

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN GERENCIA AGRÍCOLA

EFEECTO DE LA APLICACIÓN DE MICROORGANISMOS AL SUELO, EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE EJOTE FRANCÉS; SAN ANDRÉS SEMETABAJ, SOLOLÁ.

PROYECTO DE GRADO

JOGLY MISSAEL CUY SACUJ

CARNET 16074-11

QUETZALTENANGO, ABRIL DE 2021
CAMPUS DE QUETZALTENANGO

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN GERENCIA AGRÍCOLA

EFEECTO DE LA APLICACIÓN DE MICROORGANISMOS AL SUELO, EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE EJOTE FRANCÉS; SAN ANDRÉS SEMETABAJ, SOLOLÁ.

PROYECTO DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

POR
JOGLY MISSAEL CUY SACUJ

PREVIO A CONFERÍRSELE

EL TÍTULO DE INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN GERENCIA AGRÍCOLA EN EL GRADO
ACADÉMICO DE LICENCIADO

QUETZALTENANGO, ABRIL DE 2021
CAMPUS DE QUETZALTENANGO

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. MYNOR RODOLFO PINTO SOLÍS, S. J.
VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTHA ROMELIA PÉREZ CONTRERAS DE CHEN
VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: LIC. JOSÉ ALEJANDRO ARÉVALO ALBUREZ
VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: MGTR. MYNOR RODOLFO PINTO SOLÍS
VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: MGTR. JOSÉ FEDERICO LINARES MARTÍNEZ
SECRETARIO GENERAL: DR. LARRY AMILCAR ANDRADE - ABULARACH

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

DECANA: LIC. ANNA CRISTINA BAILEY HERNÁNDEZ
VICEDECANO: MGTR. LUIS MOISES PEÑATE MUNGUÍA
SECRETARIO: MGTR. JULIO ROBERTO GARCÍA MORÁN
DIRECTORA DE CARRERA: MGTR. EDNA LUCÍA DE LOURDES ESPAÑA RODRÍGUEZ

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

MGTR. MARCO ANTONIO MOLINA MONZÓN

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN

MGTR. MARÍA SARAÍ SUNÚN PÉREZ

LIC. CARLOS ROMAN MONTERROSO NATARENO



AUTORIDADES DEL CAMPUS DE QUETZALTENANGO

DIRECTOR DE CAMPUS: P. MYNOR RODOLFO PINTO SOLIS, S.J.

SUBDIRECTORA ACADÉMICA: MGTR. NIVIA DEL ROSARIO CALDERÓN

SUBDIRECTORA DE INTEGRACIÓN
UNIVERSITARIA: MGTR. MAGALY MARIA SAENZ GUTIERREZ

SUBDIRECTOR ADMINISTRATIVO: MGTR. ALBERTO AXT RODRÍGUEZ

SUBDIRECTOR DE GESTIÓN GENERAL: MGTR. CÉSAR RICARDO BARRERA LÓPEZ

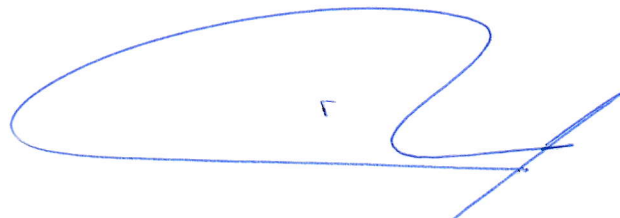
Quetzaltenango 30 de noviembre de 2020.

Honorable Consejo
Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas
Universidad Rafael Landívar
Presente.

Distinguidos miembros del Consejo:

Por este medio hago constar que he procedido a revisar el informe final del Trabajo de Proyecto de Grado del estudiante Jogly Missael Cuy Sacuj, que se identifica con carné 1607411, titulado: **“EFECTO DE LA APLICACIÓN DE MICROORGANISMOS AL SUELO, EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE EJOTE FRANCÉS; SAN ANDRÉS SEMETABAJ, SOLOLÁ”**, el cual considero que cumple con los requisitos establecidos por la Facultad para ser aprobado.

Atentamente



Ing. Agr. Marco Antonio Molina Monzón
Código URL 15550



Universidad
Rafael Landívar

Tradición Jesuita en Guatemala

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS

No. 061948-2021

Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Proyecto de Grado del estudiante JOGLY MISSAEL CUY SACUJ, Carnet 16074-11 en la carrera LICENCIATURA EN CIENCIAS AGRÍCOLAS CON ÉNFASIS EN GERENCIA AGRÍCOLA, del Campus de Quetzaltenango, que consta en el Acta No. 0649-2021 de fecha 26 de marzo de 2021, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

EFECTO DE LA APLICACIÓN DE MICROORGANISMOS AL SUELO, EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE EJOTE FRANCÉS; SAN ANDRÉS SEMETABAJ, SOLOLÁ.

Previo a conferírsele el título de INGENIERO AGRÓNOMO CON ÉNFASIS EN GERENCIA AGRÍCOLA en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 6 días del mes de abril del año 2021.



MGTR. JULIO ROBERTO GARCÍA MORÁN, SECRETARIO
CIENCIAS AMBIENTALES Y AGRÍCOLAS
Universidad Rafael Landívar

AGRADECIMIENTOS

A:

Dios por darme la vida, la sabiduría, entendimiento y permitirme culminar mi carrera universitaria satisfactoriamente.

La Universidad Rafael Landívar, por ser parte fundamental en mi formación profesional.

La Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, por sus conocimientos y experiencias compartidas.

MGTR. Marco Antonio Abac Yax, por sus conocimientos y apoyo brindado para la finalización del presente trabajo de investigación.

MGTR. Marco Antonio Molina Monzón, por el tiempo dedicado a la asesoría, revisión y corrección de la presente investigación.

DEDICATORIA:

A Dios:

Por la sabiduría, el entendimiento, el conocimiento y sus infinitas bendiciones, que me brindo para para lograr este triunfo.

A mi esposa:

Rosita Angelica Morales, por su amor y su apoyo incondicional que me brinda día con día, en todos mis proyectos profesionales y personales.

