 2000).

La micorrización es una de las técnicas biológicas empleadas en muchos cultivos; sin embargo, en los pastos aún no se ha logrado extenderla ampliamente en la producción y los estudios han estado dirigidos a algunas leguminosas y muy pocas gramíneas. Las micorrizas permiten una aplicación exitosa mediante el recubrimiento de las semillas. Por otra parte, las relaciones micorrízicas pueden ser la clave para disminuir la cantidad de fertilizantes (especialmente fosfatos) que debe aplicarse para obtener buenos rendimientos; en los suelos con altos contenidos de fósforo (P) la inoculación con micorriza incrementa el crecimiento y el establecimiento temprano de los cultivos. Las plantas desarrollan una calidad biológica superior, en cuanto a mayor altura, vigor y área foliar, y se incrementan los rendimientos (entre 15 y 50%). Protege las raíces contra ciertos hongos patógenos. Además, el

biofertilizante permite ahorrar hasta un 50% del volumen de los productos químicos necesarios, lo que favorece la reducción de los insumos y de los costos, e influye en el ejercicio de una agricultura sostenible y ecológicamente más sana (Noda, 2009).

Esta simbiosis se observa en aproximadamente el 90 % de las plantas terrestres, (Guzmán, et al 2005), y existe desde hace aproximadamente 400 millones de años, es decir desde que las plantas comenzaron a habitar el suelo (Bonfante, 2003) (anexo 17).

Entre los beneficios que la colonización por hongos Micorrízicos Arbusculares (MA) les brinda a las plantas se pueden mencionar: el intercambio nutricional, donde la planta aporta carbohidratos al hongo, a cambio de los minerales que el hongo absorbe del suelo y aporta a la planta (Dreyer, 2007) (anexo 16).

La presencia de hongos micorrízicos mejora el crecimiento y la tolerancia de las plantas frente a problemas de salinidad y sequía (Bonfante, 2003), o a infecciones patógenas (Dreyer, 2007); mejoran la estructura del suelo y le dan resistencia contra la erosión, ya que el micelio estabiliza el suelo y además secreta proteínas que funcionan como agente cementante (Wright, 1998).

Las simbiosis de micorrizas arbusculares tienen un impacto significativo en las interacciones de las plantas con otros organismos. El aumento de la resistencia a los patógenos del suelo se ha descrito ampliamente en las plantas micorrizas. Por el contrario, los efectos sobre las enfermedades de los brotes dependen en gran medida del estilo de vida y la estrategia de desafío del atacante. Entre los posibles mecanismos involucrados en la resistencia de los sistemas micorrízicos, la inducción de defensas en las plantas es el más controvertido. Durante la formación de micorrizas produciendo la nodulación, como un mecanismo de defensa por parte de la planta, en respuesta a la infección simbiótica entre las bacterias y la planta, posiblemente a través de la interacción entre las vías de señalización dependientes del ácido salicílico y el jasmónico. Esta modulación puede afectar las respuestas de las plantas a los enemigos potenciales al preparar los tejidos para una activación más eficiente de los mecanismos de defensa (Pozo, *et al* 2007).

De los microorganismos que colonizan la rizosfera, los hongos micorrízicos ocupan una posición ecológica única, ya que parcialmente están dentro de la planta y al mismo tiempo fuera de ella (González, 1995).

Las investigaciones en leguminosas en los estudios sobre el aprovechamiento del nitrógeno debido a las bacterias del género *Rhizobium*. Por otro lado, se han desarrollado numerosos trabajos científicos sobre el empleo de las micorrizas conjuntamente con *Rhizobium*, que han posibilitado incrementos en el crecimiento y rendimiento de las leguminosas como soya y frijol (Corbera, 1998).

En experimentos realizados con *Rhizobium leguminosarum* en haba, lenteja y soya se incrementó significativamente la nodulación, el peso seco de las leguminosas, su contenido en nitrógeno y su rendimiento (Carrera et al., 2004).

Actualmente se reconocen siete tipos de asociaciones micorrízicas, estas son: micorrizas arbusculares, micorrizas arbutoides, micorrizas monotropoides, micorrizas ericoides, micorrizas orquidioides, ectomicorrizas y ectendomicorrizas (Dreyer, 2007).

Las micorrizas arbusculares se dan exclusivamente con hongos de la división *Glomeromycota*, mientras que los demás tipos de hongos micorrízicos pertenecen a las divisiones *Basidiomycota* y *Ascomycota*. Los dos tipos de asociaciones micorrízicas más comunes son las arbusculares y ectomicorrizas. Los primeros cinco tipos de micorrizas mencionados se conocen en conjunto como endomicorrizas (Bonfante, 2003).

En general, las hifas del hongo en las endomicorrizas penetran las células de las raíces de la planta para establecer una simbiosis intracelular. En las ectomicorrizas las hifas son extracelulares y en las micorrizas hay una parte de la simbiosis fuera y otra dentro de la raíz (Smith, et al, 2008).

El uso de los hongos micorrízicos en sistemas agrícolas implica un conocimiento profundo sobre el efecto que tienen determinadas prácticas de manejo sobre la diversidad y funcionamiento de las micorrizas. En este sentido, se sabe desde hace tiempo que ciertas prácticas agrícolas perjudican la formación de micorriza.

Se destaca la importancia de la asociación mutualista entre las raíces de plantas superiores con hongos del suelo, denominada micorrizas. Se propone esta asociación como alternativa para el manejo sostenible de los agro ecosistemas tropicales. Se distinguen diferentes tipos de micorrizas, su biología, clasificación taxonómica y procesos de infección. Se describe la función de las micorrizas arbusculares en la demanda de carbohidratos, la absorción de nutrientes por la planta, su reciclaje y la tolerancia a características físicas y químicas adversas del suelo. Se señala la interacción de las micorrizas con otros microorganismos como *Rhizobium*, *Pseudomonas*, *Agrobacterium* y *Penicillium* con efectos favorables sobre la solubilización de fosfatos y la síntesis de fitohormonas, enzimas y sanidad de los cultivos. Se indica el comportamiento de las micorrizas ante factores bióticos y abióticos y la biotecnología aplicada en la preparación masiva de inóculo y la micorrización de plántulas mediante cultivos in vitro y de tejidos (Salamanca, *et al*, 1998).

El número y peso de las semillas del tratamiento con micorrizas fue 22% más alto en comparación con el testigo sin inocular. Este efecto favorable se debió, probablemente, a una mejoría en la adquisición de fósforo disponible en el suelo por las plantas micorrizadas (Saif y Khan, 1977; Ross, 1971). Ya que este elemento estimula la formación de las semillas (Ortiz y Ortiz, 1980). Resultados similares fueron encontrados por Sanni (1976b) en arroz (41.5%); Saif y Khan (1977) en cebada (290%) por Ross (1971) en soya (122%).

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, también promueven la salud de estas (Casieri *et al.*, 2013).

Según estudios realizados por (Díaz, Arévalo, 2019) manifiesta que la producción de tomate en El Salvador es afectada por la presencia de factores bióticos y abióticos presentes en las regiones tomateras del país, así como por las características socioeconómicas y productivas de los pequeños y medianos productores; uno de los factores que contribuyen a bajos rendimientos en este cultivo, son la no aplicación de los nutrimentos necesarios para su desarrollo, producto del alto costo de los fertilizantes químicos; en tal sentido, la utilización de biofertilizantes a base de hongos micorrízicos arbusculares (Micorrizas) del género *Glomus*, bacterias fijadoras de nitrógeno del género *Rhizobium*, por su parte Reyes, Castillo, 2012. Menciona que representa una alternativa tecnológica de bajo costo, accesible, fácil de aplicar y adecuado a las condiciones de la agricultura familiar que mejora la fertilización nitrogenada del cultivo, incrementando los rendimientos.

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).

Esta se basa en el uso de organismos vivos para ayudar en el desarrollo de las plantas y es una alternativa para incrementar el rendimiento sin mermar los recursos. Los productos biológicos para uso agrícola son elaborados con diferentes microorganismos que tienen efectos positivos sobre algunos procesos de descomposición y síntesis que se dan en el suelo. Entre estos se encuentran las bacterias del género *Rhizobium*, microorganismos que fijan nitrógeno; *Pseudomonas putida*, *Mycobacterium*, *Micrococcus*, *Bacillus subtilis*, *Thiobacillus*, *Penibacillum bilaji* y *Aspergillus nige*, que son microorganismos solubilizadores de fosforo (CATIE, 2002).

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.

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).

En 1985 se estableció un experimento en invernadero en el colegio de postgraduados, Texcoco, Edo. México, con la variedad Michoacán 12-A-3 de habito de crecimiento indeterminado, Tipo II (arbustivo). Se utilizó un suelo esterilizado de baja fertilidad con textura migajón arenosa, pH de 6.7 y 14 ppm de fosforo. La fuente de inoculo fue una mezcla con esporas y raíces de maíz infectadas con las especies *Glomus intraradices* Schenk et Smith y *G. macrocarpum* Tulese et Smith, en dosis de 37 g de suelo con 600 esporas y 5.9 g de raíces por maceta. Se sembraron dos plantas por maceta y se regaron diariamente con agua destilada; en dos ocasiones se aplicaron 259 ml de solución nutritiva Long Ashton sin fosforo. Los tratamientos fueron: 1) testigo sin inocular, 2) sin inoculación con 30 kg ha de P_2O_5 , 3) sin inoculación con 60 kg ha de P_2O_5 , 4) inoculación con micorrizas arbuscular. Se estableció un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. Las características cuantificadas se registraron con muestreos destructivos cada 10 días, durante 100 días. La infección micorrízica se observó desde los diez días y se encontró una relación entre la presencia de arbusculos y vesículas con los estados fenológicos de frijol. La región más rápidamente infectada fue la cercana a la corona radical. El sistema radical de las plantas inoculadas

registro menor peso seco que el de los testigos fertilizados. En el vástago, la inoculación con micorrizas indujo el incremento del desarrollo vegetal expresado en un mayor número de nudos, flores, vainas y semillas, así como el área foliar, peso seco de la lámina, de las semillas y el contenido de fósforo en el tejido vegetal (Aguirre et al, 2002)

Infección micorrízica. El desarrollo de la infección causada por la micorriza durante el ciclo del cultivo fue ascendente a partir de los diez días hasta los 60. En cuanto a las estructuras de la micorriza, los arbúsculos fueron más abundantes durante el desarrollo vegetativo del frijol y hasta la floración (78%). Después de esta etapa, el porcentaje se redujo a 40% hasta la cosecha. La reducción de la infección coincidió con el desarrollo de las vainas, órganos reproductivos que demanda por foto asimilados y sustancias de reserva para su desarrollo. Las vesículas tuvieron su mayor aparición (55%) al final del ciclo del cultivo (Aguirre et al, 2002)

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de *Glomus fasciculatum* en el crecimiento del híbrido de maíz Hs5g y determinar si es factible reducir la dosis de aplicación de P, como estrategia para contribuir al desarrollo de un sistema de producción de maíz más sostenible. Los tratamientos con *G. fasciculatum* que produjeron el mayor porcentaje de micelios, arbúsculos, vesículas y colonización fueron *G. fasciculatum* + 0 kg ha⁻¹ de P y *G. fasciculatum* + 19.8 kg ha⁻¹ de P, presentando este último la mayor altura de planta y biomasa aérea y biomasa total. A medida que aumentó la dosis de P disminuyó el efecto de *G. fasciculatum* en la producción de biomasa del maíz. La inoculación con *G. fasciculatum* permitió reducir el uso de fertilizante fosforado hasta un 33 % (19.8 kg ha⁻¹ de P) de la dosis de fósforo (P) recomendada para la zona (H. Leblanc, et al, 2012).