A mis hijos:

Jogly Neftalí Cuy Morares y nuestra futura hija quien viene en camino, por ser mi motivación cada mañana para poder alcanzar mis objetivos.

A mis padres:

Julio Cuy y Magdalena Sacuj, por el apoyo incondicional, su esfuerzo, sacrificio y ser un ejemplo de vida para mí.

A mis hermanos:

Anabelly, Yanet, Magda, Ruby, Julio y Osman, por su cariño y apoyo en todo momento

A mis suegros y cuñados:

Por su apoyo y cariño que me han brindado en este proceso académico.

A mis amigos:

Por apoyarme y brindarme sus conocimientos y tiempo en los momentos que los necesite.

A mis catedráticos:

Por compartirme sus conocimientos y sus consejos para poder desarrollarme como profesional.

ÍNDICE

RESUMEN	i
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Marco teórico.....	2
1.1.1. Cultivo de ejote.....	2
1.1.2 Microorganismos	10
1.2. Antecedentes.....	23
1.3. Justificación del proyecto.....	31
1.4. Objetivo del proyecto.....	33
1.4.1. General.....	33
1.4.2. Específicos.....	33
2. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	34
2.1. Descripción del proyecto.....	34
2.1.1. Contexto del proyecto.....	34
2.1.2 Tipo del proyecto.....	36
2.1.3. Tamaño del proyecto.....	37
2.1.4. Descripción de la localización del proyecto.....	38
2.1.5. Procedimiento.....	39
2.2. Indicadores y medios de verificación.....	46
2.2.1. Indicadores de crecimiento vegetativo.....	46
2.2.2. Indicadores de rendimiento.....	47
2.2.3. Indicadores económicos.....	47
2.3. Metodología de evaluación del proyecto.....	48
2.3.1. Indicadores de resultados.....	48

2.3.2. Indicadores de gestión.	48
2.4. Presupuesto del proyecto.	49
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	50
3.1. Evaluación del proyecto.	50
3.1.1. Aspectos técnicos.....	51
3.1.2. Aspectos económicos.....	70
3.2. Medios de verificación.	71
3.3. Análisis de impacto del proyecto.....	73
3.3.1. Económico.	73
3.3.2. Social.	74
3.3.3. Ambiental.....	75
4. CONCLUSIONES	77
5. RECOMENDACIONES	78
6. BIBLIOGRAFÍA.....	79
7. ANEXO	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Clasificación taxonómica del cultivo de ejote</i>	4
Tabla 2. <i>Etapas fenológicas del cultivo de ejote francés</i>	6
Tabla 3. <i>Extracción de nutrientes del cultivo de frijol o ejote en kg/ha</i>	7
Tabla 4. <i>Plagas que atacan el cultivo de ejote</i>	8
Tabla 5. <i>Principales enfermedades que atacan el cultivo de ejote francés</i>	9
Tabla 6. <i>Microorganismos benéficos y concentración aplicados en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020</i>	36
Tabla 7. <i>Coefficiente de variación según tamaño de parcela</i>	37
Tabla 8. <i>Tecnologías a comparar, en el estudio de la aplicación de microorganismos benéficos en el cultivo de ejote; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020</i>	41
Tabla 9. <i>Requerimientos nutricionales para el cultivo de ejote francés</i>	44
Tabla 10. <i>Comparación de dos muestras por el método de muestras independientes para altura de planta (meristemo foliar) expresada en centímetros, en la aplicación de microorganismos aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020</i>	52
Tabla 11. <i>Calculo de t de Student al cinco por ciento de error para el indicador altura de planta (meristemo foliar) expresada en centímetros, en la aplicación de microorganismos aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020</i>	53
Tabla 12. <i>Comparación de dos muestras por el método de muestras independientes para largo de vaina expresado en centímetros, en la aplicación de microorganismos</i>	

	<i>aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.....</i>	<i>55</i>
Tabla 13.	<i>Calculo de t de Student al cinco por ciento de error para el indicador largo de vaina expresado en centímetros, en la aplicación de microorganismos aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.....</i>	<i>56</i>
Tabla 14.	<i>Comparación de dos muestras por el método de muestras independientes para diámetro de vaina expresado en mm, en la aplicación de microorganismos aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.....</i>	<i>57</i>
Tabla 15.	<i>Calculo de t de Student al cinco por ciento de error para el indicador diámetro de vaina expresado en mm, en la aplicación de microorganismos aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.....</i>	<i>58</i>
Tabla 16.	<i>Comparación de dos muestras por el método de muestras independientes para número de vainas por planta, en la aplicación de microorganismos aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.....</i>	<i>59</i>
Tabla 17.	<i>Calculo de t de Student al cinco por ciento de error para el indicador número de vainas por planta, en la aplicación de microorganismos aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.....</i>	<i>61</i>
Tabla 18.	<i>Comparación de dos muestras por el método de muestras independientes para peso promedio de vainas expresado en gramos, en la aplicación de microorganismos aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.....</i>	<i>62</i>
Tabla 19.	<i>Calculo de t de Student al cinco por ciento de error para el indicador peso promedio de vainas expresado en gramos, en la aplicación de microorganismos</i>	

	<i>aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.</i>	63
Tabla 20.	<i>Rendimiento en kg por corte/parcela neta de vaina, en la aplicación de microorganismos aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.</i>	64
Tabla 21.	<i>Calculo de t de Student al cinco por ciento de error para el rendimiento en kg por corte / parcela neta de vainas, en la aplicación de microorganismos aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.</i>	64
Tabla 22.	<i>Resumen de variables, en la aplicación de microorganismos aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.</i>	65
Tabla 23.	<i>Análisis de suelos, en la aplicación de microorganismos aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.</i>	67
Tabla 24.	<i>Análisis de perfil microbiológico en el suelo, en la aplicación de microorganismos aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.</i>	69
Tabla 25.	<i>Costos por hectárea del tratamiento 01 con aplicación de microorganismos aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.</i>	83
Tabla 26.	<i>Costos por hectárea del tratamiento 02 Testigo Relativo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.</i>	84
Tabla 27.	<i>Análisis de suelo previo a la siembra en la aplicación de microorganismos aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.</i>	85

Tabla 28. <i>Análisis de suelo después de la cosecha, en la aplicación de microorganismos aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.</i>	86
Tabla 29. <i>Análisis de perfil microbiológico en el suelo previo a la siembra, en la aplicación de microorganismos aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.</i>	87
Tabla 30. <i>Análisis de perfil microbiológico en el suelo después de la cosecha, en la aplicación de microorganismos aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.</i>	88

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Croquis de la parcela trabajada en la aplicación de microorganismos beneficios al suelo en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.	38
---	----

EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE MICROORGANISMOS AL SUELO, EN EL RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE EJOTE FRANCÉS; SAN ANDRES SEMETABAJ, SOLOLÁ

RESUMEN

El estudio tuvo como finalidad comparar el efecto de la aplicación al suelo de microorganismos benéficos en el cultivo de ejote francés. Para ello, se establecieron dos parcelas: parcela 01, se aplicó una solución de 1.3 l/ha de una solución a base de microorganismos benéficos, y en la parcela 02, se consideró un testigo relativo. En ambas parcelas, las labores culturales (fertilización, control de enfermedades, plagas y malezas) fueron en base a lo que actualmente realizan los agricultores. Los indicadores que se midieron fueron: crecimiento vegetativo, rendimiento y rentabilidad. Los datos fueron analizados a través de prueba de T de Student con muestras independientes. De acuerdo a los resultados obtenidos, se determinó que la aplicación de microorganismos benéficos al suelo, tienen un efecto significativo en los indicadores de crecimiento vegetativo (altura de planta, largo y diámetro de vaina). Con relación a los indicadores de rendimiento hubo un efecto significativo en el peso promedio de vaina. El rendimiento obtenido fue de 7,570 kg/ha y 7,180 kg/ha, siendo superior en la parcela en donde se aplicó microorganismos al suelo. De acuerdo al análisis realizado: a) el impacto de las componentes ambientales es positivo y bajo y b) el componente económico tiene un incremento en la rentabilidad (5%) del cultivo. En cuanto al análisis del perfil microbiológico del suelo después de la cosecha se observa que hubo un incremento muy escaso de bacterias fijadoras de nitrógeno y (*Pseudomonas* Sp). En conclusión, la aplicación de microorganismos beneficios al suelo, mejoran el crecimiento vegetativo, el rendimiento y la micro biota del suelo.

1. INTRODUCCIÓN

Durante 2012 Guatemala exportó 537 toneladas de ejote francés a la Unión Europea, ningún otro país de la región tiene registradas exportaciones a la UE para este producto. Los principales destinos de las exportaciones de Guatemala han sido Reino Unido con 535 t, y España con 1.6 t (MAGA, 2014).

La producción de esta leguminosa se presenta de forma muy natural en Guatemala, donde las principales zonas de producción son los departamentos de Chimaltenango, Sacatepéquez, Huehuetenango, San Marcos, Las Verapaces, Sololá y Quiché; zonas en que se puede producir durante todo el año si los agricultores disponen de agua (MAGA, 2014).

En la agricultura moderna se aplican altos niveles de fertilizantes minerales y otros agroquímicos, con el fin de incrementar la producción y cubrir la creciente demanda de alimentos. Aunque el uso de estos insumos presenta ventajas inmediatas en el rendimiento de los cultivos, es bien sabido que su uso puede afectar negativamente la calidad y productividad de los suelos agrícolas. Debido a esta situación, el uso de microorganismos benéficos ha cobrado importancia como alternativa a la fertilización química y se han aislado cepas de bacterias (*Pseudomonas fluorescens*) y hongos capaces de solubilizar fósforo (*Paecilomyces lilacinus*), movilizar potasio (*Trichoderma harzianum*) y azufre (*Bacillus* sp.), además de las ya conocidas bacterias fijadoras de nitrógeno (*Azospirillum brasilenses*) y (*Rizobium* sp.) Al consumarse la relación planta-microorganismo se puede reducir la degradación de los suelos y optimizar el retorno de energía a los sistemas de producción. El incremento en la productividad a base de grandes cantidades de energía no puede ser mantenido indefinidamente. Existe un límite en la capacidad de producción y se encuentra regulado por los costos externos de la energía que se introducen en los

agroecosistemas, y la microbiología del suelo figura como una pieza clave, sobre todo en los suelos empobrecidos y sistemas de producción intensivos (Ramos & Velásquez, 2015).

En este sentido el estudio de Proyecto de Grado, tuvo como finalidad la aplicación de un compuesto de microorganismos de concentración y dosis comercial, que contiene el hongo micorrizogeno (*Glomus intraradices*), que favorece la absorción de nutrientes e incrementa la tolerancia al estrés hídrico; (*Pseudomonas fluorescens*) y (*Bacillus subtilis*), que ayudan a solubilizar de fósforo; *Pseudomonas* sp. que solubiliza potasio; (*Azotobacter* sp.) y (*Azospirillum brasilenses*), que fijan nitrógeno. Con la aplicación de estos microorganismos se tuvo como finalidad mejorar la absorción de nutrientes optimizando el desarrollo vegetal, favoreciendo así los procesos de estimulación vegetal. La aplicación periódicamente de estos microorganismos puede mejorar los suelos agotados por la actividad agrícola intensiva, mejorando así la productividad agrícola y por ende los ingresos de los productores. El estudio midió los indicadores de rendimiento y crecimiento vegetativo, los cuales se analizaron a través de muestras independientes analizados con una prueba de T.

1.1. Marco teórico.

1.1.1. Cultivo de ejote.

Descripción del cultivo. El ejote francés pertenece a la familia de las leguminosas, y se identifica internacionalmente bajo la sub partida arancelaria 070890. Hoy en día está presente en todo el mundo, y sus propiedades delicadas la hacen un ingrediente muy importante en ensaladas, sopas, cremas y muchas otras preparaciones, ya que además es rica en proteínas, vitaminas B y C y adicionalmente posee una gran cantidad del aminoácido esencial llamado lisina (MAGA, 2014).