El efecto más evidente de las micorrizas en las plantas se da en la absorción de nutrientes que tienen baja movilidad en el suelo, especialmente el P, pero también esto sucede con el K, el S, el N, el Zn y el Cu (Johansen y Jensen 1996; Buscher, 2007). Aun cuando los sistemas simbióticos de transporte de P inorgánico hacia la planta vía micorriza sean principalmente en forma de poli fosfatos, se han presentado algunos estudios que demuestran que los HMA producen enzimas que proveen a la planta del potencial para acceder a formas

de P orgánico que son normalmente inaccesibles para las plantas no micorrizadas (Buscher, 2007).

El micelio de los HMA se conecta con la célula vegetal a través del arbúsculo, y es éste el responsable del intercambio de nutrientes entre el hongo y la planta. Al formarse el arbúsculo se llevan a cabo modificaciones de suma importancia a nivel de estructura y morfología, adecuando a la planta para mejorar su intercambio nutritivo. Una vez que el hongo ha ingresado en la célula vegetal se sintetiza la membrana peri simbiótica que posee fosfatas neutras y ATP-asa y permiten la degradación de gránulos de fosfato y su transferencia activa al vegetal (Alarcón y Ferrera Cerrato, 2000).

El uso de inoculantes a base de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) con un alto grado de pureza y estabilidad biológica permite un mayor desarrollo del sistema radical, aumenta la absorción de nutrientes, fundamentalmente fosforo y nitrógeno, aumenta la capacidad de absorción de agua por las plantas y crea protección contra ciertas plagas de las raíces, favoreciendo el crecimiento de las mismas, además contribuye al mejoramiento de las propiedades físicas y eleva las poblaciones de varias especies microbianas del suelo (Alarcón y Ferrara, 2000)

Estudios con el HMA *Glomus fasciculatum* en banano (Musa AAA subgrupo Cavendish clon Valery) han demostrado la incidencia de los HMA en la absorción de nutrientes especialmente P, así como en la altura de plántulas, y número de hojas (Ochoa y Sambrano, 2009).

Encontraron que los niveles bajos de P estimulan la colonización y esporulación de las micorrizas en maíz y soya, mientras que altos niveles de P disminuyen la colonización. Resultados similares han sido reportados por Porter y Beute (1972) en cacahuates, Hayman y Stovold (1979) en trigo y Harinikumar y Bagyaraj (1989) en maní.

H. Leblanc et al, 2012 Estos resultados demuestran que el híbrido de maíz Hs5g tiene una dependencia facultativa de los HMA, pues en la medida que el P estuvo más disponible para la planta, su mutualismo con *G. fasciculatum* disminuyó drásticamente, lo que se

evidencia en el porcentaje de colonización de la raíz a esos niveles de fertilización. La inoculación con *G. fasciculatum* tuvo un efecto sobre la altura de la planta ($p \leq 0.05$). La fertilización con P también tuvo un efecto en la altura de la planta ($p \leq 0.0001$) y la interacción inóculo por P fue significativa ($p \leq 0.0006$). Resultados similares han sido reportados por Ochoa y Sambrano (2009), en un experimento de invernadero en banano, donde *G. fasciculatum* produjo un incremento significativo en la altura de las plantas.

Durante el año 1995 en Costa Rica, estudios llevados a cabo en ese país determinaron el efecto del uso de inoculantes utilizando la cepa nativa CR-477 en el rendimiento de las variedades Talamanca, Criolla y Brunca, demostrando el potencial que tiene el uso de la inoculación con cepas altamente efectivas en el cultivo de frijol (Acuña, O. y Uribe, L.; 1996).

En el año 2011, resultados obtenidos en El Salvador reflejan que la combinación del uso de inoculantes a base de *Rhizobium* + micorriza del género *Glomus*, refleja un efecto positivo en el número de vainas por planta y en el rendimiento utilizando la variedad CENTA PIPIL, superando al tratamiento que utilizó fertilizante químico (Reyes Castillo, 2012).

Los resultados presentados por Anand y Torrie (1963) indican que el número de vainas por planta y el número de granos por vaina están más asociados fenotípicamente con un alto rendimiento en granos que lo es peso del grano.

De acuerdo con Voyset (1974) en el caso del cultivo del frijol los componentes primarios del rendimiento son: número de vainas por plantas, número de granos por vaina y peso de la semilla.

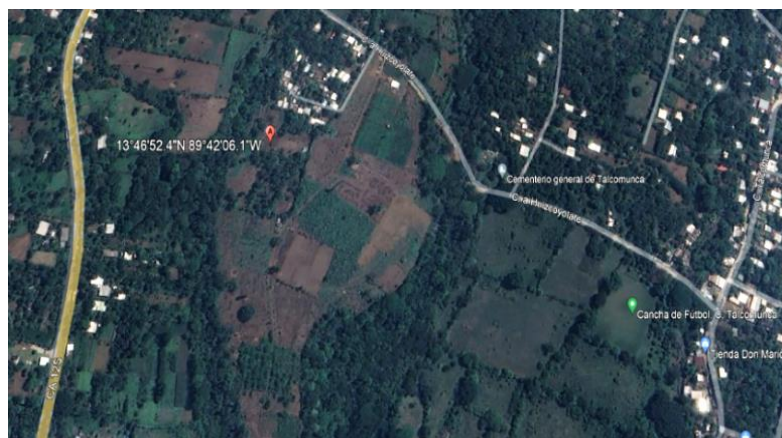
4. Materiales y métodos.

6.1. Ubicación de la investigación

La investigación se realizó en el municipio de Izalco, cantón, Talcomunca, Departamento de Sonsonate con coordenadas ($13^{\circ} 46' 52.40''$ N, $89^{\circ} 42' 6.05''$ W). En la época de septiembre a diciembre 2023. El experimento de campo se desarrolló en un suelo

franco-arcilloso-arenoso, en una elevación aproximadamente entre 519 a 525 msnm, pH 6.09, contenido de materia orgánica 3.25% y alto contenido de fosforo y potasio. En el cuadro 9 se presentan las principales propiedades químicas de los suelos existentes donde se estableció el ensayo. La precipitación es de 342.4 ± 472.6 mm y la temperatura media es 33°C (91.4°F).

Figura 3. Ubicación donde se estableció el ensayo de uso de biofertilizante, cantón Talcomunca, Sonsonate, El Salvador, septiembre – diciembre 2023



Fuente: Google Earth Pro.

Cuadro 9. Composición química del suelo en ensayo de evaluación de biofertilizante en cantón Talcomunca, Izalco, Sonsonate, septiembre – diciembre 2023

Profundidad	% M. O	pH	CICE	Mg. Kg ⁻¹		Cmol. Kg ⁻¹			
				P	K	Ca	Mg	K	Na
25 cm	3.25	6.09	12.45	7	276	9.01	2.34	0.71	0.39
	M	LA	M	MB	MA	A	A		NS

Fuente: Laboratorio de suelo CENTA, 2023

Donde: M=Medio, LA= Ligeramente Acido, MB= Muy Bajo, MA= Muy Alto, A= Alto, NS= No Sódico, Mg. Kg⁻¹ = I= ppm

El manejo agronómico se realizó con base a lo recomendado por CENTA. El control de malezas se realizó en forma química con Betanzona sodio (1 l/ha), Glifosato 35.6 SL (1.5 l/ha) y control manual. El control de plagas y enfermedades se realizó con Carbendazim 500cc/ha, Thiacloprid Beta-Ciflutrina 11.25 EC (1 l/ha), Deltametrina 10 EC (75cc/ha), Clorotalonid (3 l/ha), Cypermethrin 25 EC (0.1 l/ha), Mancozeb 40 SC (2 l/ha) (Anexo 14).

Cuadro 10. Fuentes comerciales de biofertilizantes y abonos inorgánicos utilizados en el ensayo cantón Talcomunca, Sonsonate, septiembre – diciembre 2023

No. Tratamiento	Nombre comercial	Ingrediente activo	Concentración	Dosis/ha
1	Mycogel	<i>Rhizophagus irregularis</i>	50,000,000 UFC/litro	375 ml
2	Bioamigo	<i>Glomus cubense</i>	20,000 esporas/kg	2 kg
3	Micorrizafer	<i>Glomus intrarradices</i>	30,000 esporas/kg	1 kg
4 (Agricultor)	16-20-0			64.28 kg
5 (100 % FQ)	16-20-0 + Sulfato de amonio 21%N			128.57 kg + 64.28 kg
6 (50 % FQ)	16-20-0 + Sulfato de amonio 21%N			64.28 kg + 32.14 kg

Se utilizó diseño experimental parcelas divididas en arreglo con Bloques Completos al Azar con tres repeticiones, doce tratamientos (cuadro 13) entre los nombres comerciales de los productos evaluados fueron: Mycogel (*Rhizophagus irregularis*), Bioamigo (*Glomus cubense*) y Micorrizafer (*Glomus intrarradices*).

La unidad experimental estuvo constituida por las siguientes dimensiones 5 metros de largo x 2.40 m de ancho con 4 surcos (0.60 m/surco), haciendo un total de 12 m² de 25 posturas por surco (0.20 m/postura). Las dimensiones del área útil fueron de tres metros de largo por 0.60 m/surco (dos surcos centrales) haciendo un total de 3.60 m² El área del ensayo consistió de 489.6 m² (cuadro 13)

Tratamientos evaluados

Cuadro 11. Descripción de tratamientos utilizados en ensayo experimental en cantón Talcomunca, Sonsonate, septiembre – diciembre 2023.

Variedades	No. Tratamientos	Porcentajes/Tratamientos	
Variedad No.1 CENTA Sequia	T ₁	100% Fertilización Química (16-20-0)	Agricultor
	T ₂	100% Fertilización 16-20-0 + Sulfato de Amonio 21% N	CENTA
	T ₃	Mycogel + 50% Fertilización 16-20-0	
	T ₄	Bioamigo + 50% Fertilización 16-20-0	
	T ₅	Micorrizafer + 50% Fertilización 16-20-0	
	T ₆	Testigo absoluto	
Variedad No.2 CENTA EAC	T ₇	100% Fertilización Química (16-20-0)	Agricultor
	T ₈	100% Fertilización 16-20-0 + Sulfato de Amonio 21% N	CENTA
	T ₉	Mycogel + 50% Fertilización 16-20-0	
	T ₁₀	Bioamigo + 50% Fertilización 16-20-0	
	T ₁₁	Micorrizafer + 50% Fertilización 16-20-0	
	T ₁₂	Testigo absoluto	

Donde T= Tratamiento, V1= Variedad CENTA Sequia y V2= Variedad CENTA EAC

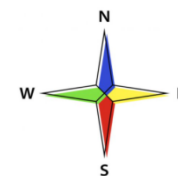
Se presentan las variables evaluadas en el ensayo de evaluación de biofertilizantes

Cuadro 12. Descripción de variables evaluadas en ensayo

Variables	Descripción
NPC	Número de Plantas Cosechadas. Al azar se cosecharon de cada unidad experimental 10 plantas
NVP	Número de Vainas por Planta. De cada unidad experimental se tomaron al azar 10 plantas, se les contaron el total de vainas y se obtuvo el promedio
NGPV	Número de granos por vaina. De cada unidad experimental se tomaron al azar 25 vainas, se procedió a cuantificar el número de granos y se obtuvo el promedio por vaina.
Rendimiento kg/ha	La cosecha del ensayo se realizó cuando el cultivo llegó a madurez fisiológica utilizando el área útil de cada unidad experimental y para la determinación del rendimiento se aplicó la formula siguiente: $\text{Kg/ha} = \left\{ P_{\text{campo}}(\text{kg}) \times 10,000 / \text{Aútil}(\text{m}^2) \right\} \times \left\{ 100 - \% \text{ H campo} / 100 - 12\% (\text{H deseada}) \right\}$

Los tratamientos se distribuyeron al azar (cuadro 13)

Cuadro 13. Distribución de tratamientos evaluados en plano de campo, ubicado en cantón Talcomunca, Sonsonate, septiembre – diciembre 2023



VARIEDAD CENTA EAC						VARIEDAD CENTA SEQUIA					
T ₄ Bioamigo + 50% FQ (16-20-0) 301	T ₃ Mycogel + 50% FQ (16-20-0) 302	T ₆ testigo absoluto 303	T ₅ Micorrizafer + FQ (16- 20-0) 304	T ₁ Fertilización química (16-20-0) 305	T ₂ 100% Fertilización química (16-20-0 + Sulfato de amonio) 306	T ₉ Mycogel + 50% FQ (16-20-0) 307	T ₁₂ testigo absoluto 308	T ₈ 100% Fertilización química (16-20-0 + Sulfato de amonio) 309	T ₁₁ Micorrizafer + FQ (16- 20-0) 310	T ₇ Fertilización química (16-20-0) 311	T ₁₀ Bioamigo + 50% FQ (16- 20-0) 312
VARIEDAD EAC						VARIEDAD CENTA SEQUIA					
T ₆ testigo absoluto 212	T ₄ Bioamigo + 50% FQ (16-20-0) 211	T ₁ Fertilización química (16-20-0) 210	T ₅ Micorrizafer + FQ (16- 20-0) 209	T ₂ 100% Fertilización química (16-20-0 + Sulfato de amonio) 208	T ₃ Mycogel + 50% FQ (16-20-0) 207	T ₈ 100% Fertilización química (16-20-0 + Sulfato de amonio) 206	T ₁₀ Bioamigo + 50% FQ (16-20-0) 205	T ₇ Fertilización química (16-20-0) 204	T ₁₂ testigo absoluto 203	T ₉ Mycogel + 50% FQ (16- 20-0) 202	T ₁₁ Micorrizafer + FQ (16- 20-0) 201
VARIEDAD No. 1 CENTA SEQUIA						VARIEDAD No. 2 CENTA EAC					
T ₁ Fertilización química (16-20-0) 101	T ₂ 100% Fertilización química (16-20-0 + Sulfato de amonio) 102	T ₃ Mycogel + 50% FQ (16-20-0) 103	T ₄ Bioamigo + 50% FQ (16- 20-0) 104	T ₅ Micorrizafer + FQ (16- 20-0) 105	T ₆ testigo absoluto 106	T ₇ Fertilización química (16-20-0) 107	T ₈ 100% Fertilización química (16-20-0 + Sulfato de amonio) 108	T ₉ Mycogel + 50% FQ (16-20-0) 109	T ₁₀ Bioamigo + 50% FQ (16- 20-0) 110	T ₁₁ Micorrizafer + FQ (16- 20-0) 111	T ₁₂ testigo absoluto 112

6.2. Actividades realizadas durante el experimento

6.2.1. Delimitación del terreno

Se efectuó delimitación de 489.6 m² que es el área total, posteriormente con ayuda de estacas de bambú y nylon se trazó el diseño experimental con sus repeticiones y tratamientos (anexo 13).

6.2.2. Preparación de la semilla

Para cada parcela se preparó con un sobre con doscientas semillas de cada variedad (anexo 11).

6.2.3. Descripción del uso de biofertilizantes

Seleccionada la semilla de ambas variedades se procedió a inocularlas con las micorrizas usando una porción de 6-10% del peso de la semilla, con el uso de un atomizador se procedió a remojar la semilla para humedecer la testa, luego la aplicación de los productos (Bioamigo, Micorrizafer), y se removió dentro de una bolsa plástica para uniformizar y que la semilla pudiera adherir el producto, luego se dejó secar bajo sombra por cuarenta y cinco minutos (anexo 12). Para el caso de Mycogel por ser formulado a base de gel (semilíquido) de forma directa se inóculo a la semilla de las dos variedades y se procedió a remover dentro de una bolsa y luego secamiento bajo sombra por una hora.

Cuadro 14. Dosis comerciales de inoculantes utilizados en el ensayo

Producto	Dosis/ha
Mycogel	375 ml
Bioamigo	1 kg
Micorrizafer	2 kg

6.2.4. Siembra

Fue manual colocando 1 a 2 semilla por postura a distanciamiento de 0.25 m entre postura y 0.60 m entre surco (anexo 10)

6.2.5. Fertilización

Se realizó aplicación de 50% de fertilizante 16-20-0 para unos tratamientos y otros la mezcla de fórmula 16-20-0 + sulfato de amonio 21%N, esta fertilización se realizó 12 días después de sembrado (cuadro 15).

Cuadro 15. Fuente comercial del suministro de nutrientes equivalentes al 50% de fertilización química en el cultivo de frijol común

Fertilizante	Aporte de nutrientes (Kg/ha)			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	S
Fórmula 16-20-0	5.2	6.5	0.0	4.2
Sulfato de amonio 21% N	13.6	0.00	0.0	15.6
TOTAL	18.8	6.5	0.0	19.8

6.2.6. Rendimiento de grano kg/ha

Se tomó el grano ya seco (al 12% de humedad) que se produjo en cada unidad experimental y se obtuvo el peso del mismo. Posteriormente se procedió a proyectar los datos a kg/ha.

6.3. Técnicas de análisis

Las variables evaluadas fueron analizadas con el paquete estadístico InfoStat 2020, por medio del cual se obtuvo el Análisis de Varianza (ANVA), se aplicó la prueba de rango múltiple de Duncan para la separación de medias al $P < 0.05$ de probabilidad (anexo 5) y el análisis económico se realizó por el método de presupuesto parcial (anexo 8), que constituye una manera de evaluar la sustitución de una alternativa tecnológica por otra, comparando los cambios de costos y beneficios netos asociados con cada una de ellas. El proceso completo que se desarrolló fue el siguiente:

1. Cálculo de costos variables por hectárea de cada tratamiento, considerando el tipo de insumo (biofertilizantes).
2. Ajuste de los rendimientos medios obtenidos al 10% en Kg/ha.
3. Se definió el precio de campo del producto obtenido, considerando un valor de \$2.22/kg de producto, con lo que se obtuvo el beneficio bruto de campo.
4. Cálculo de los beneficios netos (\$/ha), que resulta de la resta del total de los costos que varían por tratamiento.
5. Elaboración del análisis de dominancia (cuadro 21)
6. Cálculo de la TRM % (cuadro 22)

5. Resultados y discusión

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el ensayo establecido en el periodo de septiembre a diciembre 2023.

Cuadro 16. Parcela Grande (PG) de ensayo de evaluación de biofertilizante en las variedades de frijol CENTA SEQUIA y CENTA EAC, en cantón Talcomunca, Sonsonate 2023

No.	Parcela Grande	VARIABLES			
		NPC	NVP	NGPV	Rendimiento kg/ha
1	CENTA SEQUIA	90.67	15.89	5.67	1895.00
2	CENTA EAC	91.83	17.67	5.83	1931.67
SIGNIFICANCIA		NS	NS	NS	NS

Dónde **NPC**= Número de plantas cosechadas, **NVP**= Número de vainas por planta, **NGPV**= Número de granos por vaina, **NS**= No significativo.

Cuadro 17. Parcela Pequeña (PP) evaluación de tratamientos en ensayo de biofertilizantes, en cantón Talcomunca, Sonsonate, septiembre a diciembre 2023.

No.1	Parcela Pequeña	VARIABLES			
		NPC	NVP	NGPV	Rendimiento kg/ha
1	100% FQ (16-20-0)	89.00	14.67 BC	5.33 C	1570.00 C
2	16-20-0 + Sulfato de amonio 21% N	95.00	22.00 A	6.33 A	2545.00 A
3	Mycogel + 50% FQ	93.00	18.50 AB	6.17 A	2440.00 A
4	Bioamigo + 50% FQ	91.00	17.50 B	5.67 BC	1970.00 B
5	Micorrizafer + 50% FQ	89.50	15.00 BC	5.67 BC	1585.00 C
6	Testigo 0% FQ	90.00	13.00 C	5.33 C	1370.00 D
SIGNIFICANCIA		NS	**	*	**

Dónde **NPC**= Número de plantas cosechadas, **NVP**= Número de vainas por planta, **NGPV**= Número de granos por vaina, **NS**= No significativo, *= Significativo a un nivel 5%, **= Significativo al 1%.

Las medias de resultados para los diferentes tratamientos y las variables en estudio se presentan en cuadro 18.

Cuadro 18. Medias de resultados obtenidos para la interacción PG x PP durante el año 2023 y su ANVA para las variables NPC, NVP, NGPV y rendimiento kg/ha, en evaluación de biofertilizantes a base de micorrizas arbusculares, cantón Talcomunca, El Salvador septiembre – diciembre 2023

No. Trat	Genotipo	Tratamientos	Variables			
			NPC	NVP	NGPV	Rendimiento kg/ha
1 agricultor	CENTA Sequia	100% FQ (16-20-0)	90.00	11.33	5.33	1600.00
2 CENTA		16-20-0 + Sulfato de amonio 21% N	94.00	20.00	6.00	2490.00
3		Mycogel + 50% FQ	92.00	17.00	6.00	2380.00
4		Bioamigo + 50% FQ	90.00	17.00	5.67	1940.00
5		Micorrizafer + 50% FQ	88.00	16.00	5.67	1620.00
6		Testigo 0% FQ	90.00	14.00	5.33	1340.00
7 agricultor	CENTA EAC	100% FQ (16-20-0)	88.00	18.00	5.33	1540.00
8 CENTA		16-20-0 + Sulfato de amonio 21% N	96.00	24.00	6.67	2600.00
9		Mycogel + 50% FQ	94.00	20.00	6.33	2500.00
10		Bioamigo + 50% FQ	92.00	18.00	5.67	2000.00
11		Micorrizafer + 50% FQ	91.00	14.00	5.67	1550.00
12		Testigo 0% FQ	90.00	12.00	5.33	1400.00
PROMEDIO			91.25	16.78	5.75	1913.33
SIGNIFICANCIA			NS	NS	NS	NS

Donde NPC= Número Plantas Cosechadas, NVP= Número de Vainas por Planta, NGPV= Número de Granos por Vainas
NS= No significativo, PG= Parcela Grande, PP= Parcela Pequeña.