El ejote francés también se conoce como chauchas en Argentina y Paraguay; como habichuelas en Andalucía, Canarias y Colombia; como porotos verdes en Chile; o como judías

verdes en España. Es una planta anual de tallos herbáceos, que de acuerdo con la variedad puede ser arbustivo o tipo enredadera. Las variedades modernas creadas para la exportación, suelen haber eliminado la fibra dorsal de la vaina, confiriéndole mayor suavidad al producto (MAGA, 2014).

Importancia económica. La producción de esta leguminosa se presenta de forma muy natural en Guatemala, donde las principales zonas de producción son los departamentos de Chimaltenango, Sacatepéquez, Huehuetenango, San Marcos, Las Verapaces, Sololá y Quiché; zonas en que se puede producir durante todo el año si los agricultores disponen de agua (MAGA, 2014).

Durante 2012 Guatemala exportó 537 toneladas de ejote francés a la Unión Europea, ningún otro país de la región tiene registradas exportaciones a la UE para este producto. Los principales destinos de las exportaciones de Guatemala han sido Reino Unido con 535 t, y España con 1.6 t. (MAGA, 2014)

De acuerdo con las estadísticas registradas por Guatemala en la SIECA, durante el año 2013, Guatemala ha registrado exportaciones de ejote francés al resto de la región, por valor de USD 109 mil, correspondientes a 627 toneladas (MAGA, 2014).

Clasificación taxonómica. Según Ramírez (2014), en su investigación indica que el frijol ejotero se clasifica de la siguiente manera:

Tabla 1.
Clasificación taxonómica del cultivo de ejote.

Categoría	Taxón
Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Fabales
Familia:	Fabaceae
Sub-familia:	Faboideae
Tribu:	Phaseoleae
Género:	Phaseolus
Especie:	vulgaris
Nombre científico:	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.

(Ramírez, 2014).

Descripción de la planta.

Raíz. El ejote posee un sistema radicular fasciculado, a veces fibroso con mucha variación incluso en plantas con la misma variedad, el pivotante se presenta en bajo porcentaje. Dispone de gran cantidad de raíces secundarias, terciarias y cuaternarias. El ejote contiene nódulos en la parte superior y media de las raíces que mediante simbiosis con el hongo (*Rhizobium phaseoli*), se encargan de fijar nitrógeno atmosférico (González, 2003).

Tallo. Dependiendo la variedad y el hábito de crecimiento los tallos son herbáceos delgados, de diferente tamaño, longitud, número de nudos, diámetro y longitud de entre nudos. En cada nudo se encuentran insertadas hojas, ramas, vainas y racimos florales. De acuerdo con la parte terminal del tallo, las variedades son de crecimiento indeterminado o determinado. Cuando es determinado el tallo finaliza con una inflorescencia que le detiene el crecimiento, es indeterminado si en un extremo posee un meristemo vegetativo que posibilita el continuar creciendo (González, 2003).

Hojas. Las hojas son compuestas, trifoliadas, dotadas de pequeñas estipulas en la base del peciolo. Los foliolos son ovalados o triangulares y de diferente color y pilosidad según la variedad, posición en el tallo y edad de la planta (González, 2003).

Flor. La inflorescencia puede ser axilar o terminal, dependiendo de su inserción en el tallo; es un conjunto de racimos, es decir, un racimo principal con un grupo de racimos secundarios. La flor es típica papilionácea de fecundación autógama, en su desarrollo tiene dos etapas, botón floral y botón completamente abierta. Según la variedad, así es el color, blanco, rosado o púrpura (González, 2003).

Frutos. La vaina varía en forma, color, diámetro y largo formadas por dos valvas unidas por fibra, la textura de la vaina puede ser pergaminosa de fibra fuerte, coriácea cuando existe una pequeña separación de las valvas y carnosa sin fibra en la unión de las valvas la unión de estas, se les llama suturas placental y ventral (González, 2003).

Semilla. Las semillas son de forma cilíndricas, arriñonada, esférica; provista de dos cotiledones gruesos; con colores variados, rojo blanco, negro café, entre otros, también existen la combinación de dos colores, dependiendo de la variedad. Un kilogramo de semilla puede contener de 2,500 a 4,500 semillas (González, 2003).

Etapas fenológicas.

Vegetativa. Esta se da desde la siembra de la semilla hasta el surgimiento de la floración; se caracteriza por el rápido aumento de la materia seca, pues la planta invierte su energía en síntesis de nuevos tejidos de absorción y en la fotosíntesis (González, 2003).

Reproductiva. Esta inicia con la finalización de la vegetativa y termina cuando los frutos están listos para la cosecha; en esta fase los frutos extraen de la planta los nutrientes necesarios para su crecimiento y maduración. En las variedades de crecimiento indeterminado el crecimiento no se detiene por lo que hay una producción simultánea de tallos, ramas, flores y frutos. Cada fase

está formada por un conjunto de etapas identificadas con una letra y seguidas de un número, la duración de esta dependerá del hábito de crecimiento y de la precocidad de las variedades (González, 2003).

Tabla 2.

Etapas fenológicas del cultivo de ejote francés.

Referencia	Etapas
V0	Emergencia
V1	Cinco días; emergencia
V2	Dos días; hojas primarias
V3	Dos a cuatro días; primera hoja trifoliada
V4	Cinco a nueve días; tercera hoja trifoliada
V5	Nueve a once días; floración
V6	Cuatro a seis días; formación de vainas

(González, 2003)

Requerimientos climáticos y edáficos. El ejote francés prefiere un suelo con textura franca a franco arcillosa, que sea fértil, profundo, liviano, bien drenado y con buen contenido de materia orgánica, en cualquier tipo de suelo, el pH debe oscilar entre 5.5 y 7. Una precipitación adecuada va de 1,200 a 2,000 milímetros anuales, la humedad relativa adecuada debe oscilar entre el 60% y el 85%. Las alturas apropiadas para la producción varían de 600 a 2,000 msnm (Ramírez, 2014).