El análisis de varianza para las interacciones PG x PP reflejó que no existió diferencia significativa para las variables NPC, NVP, NGPV y REND; en dicha interacción se observa que ambas variedades respondieron favorablemente al tratamiento con fertilización química, con valores de 2,490 kg/ha para la variedad CENTA Sequia y 2,600 kg/ha para la variedad CENTA EAC.

7.1. Número de Plantas Cosechadas (NPC)

En la variedad CENTA Sequia, los tratamientos T2 y T3 fueron los que presentaron mayor promedio de número de plantas cosechadas con valores de: 94.00 y 90.00 respectivamente (Anexo 1), mostrando que existió un efecto de los biofertilizantes evaluados, aunque no significativa para esta variable, el análisis de correlación (Cuadro 19) para las variables NPC

y REND refleja un valor positivo de $r=0.33$ demostrando un similar grado de asociación entre ellas. Respecto para la variedad CENTA EAC no presento diferencia significativa siendo los tratamientos T8, T9 y T10 los que presentaron mayor número de plantas cosechadas con medias de: 96.00, 94.00 y 92.00 respectivamente, superando al testigo con valor de 88.00. Los resultados anteriores difieren a los obtenidos por (Reyes Castillo, 2014) donde la variedad CENTA COSTEÑO 2 demostró diferencia significativa al 5% para esta variable, resultando los mejores tratamientos el uso del *Glomus cubense* y la combinación de (*Rhizobium etli*) + (*Glomus intraradices*) presentando un promedio de plantas cosechadas superiores a la media general 134.67 y 133.67 respectivamente. Desde el punto de vista del CIAT, 1987 establece que el número de plantas cosechadas está directamente relacionado con la emergencia, el manejo agronómico, las condiciones ambientales existentes y la competencia entre los individuos, todos estos factores en conjunto hacen que el número de plantas cosechadas varíen en relación a la cantidad de semilla que se sembró. De acuerdo con (White, 1985) asocia la cantidad de plantas cosechadas con el rendimiento, pero no puede esperarse que únicamente la cantidad de plantas cosechadas determine el rendimiento de un cultivo, ya que existen otros componentes que determinan éste; tales como vainas por planta, granos por vaina, peso y tamaño del grano; estos componentes no pueden considerarse independientes unos de otros (anexo 1).

Cuadro 19. Análisis de correlación de las variables NPC y rendimiento kg/ha, en ensayo de evaluación de biofertilizantes, cantón Talcomunca, Sonsonate, El Salvador, septiembre – diciembre 2023

Correlación de Pearson			
Variables		p-valor	Pearson
Núm. de Plantas Cosechadas (NPC)	Rendimiento kg/ha	0.0470	0.33

(anexo 7)

7.2. Número de Vainas por Planta (NVP):

En la variedad CENTA Sequia los tratamientos que obtuvieron mayor promedio fueron T2, T4, y T3 con una media de: 20.00 y 17.00 (T3 y T4) vainas. De igual forma con CENTA EAC los tratamientos que mejor promedio obtuvieron son T8, T9 y T10 con medias de 24.00, 20.00 y 18.00 vainas, siendo superior al promedio general. Observando que existió un efecto positivo de los diversos biofertilizantes para ambas variedades, aunque no

significativa, los resultados anteriores tienden a coincidir con los obtenidos por (Reyes Castillo; 2015) en El Salvador durante el año 2014, quién encontró que en la variedad CENTA COSTEÑO 2 el componente que mejor respuesta tuvo a la aplicación de biofertilizantes fue el NVP con valores promedio de 14 vainas. 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. Teniendo en cuenta estudios realizados por (Sánchez Mondragón, 2015) donde el análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas. Las medias obtenidas del análisis muestran que la variedad con mayor número de vainas por planta fue la SEN 52 que obtuvo 16.4 y el menor número para la variedad SJC 730-74 con 7.3 vainas 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. En el año 2011, resultados obtenidos en El Salvador reflejan que la combinación del uso de inoculantes a base de *Rhizobium* + micorriza del género *Glomus*, refleja un efecto positivo en el número de vainas por planta y en el rendimiento utilizando la variedad CENTA PIPIL, superando al tratamiento que utilizó fertilizante químico (Reyes Castillo 2012). Se concuerda con (Johnson et al, 1962), en su estudio de valores de heredabilidad donde menciona que los componentes del rendimiento son caracteres muy variables, siendo los componentes primarios como número de vainas por plantas los más estables. Pinchinat y Adams (1964), comprobaron que entre el número de vainas por planta y el rendimiento en grano existen correlaciones fenotípicas positivas generalmente muy altas. Como señala (White, 1985) que la variable vaina por planta es un componente cuantitativo del rendimiento que difiere entre las variedades, es de baja heredabilidad y, por ser poligénico, es altamente influenciado por el ambiente. Además de diferir entre variedades, los genotipos pueden presentar variaciones, incluso a lo interno de cada variedad (Marini *et al*, 1993). Tomando en cuenta los estudios de (Voyset, 1974) donde declara que un examen más crítico a través del análisis de los coeficientes de causa y efecto (path coefficient analysis) reveló que el componente número de vainas por planta, es el que ejerce la mayor influencia, tanto directa como indirectamente, sobre el rendimiento (anexo 2).

7.3. Número de Granos por Vaina (NGPV)

Según el ANVA para esta variable determino diferencia estadística entre medias al 5% de probabilidad para el factor Parcela Pequeña no así para la interacción. Para los tratamientos con la variedad de frijol CENTA Sequia los que presentaron valores mayores fueron T2 y T3 con medias de 6.00 para ambos superando al testigo con media de 5.33 granos por vaina, inferior al promedio general. En lo que respecta a la variedad CENTA EAC los tratamientos T8 y T9 presentan promedios de 6.67 y 6.33 superando al testigo absoluto (T12) con una media 5.33 granos por vaina. El análisis de correlación (Cuadro 20) para las variables NGPV y REND refleja un valor positivo de $r=0.54$ demostrando un mayor grado de asociación entre ambas variables. Los resultados anteriores difieren a lo expresado por (CENTA-MAG; 2014) quienes manifiestan que la variedad CENTA COSTEÑO 2 presenta un valor promedio de NGPV que oscilan entre 6 y 7. En base a lo anterior podemos afirmar que este componente de rendimiento (NGPV) está asociado a las características agronómicas de cada variedad. Clarel, 1967 menciona que los componentes del rendimiento son caracteres muy variables, siendo el número de granos por vaina el más estable de todos.

Se concuerda con estudios realizados por (Kohashi, 1975) donde encontró que “existe una correlación positiva entre el rendimiento y el número de vainas por planta y número de semillas por vaina” (anexo 3).

Cuadro 20. Análisis de correlación de las variables NGPV y rendimiento kg/ha, en ensayo de evaluación de biofertilizantes, en cantón Talcomuna, Sonsonate, El Salvador, septiembre – diciembre 2023

Correlación de Pearson			
Variables		p-valor	Pearson
Núm. de Granos por Vaina (NGPV)	Rendimiento kg/ha	0.0007	0.54

(anexo 6)

7.4. Rendimiento kg/ha

El rendimiento obtenido es el resultado de la combinación del genotipo, el medio ambiente y el manejo adecuado y efectivo que se le da al cultivo para que este desarrolle su potencial genético de producción (Thung, 1991 y Martínez, 1994).

El análisis de varianza indicó que no existió diferencia estadística para la interacción entre ambos factores (PG x PP); entre los diversos tratamientos, los que fueron mayores a la

media general (1913.33 kg/ha) fueron T2 y T3, siendo el primero quién presentó los mayores valores: 2490.00 kg/ha tratamiento que corresponde al 100% de fertilización química 16-20-0 + sulfato de amonio 21% N y 2380.00 kg/ha esto en la variedad CENTA Sequia superando al T6. Para la variedad de frijol CENTA EAC los tratamientos T8 y T9 demuestran rendimientos de 2600.00 y 2500.00 kg/ha. Es importante considerar que los tratamientos evaluados en la variedad de frijol CENTA EAC reflejan buen rendimiento involucrando la participación del tratamiento que utiliza (*Rhizophagus irregularis*) indicando que las condiciones edáficas donde se realizó el ensayo fueron favorables para ejercer en forma combinada su efecto en el cultivo, esto se confirma al observar los valores de materia orgánica y pH del suelo donde se estableció el ensayo (Cuadro 9), los cuales según (De la Cruz et al; 1988) encontró que existe mejor respuesta en el rendimiento bajo condiciones de suelo que presentan niveles de materia orgánica superiores o iguales a 3.5 y valores de 5.5-6.5 de pH los cuales son considerados ambientes favorables para que las micorrizas colonicen el suelo y mejoren los rendimientos del cultivo. De lo contrario no habrá una respuesta favorable al uso de micorrizas.

Los resultados anteriores son similares a los obtenidos por (Hernández Salido y Batista Sao; 2012) quienes obtuvieron valores de rendimiento de 2.17 t/ha con el cultivar de frijol Velasco largo mediante la fertilización utilizando la cepa de (*Rhizobium phaseoli*) 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 la opinión de (García & Umanzor, 2018) 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, de la translocación de carbohidratos a la semilla y de la interacción de la micorriza con la planta de frijol. Lo anterior es similar a trabajos realizados en este cultivo para el año 2017 por (Borja y Menjívar; 2017) quienes encontraron diferencias estadísticas en el rendimiento con el uso de biofertilizantes en la variedad mejorada de frijol CENTA EAC. Por otra parte (Reyes Castillo, 2015), no encontró diferencia estadística en el rendimiento al evaluar el CENTA Costeño 2, utilizando la referida tecnología y comparándola con otros Hongos Micorrízicos Arbusculares HMA, donde alcanzo valores de 1.8 t/ha, lo anterior se debió al efecto de los tratamientos y las condiciones ambientales donde se evaluó. Agrega (Pinchinat

1964), donde observo que el rendimiento como sus componentes primarios son caracteres muy variables. A lo mencionado por (Rojas, Parodi y Bravo, 1974) que el rendimiento fue efecto causado por el número de vainas, número de granos por vaina y peso de la semilla (anexo 4).

7.5. Análisis económico de Presupuestos Parciales

Cuadro 21. Análisis de dominancia de ensayo de evaluación de biofertilizante a base de micorrizas arbusculares en el cultivo de frijol, cantón Talcomunca, Sonsonate, El Salvador, septiembre – diciembre 2023

Tratamiento	CV (\$/ha)	Rendimiento kg/ha	Rendimiento ajustado/ha ¹	Bb (\$/ha)	BN (\$/ha)	Dominancia
T6	150.15	1340	1206	2680	2529.85	
T12	143	1400	1260	2800	2657	ND
T1	205.15	1600	1440	3200	2994.85	ND
T7	198.00	1540	1386	3080	2882.00	D
T4	233.43	1940	1746	3880	3646.57	ND
T10	226.28	2000	1800	4000	3773.72	ND
T5	249.43	1620	1458	3240	2990.57	D
T11	242.28	1550	1395	3100	2857.72	D
T2	253.72	2490	2241	4980	4726.28	ND
T8	246.57	2600	2340	5200	4953.43	ND
T3	331.43	2380	2142	4760	4428.57	D
T9	324.28	2500	2250	5000	4675.72	ND

Simbología: CV= Costo Variable, Bb= Beneficio bruto, BN= Beneficio Neto, D= Dominados, ND= No Dominados, REND¹ ajustado al 10%, precio de venta= \$100/qg (anexo 8)

Un análisis de dominancia se efectúa, primero, ordenando los tratamientos de menores a mayores totales de 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. Los Costos que Varían son los costos (por hectárea) relacionados con los insumos comprados, la mano de obra y la maquinaria, que varían de un tratamiento a otro (CIMMYT, 1988).

Cuadro 22. Análisis marginal de ensayo de evaluación de biofertilizante a base de micorrizas arbusculares en el cultivo de frijol, en cantón Talcomunca, Sonsonate, El Salvador, Septiembre – diciembre 2023

Tratamientos	Variedades	Combinación	\$/ha				TRM %
			C.V	C.M	B. N	B.N.M	
T12	EAC	Testigo 0% FQ	143		2657.00		
				62.15		337.85	54.36
T1	SEQUIA	100% FQ (16-20-0)	205.15		2994.85		
				28.28		651.72	2,304
T4	SEQUIA	<i>Glomus cubense</i> + 50% FQ	233.43		3646.57		
				7.15		127.15	1,778
T10	EAC	<i>Glomus cubense</i> + 50% FQ	226.28		3773.72		
				27.44		952.56	3,471
T2	SEQUIA	16-20-0 + Sulfato de amonio 21% N	253.72		4726.28		
				7.15		227.15	3,176
T8	EAC	16-20-0 + Sulfato de amonio 21% N	246.57		4953.43		
				77.71		277.71	357
T9	EAC	<i>Rhizophagus irregularis</i> + 50% FQ	324.28		4675.72		

Simbología: C. V= Costos Variables, C.M= Costos Marginales, B. N= Beneficios Netos, B.N.M= Beneficios Netos Marginales, TRM= Tasa de Retorno Marginal

Con base al cuadro 22 las mejores TRM se obtiene por la combinación del uso de la tecnología de fertilización química recomendada por CENTA y las variedades mejoradas de frijol CENTA Sequia CENTA EAC reflejándose una TRM de 3,471, 3,176 % respectivamente; la tecnología de biofertilizantes que presenta una alternativa para pequeños productores y que reporta un Beneficio Neto conforme al presupuesto parcial de 3,773.72/ha después de la fertilización química, es la combinación de *Glomus cubense* + 50% Fertilización química.

6. Conclusiones

Las variedades mejoradas de frijol común grano rojo CENTA SEQUÍA y CENTA EAC respondieron favorablemente a la aplicación de biofertilizantes alcanzando valores promedio de rendimiento 2380 y 2500 kg/ha mediante la combinación de *Rhizophagus irregularis* + 50% de fertilización química recomendada por CENTA.

Las fuentes comerciales de biofertilizantes empleadas a base de *Rhizophagus irregularis*, *Glomus intrarradices* y *Glomus cubense* respondieron favorablemente en el rendimiento de las variedades CENTA SEQUIA y CENTA EAC bajo condiciones edáficas de pH 6.09, contenido de M.O de 3.25, bajo contenido de fosforo y alto de potasio

Los tratamientos que obtuvieron mejor rentabilidad fueron los combinaron el uso de las variedades mejoradas CENTA Sequia y CENTA EAC con la Fertilización química recomendada por CENTA, obteniendo una TRM de 3,471, 3,176 %

Desde el punto de vista económico para el pequeño productor, el tratamiento que utiliza la combinación de *Glomus cubense* + 50% de fertilización química, resulta un tratamiento alternativo a sus condiciones propias, garantizando obtener una media de rendimiento de 1970 kg/ha (30.34 qq/Mz)

7. Recomendaciones

- Considerar para estudios futuros un mayor número de localidades a evaluar.
- El uso de este tipo de tecnologías recomendadas a los productores necesita acompañarse de un fuerte programa de transferencia de tecnología agrícola de los resultados obtenidos en campo.
- Promover a nivel de pequeños productores el uso de biofertilizantes a base de micorrizas por ser de bajo costo y amigables con el ambiente, garantizando el retorno de la inversión realizada.
- En función de los resultados obtenidos del presente estudio y el costo de la fuente de biofertilizante, se recomienda el uso de *Rhizophagus irregularis* + 50% de fertilización inorgánica a productores de semilla de frijol y el uso de *Glomus cubense* + 50% de fertilización inorgánica a pequeños productores de grano.

8. Bibliografía

- Alarcón, A. y Ferrara, R. 2000. Biofertilizantes: importancia y utilización en la agricultura. *Agric. Téc. Méx.* 26:191-203. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342012000600015
- Asociación Cámara Salvadoreña de Pequeños y Medianos Productores Agropecuarios (CAMPO) mayo 2023, Déficit en la producción agrícola provoca altos costos en el mercado. Disponible en: <https://comunica.edu.sv/2023/05/16/deficit-en-la-produccion-agricola-provoca-altos-costos-en-el-mercado/>
- Araya R; Quirós W; Carrillo O; Gutiérrez MV; Murillo A. 2010. Semillas de buena calidad. Plegable. Proyecto FAO: GCP/ RLA/182/SPA. San José, Costa Rica.
- Augé, R. M., Sylvia, D. M., Park, S., Bittery, 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>
- Amezcu Romero, J., & Lara Flores, M. (2017). El zinc en las plantas. *Ciencia*, 68(3), 2835. https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/68_3/PDF/zinc_plantas.pdf
- Aguirre, J. F; Kohashi S, 2002. Dinámica de la colonización micorrizica y su efecto sobre los componentes del rendimiento y contenido de fosforo en frijol común disponible en: https://www.google.com/search?q=Din%C3%A1mica+de+la+colonizaci%C3%B3n+micorrizica+y+su+efecto+sobre+los+componentes+del+rendimiento+y+contenido+de+fosforo+en+frijol+com%C3%BAn&oq=Din%C3%A1mica+de+la+colonizaci%C3%B3n+micorrizica+y+su+efecto+sobre+los+componentes+del+rendimiento+y+contenido+de+fosforo+en+frijol+com%C3%BAn+&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOdIBCjIyNjM2ajBqMTWoAgCwAgA&sourceid=chrome&ie=UTF-8
- Aguirre, J. F; Kohashi S, 2002. Dinámica de la colonización micorrizica y su efecto sobre los componentes del rendimiento y contenido de fosforo en frijol común.
- Alarcón, A. y Ferrera-Cerrato, R. 2000. Biofertilizantes: importancia y utilización en la agricultura. *Agricultura Técnica en México*, vol. 26, no. 2, p. 191-203.
- Acuña, O. y Uribe, L. 1996. Inoculación del frijol común con tres cepas seleccionadas de *Rhizobium leguminosarum bv phaseoli*. In. *Agron. Mesoam.* 7(1):35-40.

- Anand, W. D. y Weber, C. R. Heritable and non-heritable relation-shps and variability of agronomic characters in successive generations of soybean crosses. Agron. Jour. 44:487-493. 1952. Disponible en: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://repositorio.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/1702/Estimacion_de_la_hereditabilidad_del_rendimiento.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bonfante, P. Plants, mycorrhizal fungi and Endo bacteria: a dialog among cells and genomes. Biol. Bull. 204, 215-220 (2003). Disponible en: <https://www.biodiversitylibrary.org/partpdf/9240>
- Baudet L; Peske S. 2005. Semillas: ciencia y tecnología. Universidad Federal de Pelotas, Brasil. ISBN 85-7192-292-6. 345 p.
- 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>
- Buscher, M. 2007. Functional biology of plant phosphate uptake at root and mycorrhiza interfaces. New Phytologist, vol. 173, p. 11-26.
- Borja Melara, C.A. y Menjívar Silis, A. G. 2017. Uso de biofertilizantes en el cultivo de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en El Salvador. Documento No publicado CENTA-MAG, El Salvador, 2016 9p.
- CENTA, 2008. Guía técnica para el manejo de las variedades de frijol. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/99348248/2011-CENTA-Guia-Tecnica-para-el-Manejo-de-las-Variedades-de-Frijol>
- CENTA, 2018. Guía técnica cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) disponible en: <https://www.centa.gob.sv/download/guia-tecnica-cultivo-de-frijol/>
- CENTA, 2015. Boletín técnico frijol CENTA EAC. Disponible en: <https://www.centa.gob.sv/download/boletin-tecnico-cultivo-de-frijol-centa-eac/>

- CENTA, 2016. Proyecto: “Biofertilizantes en el cultivo de maíz, frijol y café como alternativa agroecológica para una producción sostenible en El Salvador. Pág. 1
- CENTA, 2020. Boletín técnico frijol CENTA SEQUIA. Disponible en: <https://www.centa.gob.sv/download/boletin-tecnico-cultivo-de-frijol-centa-sequia/>
- CENTA, 1992. Guía técnica cultivo de frijol. Programa de Granos Básicos. 40p
- CIAT, 1985 (Centro Internacional de Agricultura Tropical). Frijol: Investigación y Producción. pág. 9. Disponible en: <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/77975>
- CIAT, 1985 (Centro Internacional de Agricultura Tropical) etapas de desarrollo de la planta de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) pág. 3. Disponible en: http://ciatlibrary.ciat.cgiar.org/ciat_digital/CIAT/28093.pdf
- CRS, 2020 (Catholic Relief Services) los rastrojos, una cobertura para proteger el suelo. Disponible en: <https://asa.crs.org/2020/07/los-rastrojos-una-cobertura-para-proteger-el-suelo/>
- C. R. Salamanca, M. del R. Silva H, Villavicencio 1998. Las micorrizas como alternativa para el manejo sostenible de los agroecosistemas tropicales. Disponible en: https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/15957/39930_24483.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Cândido da Silva, C. 2005. Cultivo do Feijão Irrigado na Região Noroeste de Minas Gerais: produção de sementes (en línea). Consultado el 17 agosto 2012. Disponible en <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoIrrigadoNoroesteMG/autores.htm#corival>.
- 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>. Citado por: Polanco Nonori, F. Vanegas, M, 2023. Efecto de la inoculación con rizobios y micorrizas sobre el crecimiento, rendimiento y la rentabilidad del cultivo de frijol común (*Phaseolus vulgaris*), Sabana Grande, Managua, tesis para optar al grado de Ingeniero Agrónomo.