Según la FAO (2002), los cultivos necesitan cantidades específicas de nutrientes, además, la cantidad de nutrientes necesaria para el cultivo depende en gran parte del rendimiento obtenido (o esperado) del cultivo. Las diferentes cantidades de nutrientes extraídas por el cultivo de frijol o ejote con rendimientos buenos y medios se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3.*Extracción de nutrientes del cultivo de frijol o ejote en kg/ha.*

Cultivo	Rendimiento	Nitrógeno	Fósforo		Potasio		Ca	Mg	S
	kg /ha	N	P ₂ O ₅	P	K ₂ O	K			
Frijol	2,400	155	50	22	120	100	-	-	-

(FAO, 2002)

Plagas. Según Ramírez (2014), el control de plagas en ejote francés se hace orientado al mercado de exportación. Constituye una práctica necesaria y ventajosa cuyos propósitos son minimizar las pérdidas que ocasionan los organismos fitófagos que lo atacan, e impedir la presencia de insectos de carácter cuarentenario, causantes de rechazo en la inspección fitosanitaria.

El número de insectos asociados al cultivo anualmente es numeroso y variado debido a la implementación del cultivo en zonas agroecológicas diferentes. La mayoría tiene el carácter de plagas ocasionales, es decir, especies que se presentan solo algunas temporadas e incluso el nivel de daño que ocasionan en general es reducido. Comprende a veces organismos que habitan agroecosistemas continuos que por su proximidad han colonizado el ejote francés sin lugar a establecerse definitivamente (Ramírez, 2014).

Los daños causados por los insectos deterioran la calidad del producto y constituyen puerta de entrada para las enfermedades, lo cual disminuye los rendimientos. Los insectos que atacan al ejote francés se pueden clasificar como: plagas del suelo y plagas del follaje (Ramírez, 2014).

Las plagas del suelo que comúnmente aparecen en el cultivo de ejote francés en Guatemala son las siguientes: gallina ciega (*Phyllophaga* sp.); gusanos cortadores (*Agrotis* sp.), nocheros (*Feltia* sp.), tierreros (*Prodenia* sp.), rosquillas (*Spodoptera* sp.), cuerudos (*Agrotis ipsilon*) (Ramírez, 2014).

Tabla 4.
Plagas que atacan el cultivo de ejote.

Nombre común	Nombre científico	Parte que ataca
Gallina ciega	<i>Phyllophaga</i> sp.	Raíz
Gusanos cortadores	<i>Agrotis</i> sp.	Cuello del tallo
Tortuguillas	<i>Diabrotica</i> sp.	Follaje
Mosca blanca	<i>Bemisa tabaco</i>	Transmisor de virus
Pulgones	<i>Aphis</i> sp.	Transmisor de virus
Tríps	<i>Trips</i> sp.	Transmisor de virus
Ácaros	<i>Tetranychus</i> sp.	Transmisor de virus
Chinche	<i>Lora</i> sp	Transmisor de virus
Lorito verde	<i>Empasca</i> sp.	Follaje
Conchuela mexicana	<i>Epilachna</i> sp.	Follaje
Picudo de la vaina	<i>Apion</i> sp.	Flor y Vaina
Gusano de la hoja	<i>Trichoplusia</i> sp.	Flor y Vaina
Falso Medidor	<i>Mosis repanda</i>	Flor y Vaina
Gusano peludo	<i>Estigmene acreae</i>	Follaje
Gusano minador	<i>Agromiza</i> sp.	Follaje

(Ramírez, 2014)

En cuanto a las plagas del follaje, los masticadores que cortan y comen tallos y hojas, normalmente el daño es bastante visible y en este grupo los insectos que normalmente se presentan son: tortuguillas (*Diabrotica* sp.), (*Chrysomelidae* sp.); mosca blanca (*Bemisia tabaci*), (*Trialeurodes* sp.); pulgones (*Aphis* sp.), trips (*Trips* sp.), ácaros (*Tetranychus* sp.), chinches (*Lora* sp.), chicharrita verde lorito verde o salta hojas, (*Empasca* sp.), conchuela mexicana (*Epilachna* sp.), picudo de la vaina o picudito (*Apion* sp., *Bruchus* sp.); gusano falso medidor (*Trichoplusia* sp.); gusano de la hoja (*Laphygma* sp., *Heliothis* sp.), gusano medidor (*Mosis repanda*); gusano peludo (*Estigmene acreae*); gusano minador (*Agromyza* sp.) (Ramírez, 2014)

Enfermedades. Según Ramírez (2014), los daños causados por las enfermedades deterioran la calidad del producto y disminuyen considerablemente el rendimiento. Las enfermedades más importantes son las siguientes:

Tabla 5.

Principales enfermedades que atacan el cultivo de ejote francés.

Nombre común	Agente causal
Antracnosis	<i>Colletotrichum lindemuthianum</i>
Roya del frijol	<i>Uromyces phaseoli</i>
Alternaria	<i>Aternaria</i> sp.
Mancha por Ascochyta	<i>Ascochyta faselorum</i> Sacc.
Mildiu polvoriento	<i>Erysiphe polygoni</i>
Fusarium	<i>Fusarium phaseoli</i>

(Ramírez, 2014).

Antracnosis. Los síntomas aparecen inicialmente en el envés de las hojas, lesiones redondas a ovaladas, de un color que varía desde rojo hasta negro, localizadas a lo largo de las nervaduras de las hojas. También afecta a las vainas (Ramírez, 2014).

Roya. Las lesiones son pequeñas manchas cloróticas notables en ambos lados de la hoja. En el centro y el envés se encuentran pústulas de color marrón. El halo amarillo que las rodea es de tamaño variable. La enfermedad puede causar un amarillamiento general en la planta y la consiguiente pérdida de rendimiento cuando ataca con severidad y temprano durante el desarrollo de la planta (Ramírez, 2014).

Alternaria. Los síntomas en las hojas aparecen como pequeños puntos irregulares, acuosos, de color café rojizo y rodeado por un halo de color café oscuro. Estas lesiones se desarrollan gradualmente formando anillos concéntricos. Su centro puede colapsarse y caer, dejando agujeros redondos en las hojas. Las lesiones pueden irse juntando hasta abarcar toda la hoja y causar su desprendimiento prematuro; puede producirse la muerte del punto central de crecimiento. En

cualquiera de los casos, el vigor de la planta se ve gradualmente reducido. Este hongo puede atacar las vainas, produciendo una decoloración de tono café en su superficie. Este es un patógeno que usualmente ataca tejidos de plantas viejas durante períodos de tres a cuatro días con alta humedad relativa y temperaturas de 16 a 20 grados centígrados (Ramírez, 2014).