- 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. https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=micorrizas+en+frijol+comun+&oq= Citado por: Polanco Nonori, F. Vanegas, M, 2023. Efecto de la inoculación con rizobios y micorrizas sobre el crecimiento, rendimiento y la rentabilidad del cultivo de frijol común (*Phaseolus vulgaris*), Sabana Grande, Managua, tesis para optar al grado de Ingeniero Agrónomo.
- CATIE, 2002. Bioplaguicidas.org es un proyecto del CATIE y de la GTZ. Consultado en septiembre de 2003 (en línea). Disponible en: <http://www.bioplaguicidas.org/CostaRicaJBiofertilizantes/indexbf.htm>. Citado por: Minero, J.A, 2003. Evaluación de métodos de inoculación de maíz y frijol con micorrizas. Tesis para optar al grado de Ingeniero Agrónomo, Escuela Agrícola Panamericana.
- Corbera, J. 1998. Inoculación *Bradyrhizobium japonicum*_ micorriza vesículo-arbuscular como fuente alternativa de fertilización para el cultivo de la soya. *Cultivos Tropicales* 19(1): 17-20. 70p.
- Carrera, M.; Sánchez-Yáñez, J. M. y Peña, J. J. 2004. Nodulación natural en leguminosas silvestres del Estado de Nuevo León (en preparación).
- Cuadrado, B. et al. 2009. Caracterización de cepas de *Rhizobium* y *Bradyrhizobium* (con habilidad de inoculación) seleccionados en los cultivos de frijol caupí (*Vigna unguiculata*) como potenciales bioinóculos. In. *Rev colombiana Cienc Quim Farm.* 38(1):78-104.
- Clarel. 1967. Estimación de la hereditabilidad del rendimiento y sus componentes primarios en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) correlaciones fenotípicas y genotípicas entre estos caracteres. Turrialba. Costa Rica. Tesis maestría en genética vegetal y Fito mejoramiento. Disponible en: http://201.207.189.89/bitstream/handle/11554/1702/Estimacion_de_la_hereditabilidad_del_rendimiento.pdf?sequence=1&isAllowed=y (Consultado 13 feb. 2024)
- Chemonics, 2011. Manual de Buenas Prácticas Agrícolas, El Salvador. 8-15 p.

- Cristales, Félix Rodolfo. Ensayos de adaptación y rendimiento de seis variedades de frijol en la zona Occidental de El Salvador. En: Reunión del PCCMCA. Antigua Guatemala, 1970. P. 34.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 1987. Sistema estándar para la evaluación de germoplasma de frijol. Aart van Schoonhoven y Marcial A. Pastor-Corrales (comps.). Cali, Colombia. 56 pp.
- CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo). 1988, La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: manual metodológico de evaluación económica. México D.F., México 30 p. (Consultado el 20 febrero 2024).
- DGEA (Dirección General de Economía Agropecuaria). 2023. Anuario de Estadísticas Agropecuarias 2022-2023. Ministerio de Agricultura y Ganadería. La Libertad, El Salvador. Disponible en: <https://www.mag.gob.sv/anuarios-de-estadisticas-agropecuarias/>
- Dreyer, Beatriz; 2007. La investigación de las micorrizas en El Salvador: una versión para el desarrollo de la agricultura. Volumen 12 No. 16 (CONACYT). Disponible en: <http://hdl.handle.net/10972/2346>
- De la Cruz, R. E. et al. 1988. Growth of three legume trees inoculated with VA mycorrhizal fungi and Rhizobium. In. Plantad Soil. 108:111-115.
- Díaz, Arévalo, 2018. Memoria de informes de resultados de ensayos y validaciones de investigaciones año 2018. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal CENTA. El Salvador. 162 p.
- Expansión, 2012. EL FRIJOL ES DE ORIGEN MEXICANO». México. Consultado el 25 de abril de 2023. Disponible en: <https://expansion.mx/salud/2012/03/06/el-frijol-es-de-origen-mexicano-no-andino-segun-investigadores>
- Ennen, R.D. 2011. Earlier harvest and drying of soybean seed within intact pods maintains seed quality (en línea). Consultado el 16 de abril de 2024. Disponible en

<http://lib.dr.iastate.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1034&context=etd&seiredir=1&referer=http%3A%2F%2F>

FAO, Beneficios Nutricionales de las legumbres. Dia mundial de las legumbres, 2021. Publicado en: <https://www.fao.org/3/i5384s/i5384s.pdf>

FAO, El Salvador. Familias productoras del oriente de El Salvador comercializarán grano de frijol en nuevos mercados institucionales, 2020 disponible en: <https://www.fao.org/elsalvador/noticias/detail-events/es/c/1261300/>

Faria Vieira R; Vieira C; Ramos JS de O. 1993. Producao de sementes de feijao. Empresa de Pesquisa Agropecuaria de Minas Gerais (EPAMIG). Vicosa, Rio de Janeiro, Brasil. 131 p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2012. Manual de manejo postcosecha del grano (en línea). Viale del le Terme di Caracalla 00100 Roma, Italia. Consultado el 28 octubre de 2023. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/X5027S/x5027S00.htm#Contents>.

Ferguson, J. 1995. An introduction to seed vigour testing. In H.A. Vander Venter (ed.) Proc. International Seed Testing Association (ISTA) Pre-Congr. Seminar on Seed Pathology, Copenhagen, Denmark. 6 June 1995. Int. Seed Testing Assoc., Bassersdorf, Switzerland: International Seed Testing Association, 1995. p. 1-9.

Grageda-Cabrera, O. A.; Esparza-García, F. and Peña-Cabriales, J. J. 2000. Environmental impact of nitrogen fertilizers in the region known as "Bajío" in México. 45-54 pp. In: Sánchez G. and Olguín G. (Eds.). Environmental biotechnology and cleener processes. Taylor and Francis, London, U. K

Guzmán González, S y Farías Larios, J. Biología y regulación molecular de la micorriza arbuscular. Avances en Investigación Agropecuaria 9, 17-31 (2005). Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/837/83790202.pdf>

- García, J., & Umanzor, 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/>
- González, M. 1995. Interacción de la simbiosis Endomicorrícica y la fijación biológica de Nitrógeno.p.166-179 In Agromicrobiología: Elemento útil en la agricultura sustentable. Eds. Ferrera-Cerrato, R., Pérez-Moreno. PROEDAF, IRN, CP. Montecillo, México. Citado por: Sáenz Chauca, V.L, 2002. Tesis para optar al grado de Ingeniero Agrónomo; Escuela Agrícola Panamericana, Honduras. Consultado 29/01/2024. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/items/7859d8ca-4349-4b3b-9367-0aaf2bf1d834>
- Harinikumar, K. y Bagyaraj, D. 1989. Effects of cropping sequence, fertilizers and farmyard manure on vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in different crops over three consecutive seasons. *Biology and Fertility of Soils*, vol. 7, p. 175-182.
- Hayman, D. y Stovold, G. 1979. Spore populations and infectivity of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in new South Wales. *Australian Journal Botany*, vol. 27, p. 227-233.
- Hernández Salido, L. y Batista Sao, J.L. Efecto de Rhizobium en el rendimiento del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en la CCS Sabino Pupo del Municipio de Manatí. Universidad Municipal de Manatí. Manatí, Cuba 22p.
- Johansen, A. y Jensen, E.S. 1996. Transfer of N and P from intact or decomposing roots of pea to barley interconnected by an arbuscular mycorrhizal fungus. *Soil Biology & Biochemistry*, vol. 28, no. 1, p. 73-81.
- Jong-Soo, J. et al. 2003. Plant Growth Promotion in Soil by Some Inoculated Microorganisms. In. REBIOL 2012; (32)1: p 40-103.
- Johson, H. W, y Bernard, R. L. soybeans genetics and breeding. *Advances in agronomy* 14:149-218. 1962.

- Kohashi, S. Estudios de los componentes del rendimiento en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). En: Cartas de la ALCA. Venezuela No. 70:4. 1975. Disponible en: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_0202.pdf (consultado 14 feb. 2024).
- 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.
- Leblanc, H. et al. 2012. Evaluación del uso de micorrizas arbusculares para disminuir la aplicación de fertilizantes fosforados en el cultivo de maíz. Universidad EARTH, Costa Rica. Consultado 07 febrero 2024. Disponible en: https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=uso+de+micorrizas+con+fertilizantes+quimicos&oq=uso+de+micorrizas+con+fertilizantes+q
- Muñoz, G. et al. 1993 Descriptores varietales: Arroz, frijol, maíz, sorgo. CIAT. Cali, Colombia p.62. Disponible en: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://ciatlibrary.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/descriptores_varietales.pdf
- Marini, D. Vega, I. y Maggionini, L. 1993. Genética agraria. UNA. Managua, NI. p 346.
- Martínez, F. 1994. Evaluación de 20 variedades criollas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) recolectadas en Nicaragua. Tesis. Ing. Agr. Managua, NI. Universidad Nacional Agraria. p 47.
- Noda, Yolaí, 2009. ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN. Las Micorrizas: Una alternativa de fertilización ecológica en los pastos. Pastos y Forrajes v.32 n.2 Matanzas abr.-jun. 2009. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942009000200001

Nigoul, M. 2006. Fundación de la materia orgánica en el suelo. Buenos Aires. Argentina
<http://www.manualdelombricultura.com/faro/mensajes/11880.html>.
(Consultado el 14 de febrero 2024).

Ortiz, B. y Ortiz, C. 1980. Edafología. 3ª ed. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. De Mex., México. 307p. disponible en: https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=micorrizas+en+frijol+comun+&btnG=. Citado por: Aguirre Medina, J.F; Kohashi-Shibata, J. Dinámica de la colonización micorrízica y su efecto sobre los componentes del rendimiento y contenido de fosforo en frijol común.

Ochoa, S. y Sambrano, G. 2009. Efecto de la inoculación de hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA) sobre la absorción de nutrientes en banano y su relación con el nematodo *Radopholus similis* [Proyecto de Graduación Lic. Ing. Agr.]. Guácimo (CR): Universidad EARTH. 17 p.

Pozo y C. Azcón-Aguilar. Curr. Opin. Plant Biol. 10, 393(2007). Desentrañar la resistencia inducida por micorrizas. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17658291/>

Porter, D. y Beute, M. 1972. Endogone species in roots of Virginia type peanuts. Phytopathology, vol. 62, p. 783-789.

Pinchinat, A. M. Recurrent intercrossing coupled with neutron irradiation as a means of increasing genetic variability in navy beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Ph. D. Thesis. East Lansing, Michigan. Michigan State University, 1964. 57p.

Rosas, J. C, agosto 2003. El cultivo de frijol común en América tropical. Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, Honduras Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/91694ffc-ed4c-40afb278-bae70644eb01/content>

Red SICTA El Proyecto Red de Innovación Agrícola, conocido como Red SICTA, es una iniciativa conjunta de la Cooperación Suiza en América Central y del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)., 2010. Guía de campo para la identificación y manejo integrado de plagas del frijol en América central. Disponible en: <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/11342/BVE20087977e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Red SICTA El Proyecto Red de Innovación Agrícola, conocido como Red SICTA, es una iniciativa conjunta de la Cooperación Suiza en América Central y del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)., 2010. Guía técnica para el cultivo del frijol. Boaco, Santa Lucia, Nicaragua. Disponible en: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://repiica.iica.int/DOCS/B2170E/B2170E.PDF>

Red SICTA, 2009. Guía técnica para el cultivo de frijol, en los municipios de Santa Lucia, teustepe y San Lorenzo del dpto. De Boaco Nicaragua Financiado por: IICA-RED SICTA-COSUDE Proyecto: Innovaciones para mejorar la competitividad de la cadena agroindustrial de granos y semillas de frijol de los socios de ASOPROL. Disponible en: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://repiica.iica.int/DOCS/B2170E/B2170E.PDF>

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/>

Reyes Castillo, C. H. 2015. Evaluación del uso de biofertilizantes en el cultivo de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en El Salvador, 2014. In. Memoria 60^a Reunión Anual del PCCMCA, Guatemala.

Reyes Castillo, C. H. 2012. Validación del uso de inoculantes a base de *Rhizobium etli* en la fertilización del cultivo de frijol común. Documento No publicado. CENTA-MAG. El Salvador, C. A. 7p.

- Reyes Castillo, C. H. 2016. Validación de un paquete tecnológico orgánico para la producción de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en El Salvador. 2015 documento No publicado CENTA-MAG. El Salvador, C.A. 9p.
- Reyes Castillo, C.H. 2014. Evaluación del uso de biofertilizantes en el cultivo de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) en El Salvador. 2014 documento No publicado CENTA-MAG. El Salvador, C.A.
- Ross, P.J. 1971. Effect of phosphate fertilization on yield of mycorrhizal and nonmycorrhizal soybeans. *Phytopathol.* 61 (12): 1400-1403. Disponible en: https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=micorrizas+en+frijol+comun+&btnG=. Citado por: Aguirre Medina, J.F; Kohashi-Shibata, J. Dinámica de la colonización micorrízica y su efecto sobre los componentes del rendimiento y contenido de fosforo en frijol común.
- Smith, S. E. y Read, D. J. *Mycorrhizal Symbiosis* 3.a ed. isbn: 9780123705266 (Elsevier, 2008).
- Symborg, 2023. ¿Cómo te ayudan las micorrizas a aumentar el rendimiento de tus cultivos? consultado el 16 enero 2024 disponible en: <https://symborg.com/es/actualidad/como-te-ayudan-las-micorrizas-a-aumentar-el-rendimiento-de-tus-cultivos/>
- Saif, R.S. and Khan, A.G. 1977. The effect of vesicular-arbuscular mycorrhizal associations on growth of cereals. III. Effect on barley growth. *Plant and Soil* 47(1): 17-26. Disponible en https://scholar.google.es/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=micorrizas+en+frijol+comun+&btnG= citado por: Aguirre Medina, J.F; Kohashi-Shibata, J. Dinamica de la colonización micorrízica y su efecto sobre los componentes del rendimiento y contenido de fosforo en frijol común.
- Sigüenza, Zúniga, 2021. Resultados de ensayos de investigación y validaciones año 2020. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal CENTA. El Salvador. 33 p.
- Sánchez, Mondragón, tesis para optar al grado de ingeniero agrónomo: Evaluación de quince genotipos de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.), en El Plan San Isidro

- Matagalpa, primera 2013. Universidad Nacional Agraria, Facultad de agronomía, departamento de producción vegetal. Disponible en: <https://repositorio.una.edu.ni/3249/>
- Thung, M. 1991. Bean Agronomy in Monoculture. In. Common Beans: Research for Crop improvement. CIAT. Cali, CO. 737 –816 p.
- UES (Universidad de El Salvador), 2013. Incidencia del bocashi, gallinaza y combinación con fertilizantes químicos en la mejora de la fertilidad del suelo y en los rendimientos de maíz (*Zea mays L.*), San Juan Opico, La Libertad, El Salvador.
- Voyset, O. Análisis de correlación de los componentes de rendimiento en frijol *Phaseolus vulgaris L.* Carta de ALCA, Venezuela No. 67:4. 1974. Disponible en:
[Chromeextension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_0202.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_0202.pdf)
- Wright, S. F. y Upadhyaya, A. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. Plant and Soil 198, 97-107 (1998).
- White, J. 1985. Conceptos Básicos de la Fisiología del Frijol. En: Frijol Investigación y Producción. CIAT. Editorial XYZ. Cali, CO. 43 – 60 p.
- Zelada, L.I, 2010. La producción y comercialización de frijol en El Salvador. Publicado en revista El Salvador coyuntura económica cuarta época año 1, No.3 Instituto de investigaciones económicas (INVE) Facultad de Ciencias Económicas, Universidad El Salvador.

9. Anexos

Anexo 1: Análisis de varianza para la interacción PG x PP para la variable número de plantas cosechadas (NPC)

Variable No. De plantas cosechadas (NPC)		
Genotipo	Tratamiento	Media
CENTA Sequia	16-20-0 + Sulfato de amonio 21% N	94.00
	Mycogel + 50% FQ	92.00
	Bioamigo + 50% FQ	90.00
	100% FQ (16-20-0)	90.00
	Testigo 0% FQ	90.00
	Micorrizafer + 50% FQ	88.00
	16-20-0 + Sulfato de amonio 21% N	96.00
CENTA EAC	Mycogel + 50% FQ	94.00
	Bioamigo + 50% FQ	92.00
	Micorrizafer + 50% FQ	91.00
	Testigo 0% FQ	90.00
	100% FQ (16-20-0)	88.00
Significancia		NS
Promedio		91.25

Promedio Parcela Grande para la variable NPC

VARIEDAD	PG	MEDIAS
EAC	2	91.83
SEQUIA	1	90.67

Promedio Parcela Pequeña NPC

PP	MEDIAS
2	95.00
3	93.00
4	91.00
6	90.00
5	89.50
1	89.00

Anexo 2: ANVA para la variable número de vainas por planta (NVP)

Variable No. De vainas por planta (NVP)		
Genotipo	Tratamiento	Media
CENTA Sequia	16-20-0 + Sulfato de amonio 21% N	20.00
	Bioamigo + 50% FQ	17.00
	Mycogel + 50% FQ	17.00
	Micorrizafer + 50% FQ	16.00
	Testigo 0% FQ	14.00
	100% FQ (16-20-0)	11.33
CENTA EAC	16-20-0 + Sulfato de amonio 21% N	24.00
	Mycogel + 50% FQ	20.00
	Bioamigo + 50% FQ	18.00
	100% FQ (16-20-0)	18.00
	Micorrizafer + 50% FQ	14.00
	Testigo 0% FQ	12.00
Significancia		NS
Promedio		16.78

Promedio Parcela Grande para la variable NVP

VARIEDAD	PG	MEDIAS
EAC	2	17.67
SEQUIA	1	15.89

Promedio Parcela Pequeña para la variable NVP

PP	MEDIAS	
2	22.00	A
3	18.50	A B
4	17.50	B
5	15.00	B C
1	14.67	B C
6	13.00	C

Anexo 3: Análisis de varianza para la variable número de granos por vaina (NGPV)

Variable No. Número granos por vaina (NGPV)		
Genotipo	Tratamiento	Media
CENTA Sequia	16-20-0 + Sulfato de amonio 21% N	6.00
	Mycogel + 50% FQ	6.00
	Bioamigo + 50% FQ	5.67
	Micorrizafer + 50% FQ	5.67
	100% FQ (16-20-0)	5.33
	Testigo 0% FQ	5.33
CENTA EAC	16-20-0 + Sulfato de amonio 21% N	6.67
	Mycogel + 50% FQ	6.33
	Micorrizafer + 50% FQ	5.67
	Bioamigo + 50% FQ	5.67
	100% FQ (16-20-0)	5.33
	Testigo 0% FQ	5.33
Significancia		*
Promedio		5.75

Promedio Parcela Grande para la variable NGPV

VARIEDAD	PG	MEDIAS
EAC	2	5.83
SEQUIA	1	5.67

Promedio Parcela Pequeña para la variable NGPV

PP	MEDIAS	
2	6.33	A
3	6.17	A B
5	5.67	B C
4	5.67	B C
6	5.33	C
1	5.33	C

Anexo 4: Análisis de varianza para la variable rendimiento kg/ha

Variable Rendimiento Kg/ha		
Genotipo	Tratamiento	Media
CENTA SEQUIA	16-20-0 + Sulfato de amonio 21% N	2490.00
	Mycogel + 50% FQ	2380.00
	Bioamigo + 50% FQ	1940.00
	Micorrizafer + 50% FQ	1620.00
	100% FQ (16-20-0)	1600.00
	Testigo 0% FQ	1340.00
CENTA EAC	16-20-0 + Sulfato de amonio 21% N	2600.00
	Mycogel + 50% FQ	2500.00
	Bioamigo + 50% FQ	2000.00
	Micorrizafer + 50% FQ	1550.00
	100% FQ (16-20-0)	1540.00
	Testigo 0% FQ	1400.00
Significancia		NS
Promedio		1913.33

Promedio Parcela Grande para la variable Rendimiento kg/ha

VARIEDAD	PG	MEDIAS
EAC	2	1931
SEQUIA	1	1895

Promedio Parcela Pequeña para la variable Rendimiento kg/ha

PP	MEDIAS	
2	2545	A
3	2440	A
4	1970	B
5	1585	C
1	1570	C
6	1370	D

Anexo 5: Análisis de Varianza para las variables NPC, NVP, NGPV, rendimiento kg/ha y correlaciones. Según programa estadístico InfoStat 2020

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.000_Num.Plantas.Cosechadas.NPC_REML<-lme (Num.Plantas.Cosechadas.NPC~1+PG+PP+PG:PP
,random=list (Bloque=pdIdent (~1)
,PG=pdIdent (~1))
,method="REML"
,control=lmeControl (niterEM=150
,msMaxIter=200)
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data00
,keep.data=FALSE)
```

Resultados para el modelo: mlm.modelo.000_Num.Plantas.Cosechadas.NPC_REML

Variable dependiente: Núm. Plantas/ Cosechadas (NPC)

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2 0	R2 1	R2 2
36	197.91	215.58	-83.95	5.85	0.18	0.18	0.31

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	20	5585.52	<0.0001
PG	1	2	0.23	0.6799
PP	5	20	0.94	0.4760
PG:PP	5	20	0.15	0.9785

PG Medias E.E.

2	91.83	1.73
1	90.67	1.73

PP Medias E.E.

2	95.00	2.50
3	93.00	2.50
4	91.00	2.50
6	90.00	2.50
5	89.50	2.50
1	89.00	2.50

PG PP Medias E.E.

2	2	96.00	3.54
1	2	94.00	3.54
2	3	94.00	3.54
1	3	92.00	3.54
2	4	92.00	3.54
2	5	91.00	3.54
1	6	90.00	3.54
1	4	90.00	3.54
1	1	90.00	3.54
2	6	90.00	3.54
1	5	88.00	3.54
2	1	88.00	3.54

Parámetros de los efectos aleatorios

Modelo de covarianzas de los efectos aleatorios: pdIdent

Formula: ~1 | Bloque

Desvíos estándares y correlaciones

	(Intercept)
(Intercept)	2.1E-04

Modelo de covarianzas de los efectos aleatorios: pdIdent

Formula: ~1 | PG dentro de Bloque
 Desvíos estándares y correlaciones

	(Intercept)
(Intercept)	1.80

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.001_Num.de.Vainas.Planta.NVP_REML<-lme(Num.de.Vainas.Planta.NVP~1+PG+PP+PG:PP
,random=list(Bloque=pdIdent(~1)
,PG=pdIdent(~1))
,method="REML"
,control=lmeControl(niterEM=150
,msMaxIter=200)
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data00
,keep.data=FALSE)
```