Ascochyta. Los primeros síntomas se observan en el hipocótilo y en la raíz, primero en forma de manchas rojizas, cuando la plántula tiene de ocho a 15 días de nacida. A medida que la enfermedad avanza, las lesiones se unen y se tornan de color café; se extienden hasta el cuello de la raíz y no tiene forma definida. Las raicillas mueren por ataque del hongo y permanecen adheridas a las plantas; éstas ponen muy poca resistencia al ser extraídas del suelo. En las plantas atacadas se desarrollan raíces adventicias que les permiten continuar vivas e incluso producir vainas; pero si las condiciones son favorables, el hongo puede llegar a matarlas; primero aparece en la parte aérea cierta flacidez del follaje y finalmente la planta muere. Al abrir la raíz principal ésta presenta un ahuecamiento y manchas longitudinales de color rojizo a lo largo de la zona infectada. La susceptibilidad del ejote francés a plagas y enfermedades cambia con la edad de la planta. Por ejemplo, el ejote francés se vuelve menos susceptible a plagas del suelo entre más avanzada sea su edad, debido a que las micorrizas se encuentran desarrolladas en su totalidad. El cultivo es más susceptible a pérdidas por demolición en las etapas de floración y formación de vainas que en el período vegetativo. Por estas razones, siempre es importante anotar la etapa de desarrollo de la planta en cualquier estudio de ejote francés (Ramírez, 2014).

1.1.2 Microorganismos

Barrera (2018), menciona que el suelo es un recurso viviente y dinámico que condiciona la producción de alimentos. Su calidad tiene un papel fundamental en el mantenimiento del balance entre producción y consumo de dióxido de carbono en la biosfera. El suelo no sólo es la base para

la agricultura, sino que de él depende toda la vida del planeta. La mayor parte de las etapas de los ciclos biogeoquímicos tienen lugar en él. La actividad microbiana del suelo (o edáfica) da cuenta de las reacciones bioquímicas que se suceden dentro de este complejo y heterogéneo sistema. Los cambios en la tasa de circulación del carbono y de los nutrientes minerales en el suelo como consecuencia de las interacciones entre las plantas y otros organismos involucran modificaciones en la estructura y el funcionamiento de sus comunidades bióticas (Barrera, 2018).

En un ecosistema, la pronta respuesta de los procesos microbianos y de la estructura de las comunidades a las alteraciones físicas, químicas y biológicas constituye un aspecto central de la calidad del suelo. Los cambios en la estructura de las comunidades microbianas en sistemas perturbados generalmente están asociados a emisiones de gases con efecto invernadero CO₂ (dióxido de carbono), N₂O (óxido nitroso) o a la pérdida del N por lixiviación (Barrera, 2018).

Los microorganismos son los componentes más importantes del suelo, constituyen su parte viva y son los responsables de la dinámica de transformación y desarrollo. La diversidad de microorganismos que se encuentran en una fracción de suelo cumple funciones determinantes en la transformación de los componentes orgánicos e inorgánicos que se le incorporan. Esto permite comprender su importancia en la nutrición de las plantas al efectuar procesos de transformación hasta elementos que pueden ser asimilados por sus raíces. La humificación de la materia orgánica es un proceso netamente microbiológico (Delgado, 2019).

Según Delgado (2019), la mayor actividad de los microorganismos se realiza desde la superficie del suelo hasta unos 20 centímetros de profundidad. Las colonias de microorganismos permanecen adheridas a las partículas de arcilla y humus (fracción coloidal) y a las raíces de las plantas que les suministran sustancias orgánicas que les sirven de alimento y estimulan su reproducción. Estas exudaciones dependen del buen estado nutricional de la planta y así favorecen

el crecimiento de los microorganismos que son importantes para ella. Su actividad y su desarrollo están asociados a la disponibilidad de los sustratos a transformar (Delgado, 2019).

La colonización de algunos grupos microbianos sobre las fracciones orgánicas e inorgánicas depende de la función que se esté cumpliendo en la transformación (degradación de carbohidratos o de proteínas, amonificación, nitrificación, oxidación, reducción, mineralización, solubilización). Por lo tanto, mientras algunos microorganismos actúan sobre un sustrato, otros se desarrollan en los productos de la transformación. Cuando terminan su función sobre la degradación del sustrato, los grupos microbianos que estaban actuando principalmente disminuyen al máximo, se reproducen o entran en latencia y se incrementa la población de otros que cumplirán funciones de transformación en los productos del metabolismo del grupo microbiano anterior. Cada proceso químico desencadenado por un microorganismo es una etapa en la descomposición de un material orgánico o inorgánico. Una mayor cantidad de microorganismos en el suelo permite una mejor actividad metabólica y enzimática para obtener plantas bien nutridas con buena capacidad para producir (Delgado, 2019).

Un suelo fértil es aquel que contiene una reserva adecuada de elementos nutrientes disponibles para la planta o una población microbiana que este liberando nutrientes en forma permanente hasta alcanzar un balance que permita un buen desarrollo vegetal (Delgado, 2019).

Barrera (2018) citando a Dibut (2006), indica que en el suelo se encuentran una notable población microbiana, dentro de la que se encuentran los microorganismos beneficiosos, caracterizados por realizar funciones como la fijación del nitrógeno atmosférico, la solubilización del fósforo insoluble presente en el suelo, la antibiosis y la estimulación del crecimiento y desarrollo vegetal, todas ellas de suma importancia para el normal establecimiento y aumento de la productividad de especies cultivables de importancia económica en la agricultura.

La biodiversidad es una propiedad que condiciona la capacidad de recuperación del sistema edáfico ante una alteración y que le asegura su estabilidad funcional. Además, brinda la posibilidad de obtener microorganismos con capacidad de promover el crecimiento de los cultivos de tal manera que la sustentabilidad de los agroecosistemas se vea favorecida (Barrera, 2018).

Los microorganismos del suelo tienen varias funciones dentro de las cuales están, el desarrollo de la estabilidad de agregados de los suelos cultivables, reciclaje de residuos orgánicos, producción de sustancias beneficiosas en la rizósfera de las plantas, fijación de nitrógeno atmosférico, transformación del fósforo del suelo y control de microorganismos dañinos (Barrera, 2018).