Resultados para el modelo: mlm.modelo.001_Num.de.Vainas.Planta.NVP_REML

Variable dependiente: Núm de Vainas/ Planta (NVP)

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2_0	R2_1	R2_2
36	170.31	187.98	-70.15	3.41	0.61	0.61	0.61

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	20	836.73	<0.0001
PG	1	2	2.44	0.2587
PP	5	20	5.42	0.0026
PG:PP	5	20	1.53	0.2251

PG	Medias	E.E.
2	17.67	0.81
1	15.89	0.81

Num.de.Vainas.Planta.NVP - Medias ajustadas y errores estándares para PP

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

PP	Medias	E.E.	
2	22.00	1.40	A
3	18.50	1.40	A B
4	17.50	1.40	B
5	15.00	1.40	B C
1	14.67	1.40	B C
6	13.00	1.40	C

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

PG	PP	Medias	E.E.
2	2	24.00	1.97
1	2	20.00	1.97
2	3	20.00	1.97
2	4	18.00	1.97
2	1	18.00	1.97
1	4	17.00	1.97
1	3	17.00	1.97
1	5	16.00	1.97
1	6	14.00	1.97
2	5	14.00	1.97
2	6	12.00	1.97
1	1	11.33	1.97

Parámetros de los efectos aleatorios

Modelo de covarianzas de los efectos aleatorios: pdIdent

Formula: ~1 | Bloque

Desvíos estándares y correlaciones

	(Intercept)
(Intercept)	0.19

Modelo de covarianzas de los efectos aleatorios: pdIdent

Formula: ~1 | PG dentro de Bloque

Desvíos estándares y correlaciones

	(Intercept)
(Intercept)	9.2E-04

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.002 Num.Granos.Vaina.NGPV_REML<-lme (Num.Granos.Vaina.NGPV~1+PG+PP+PG:PP
,random=list (Bloque=pdIdent (~1)
,PG=pdIdent (~1))
,method="REML"
,control=lmeControl (niterEM=150
,msMaxIter=200)
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data00
,keep.data=FALSE)
```

Resultados para el modelo: mlm.modelo.002_Num.Granos.Vaina.NGPV_REML

Variable dependiente: Núm Granos/Vaina (NGPV)

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2 0	R2 1	R2 2
36	80.55	98.22	-25.27	0.53	0.48	0.48	0.48

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	20	4284.90	<0.0001
PG	1	2	0.90	0.4429
PP	5	20	3.78	0.0143
PG:PP	5	20	0.42	0.8293

PG	Medias	E.E.
2	5.83	0.12
1	5.67	0.12

Num.Granos.Vaina.NGPV - Medias ajustadas y errores estándares para PP

LSD Fisher (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

PP	Medias	E.E.	
2	6.33	0.22	A
3	6.17	0.22	A B
5	5.67	0.22	B C
4	5.67	0.22	B C
6	5.33	0.22	C
1	5.33	0.22	C

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

PG	PP	Medias	E.E.
2	2	6.67	0.30
2	3	6.33	0.30
1	2	6.00	0.30
1	3	6.00	0.30
2	5	5.67	0.30
2	4	5.67	0.30
1	4	5.67	0.30
1	5	5.67	0.30
2	1	5.33	0.30
2	6	5.33	0.30
1	6	5.33	0.30
1	1	5.33	0.30

Parámetros de los efectos aleatorios

Modelo de covarianzas de los efectos aleatorios: pdIdent

Formula: ~1 | Bloque

Desvíos estándares y correlaciones

	(Intercept)
(Intercept)	9.2E-06

Modelo de covarianzas de los efectos aleatorios: pdIdent

Formula: ~1 | PG dentro de Bloque
Desvíos estándares y correlaciones

(Intercept)	
(Intercept)	4.5E-08

Especificación del modelo en R

```
mlm.modelo.003_Rendimiento.kg.ha_REML<-lme(Rendimiento.kg.ha~1+PG+PP+PG:PP
,random=list(Bloque=pdIdent(~1)
,PG=pdIdent(~1))
,method="REML"
,control=lmeControl(niterEM=150
,msMaxIter=200)
,na.action=na.omit
,data=mlm.modeloR.data00
,keep.data=FALSE)
```

Resultados para el modelo: mlm.modelo.003_Rendimiento.kg.ha_REML
Variable dependiente: Rendimiento kg/ha

Medidas de ajuste del modelo

n	AIC	BIC	logLik	Sigma	R2	0	R2	1	R2	2
36	353.54	371.21	-161.77	154.74	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	20	4879.53	<0.0001
PG	1	2	0.51	0.5509
PP	5	20	60.16	<0.0001
PG:PP	5	20	0.43	0.8239

PG	Medias	E.E.
2	1931.67	37.62
1	1895.00	37.62

Rendimiento.kg.ha - Medias ajustadas y errores estándares para PP
LSD Fisher (Alfa=0.05)
Procedimiento de corrección de p-valores: No

PP	Medias	E.E.	
2	2545.00	63.84	A
3	2440.00	63.84	A
4	1970.00	63.84	B
5	1585.00	63.84	C
1	1570.00	63.84	C
6	1370.00	63.84	D

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

PG	PP	Medias	E.E.
2	2	2600.00	89.81
2	3	2500.00	89.81
1	2	2490.00	89.81
1	3	2380.00	89.81
2	4	2000.00	89.81
1	4	1940.00	89.81
1	5	1620.00	89.81
1	1	1600.00	89.81
2	5	1550.00	89.81
2	1	1540.00	89.81
2	6	1400.00	89.81
1	6	1340.00	89.81

Parámetros de los efectos aleatorios

Modelo de covarianzas de los efectos aleatorios: pdIdent
Formula: ~1 | Bloque
Desvíos estándares y correlaciones

(Intercept)	
(Intercept)	15.98

Modelo de covarianzas de los efectos aleatorios: pdIdent

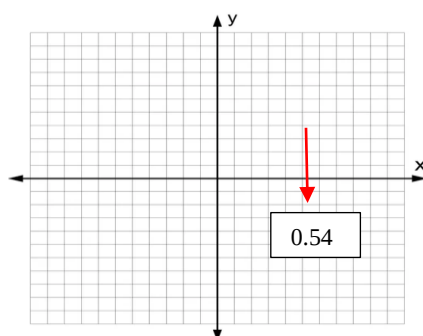
Formula: ~1 | PG dentro de Bloque
Desvíos estándares y correlaciones

(Intercept)	
(Intercept)	0.03

Anexo 6: Coeficiente de correlación para la variable Numero de Granos por Vaina/ Rendimiento kg/ha

Correlación de Pearson

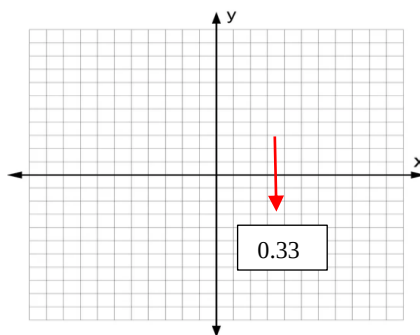
Variable (1)	Variable (2)	n	Pearson	p-valor
Núm. Granos/Vaina (NGPV)	Rendimiento kg/ha	36	0.54	0.0007



Anexo 7: Coeficiente de correlación para la variable Numero de Plantas Cosechadas/Rendimiento kg/ha

Correlación de Pearson

Variable (1)	Variable (2)	n	Pearson	p-valor
Núm. Plantas/Cosechadas (NPC)	Rendimiento kg/ha	36	0.33	0.0470



Anexo 8: Calculo de costo variable, análisis de dominancia para presupuesto parcial del ensayo de uso de biofertilizantes, cantón Talcomunca, Sonsonate, El Salvador septiembre – diciembre 2023.

Tratamientos	Variedad	C/V (\$/ha) insumos	Precio de semilla(\$/ha)	C/V M.O (\$/ha)	C/V Total (\$/ha)
T6	SEQUIA	0	150.15	0.00	150.15
T12	EAC	0	143	0.00	143.00
T1	SEQUIA	40	150.15	15.00	205.15
T7	EAC	40	143	15.00	198.00
T4	SEQUIA	68.28	150.15	15.00	233.43
T10	EAC	68.28	143	15.00	226.28
T5	SEQUIA	84.28	150.15	15.00	249.43
T11	EAC	84.28	143	15.00	242.28
T2	SEQUIA	88.57	150.15	15.00	253.72
T8	EAC	88.57	143	15.00	246.57
T3	SEQUIA	166.28	150.15	15.00	331.43
T9	EAC	166.28	143	15.00	324.28

Donde CV= Costo Variable, M. O= Mano de Obra; por 4 horas laborales, la cantidad de semilla utilizada de ambas variedades por hectárea fue de 1.43 quintales

Anexo 9: Diseño del libro de campo que se utilizó para la toma de datos, del ensayo de evaluación de biofertilizantes, El Salvador 2023

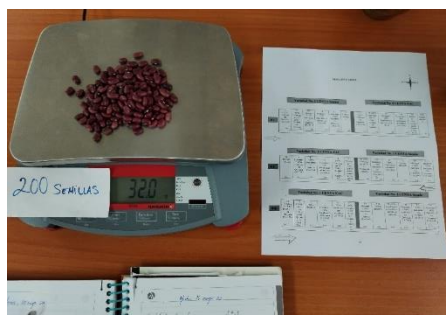
Evaluación de biofertilizantes a base de micorrizas arbusculares como complemento al fertilizante inorgánico (16-20-0) en diferentes porcentajes en las variedades de frijol CENTA Sequia y CENTA EAC.						
Responsable del ensayo:						
Fecha de siembra:						
Fecha de toma de datos						
		Variables				Observaciones
No.	No. De código Tratamiento	NPC	NVP	GPV	Rendimiento Kg/ha	
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						

Dónde: **NPC**= Numero de plantas cosechadas, **NVP**= Numero de vainas por planta **NGPV**=Numero de granos por vaina.

Anexo 10: Selección del área de siembra y preparación del terreno



Anexo 11: Preparación de sobres con semillas según variedad y tratamientos evaluados en ensayo



Anexo 12: Inoculación de la semilla de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) con los tratamientos evaluados



Anexo 13: Delimitación del área para ensayo y siembra



Anexo 14: Seguimiento a ensayo emergencia de la semilla uniforme, control de plagas y malezas



Anexo 15: Desarrollo vegetativo del cultivo y vista de los bloques que conformaron el ensayo



Anexo 16: Beneficios de las micorrizas en las plantas



Anexo 17: Simbiosis entre una planta y una micorriza