Distribución de los microorganismos en el suelo. Barrea (2018), afirma que la hiperdensidad e hiperdiversidad son los dos aspectos fundamentales que caracterizan a las comunidades microbianas del suelo. La cantidad de microorganismos en un gramo de suelo puede variar entre 10^7 y 10^9 células, mientras que algunas estimaciones indican la posibilidad de que haya al menos 10^4 especies microbianas distintas por gramo de suelo. La biodiversidad es una propiedad que condiciona la capacidad de recuperación del sistema edáfico ante una alteración y que le asegura su estabilidad funcional. Además, brinda la posibilidad de obtener microorganismos con capacidad de promover el crecimiento de los cultivos de tal manera que la sustentabilidad de los agroecosistemas se vea favorecida por diversos mecanismos.

Las bacterias del suelo. Son los microorganismos más abundantes y pequeños (0,1 a 1 micras). Pueden ser aerobias (crecen con oxígeno), anaerobias (crecen sin oxígeno) o facultativas (crecen con o sin oxígeno). Pueden tolerar pH ácido (acidófilas), pH básico (basófilas) o pH neutro (neutrófilas). En suelos ácidos algunas bacterias neutrófilas tienen la capacidad de neutralizar el suelo donde se están desarrollando para cumplir su función (Barrera, 2018).

Si las bacterias se alimentan de compuestos orgánicos son heterótrofas. Si se alimentan de inorgánicos, son autótrofas. Las que se desarrollan a temperaturas medias (15 a 40 grados centígrados) son mesófilas, a temperaturas menores a 15 grados centígrados son psicrófilas y a temperaturas mayores a 40 grados centígrados son termófilas. La mayoría de las bacterias del suelo que son importantes para las plantas son heterótrofas, aerobias y mesófilas (Delgado, 2019).

Algunas bacterias producen endósporas y quistes latentes que les proporcionan resistencia a las variaciones de temperatura, los niveles extremos de pH y a la desecación del suelo. De esta forma pueden crecer de nuevo cuando encuentran condiciones favorables. Otras se protegen de la depredación y de la desecación emitiendo una cápsula de sustancias mucoides. Otras se desplazan en la solución del suelo mediante un flagelo para encontrar más fácilmente el sustrato alimenticio (Delgado, 2019).

Su capacidad de multiplicación les permite crear poblaciones muy grandes en un tiempo muy corto, colonizando rápidamente los sustratos a degradar. La clase y abundancia de bacterias presentes en una fracción de suelo dependen de los sustratos que la compongan y de sus condiciones (suelo ácido, con materia orgánica alta, anegado, de sabana, etc. Los grupos bacterianos que actúan primero sobre los sustratos disponibles son dominantes hasta que termina su acción y luego dan oportunidad a que otros grupos crezcan en el residuo del metabolismo de los primeros. Por lo tanto, hay grupos bacterianos que permanecen y otros que entran en latencia hasta que encuentran condiciones favorables para su crecimiento. Las bacterias tienen especial importancia en la relación suelo-planta y son responsables del incremento o disminución en el suministro de nutrientes (Delgado, 2019).

Los suelos agrícolas que están sometidos a la mecanización continua, al monocultivo, al riego, a la aplicación de agroquímicos y fertilizantes de síntesis, a la compactación y a las quemadas, tienen una flora microbiana muy baja que afecta su fertilidad. Las bacterias benéficas del suelo son

indispensables para recuperar la estructura perdida por las prácticas agrícolas, para hacer disponibles los nutrientes que hay en el suelo y para incorporarle la materia orgánica que necesita para mejorar la fertilidad. Entre los géneros bacterianos más importantes agrícolamente por la transformación de los compuestos orgánicos e inorgánicos y que favorecen la nutrición de las plantas están: *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Beijerinckia*, *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, *Clostridium*, *Thiobacillus*, *Lactobacillus*, y *Rhizobium*; (Delgado, 2019).

Bacterias benéficas. Richards (1987) citado por Barrera (2018), menciona que los microorganismos que intervienen en la fijación biológica de nitrógeno atmosférico (FBNA) que es la reducción enzimática de nitrógeno (N_2) a amonio (NH_4^+), se pueden clasificar en dos grupos a) microorganismos (bacterias hongos y algas) que fijan nitrógeno en forma no simbiótica o de vida libre y b) microorganismos que fijan el nitrógeno en forma simbiótica con plantas leguminosas y no leguminosas (soja, gramíneas y otras), las mayores cantidades de nitrógeno atmosférico fijado, es llevado a cabo por leguminosas en asociación simbiótica con bacterias del género *Rhizobium*.

Bacterias fijadoras de nitrógeno. Döbereiner, Urquiaga, Boddey y Ahmad (1995) citado Barrera (2018), menciona que las bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre se encuentran los géneros más estudiados que son: *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Beijerinckia* y *Klebsiella*; los cultivos en donde ha sido más estudiado este proceso de fijación de nitrógeno son: caña de azúcar, arroz, sorgo, trigo y pastos tropicales forrajeros, donde la fijación de (N_2) por bacterias asociativas y de vida libre es importante.

Coyne (1999), citado por Barrera (2018), menciona que algunas especies de *Bacillus* pueden fijar el nitrógeno por su distinto metabolismo, particularmente por su habilidad de degradar compuestos químicos orgánicos, estas bacterias se clasifican entre las Gram-negativas, este género presenta una gran versatilidad metabólica y se ha demostrado su capacidad de llevar a cabo el proceso de fijación biológica de nitrógeno. De acuerdo con el Centro Nacional de Investigaciones

Científicas -CENIC- (2011), se han formulado biopreparados a partir de *Rhizobium* y *Bacillus cereus*, en los que este último potencia la formación del nódulo por parte *Rhizobium*.

Bacterias solubilizadoras de fósforo. Walters y Heil (2007) citado por Barrera (2018), menciona que se evaluó que 25% de las bacterias de la rizósfera tiene un efecto benéfico sobre el crecimiento y las defensas de las plantas contra enfermedades. El papel de las bacterias promotoras del crecimiento como *Bacillus* spp., *Pseudomona* spp., *Azospirillum*, *Agrobacterium*, *Azotobacter*, *Arthrobacter*, *Alcaligenes*, *Rhizobium*, *Enterobacter*, *Burkholderia*, *Beijerinckia*, *Klebsiella*, *Clostridium*, *Xanthomonas*, *Phyllobacterium* y *Paenibacillus* spp., para el control biológico es reconocido y demostrado por numerosos estudios.

Osorio (2011) citado por Barrera (2018), menciona que el fósforo se encuentra en diferentes compuestos orgánicos como fosfolípidos, fosfoazúcares, fosfatos de inositol, ácidos nucleicos, ATP, entre otros, que llegan al suelo mediante aporte de excretas de animales y de hojarasca; en el suelo existen microorganismos capaces de solubilizar fosfato orgánico e inorgánico a partir de diversos mecanismos.

Coyne (1999) citado por Barrera (2018), menciona que las bacterias que solubilizan activamente el fósforo representan un 10% de la población microbiana del suelo. Se trata fundamentalmente de organismos de la rizósfera, como *Bacillus*, *Micrococcus*, *Mycobacterium*, *Pseudomonas*.

Microorganismos que solubilizan el fósforo. La movilización del fósforo en la naturaleza lo hacen los microorganismos, ya que participan en la disolución y transformación del elemento hasta combinaciones asimilables por las plantas y también en la fijación temporal. Cuando se incorporan al suelo residuos de cosecha, materiales orgánicos, enmiendas, estiércol, se agregan gran cantidad de compuestos órgano fosforado. El fosfato orgánico es hidrolizado por la

enzima fosfatasa que segregan los microorganismos y libera el fosfato, para que sea asimilado por la planta (Barrera, 2018).

Las bacterias *Bacillus megaterium*, *Bacillus mesentericus* y *Pseudomona putida* solubilizan las formas orgánicas del fósforo (ortofósforo) y las transforman a fosfatos asimilables por las plantas. Los hongos del género *Aspergillus*, *Penicillium* y *Rhizopus* degradan ácidos nucleicos y glicerofósforatos a fosfatos simples. Las levaduras del género *Saccharomyces* y *Rhodotorula* cumplen la misma función que los hongos. El actinomiceto *Streptomyces* destruye las moléculas orgánicas fosfatadas liberando así el fósforo (Barrera, 2018).

En los suelos de reacción ácida predominan los fosfatos insolubles de hierro y de aluminio. Cuando se han utilizado enmiendas cálcicas se fija el fósforo como fosfato tricálcico. Las bacterias de los géneros *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Micrococcus*, *Aerobacter* solubilizan fosfatos inorgánicos en el suelo. Los hongos *Aspergillus*, *Penicillium* y *Rhizopus* solubilizan fosfatos tricálcicos y rocas fosfóricas (Delgado, 2019).

Hongos benéficos. Conforman una importante fracción de la biomasa total microbiana del suelo. Crecen en forma de red extendiéndose como micelio hasta su estado reproductivo donde dan origen a esporas sexuales o asexuales. Son importantes degradadores aerobios de material vegetal en descomposición en suelos ácidos. Producen enzimas y metabolitos que contribuyen al ablandamiento y a la transformación de sustancias orgánicas. También estas enzimas forman parte de la actividad de otros microorganismos (Delgado, 2019).

Los hongos metabolizan compuestos carbonados de muy difícil degradación como las celulosas, las hemi celulosas y las ligninas. También degradan azúcares simples, alcoholes, aminoácidos y ácidos nucleicos. Pueden ser parásitos o saprófitos. Son muy importantes en suelos con desechos de cosecha. Su crecimiento ramificado rápido y la intensa actividad degradadora les permiten mantener un equilibrio en los ecosistemas del suelo (Delgado, 2019).

Las raíces de las plantas están pobladas de hongos que aprovechan las exudaciones radiculares constituidas por azúcares, aminoácidos, ácidos orgánicos, nucleótidos, enzimas, vitaminas y sustancias promotoras de crecimiento. Los hongos movilizan nutrientes minerales hacia las raíces de las plantas, aumentan la capacidad de retener agua en sequía, fijan nitrógeno y fósforo y protegen las raíces de fito patógenos por espacio y emitiendo sustancias que los inhiben. Los hongos son muy activos en las plantas y prefieren los azúcares que estas segregan por las raíces. También toman aminoácidos (Delgado, 2019).

Algunos hongos entran en simbiosis con las raíces llamadas micorrizas. Son más activos en suelos arenosos y pobres en materia orgánica. La simbiosis se ve favorecida por la pobreza mineral del suelo (Delgado, 2019).

Los géneros de hongos más importantes asociados a las raíces de las plantas son *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus* y *Trichoderma*. El *Aspergillus* y el *Penicillium* movilizan el fósforo y el nitrógeno del suelo. El *Trichoderma* sostiene la humedad en las raíces en condiciones de sequía (Delgado, 2019).

Algunas levaduras son importantes fermentadoras de carbohidratos produciendo alcoholes que son utilizados por otros microorganismos como fuentes de energía. Entre los géneros más importantes están el *Saccharomyces* y el *Rhodotorula*. (Delgado, 2019).

Microrganismos que solubilizan el potasio. El potasio es retenido por los constituyentes del suelo, pero sólo una parte es soluble y otra gran fracción se fija quedando no intercambiable. Bacterias de los géneros *Bacillus*, *Pseudomonas* y *Clostridium* y hongos como *Aspergillus*, *Penicillium* y *Mucor* solubilizan el potasio mediante la liberación de ácidos orgánicos o inorgánicos que reaccionan con los minerales que los contienen. Estos microorganismos descomponen minerales de aluminosilicato y liberan parte del potasio contenido en ellos (Delgado, 2019).

Microorganismos solubilizadores de azufre. El azufre es esencial en la nutrición de las plantas pues participa en la formación de aminoácidos y vitaminas. Las plantas lo asimilan como sulfato. La descomposición de la materia orgánica por los microorganismos trae la degradación de aminoácidos hasta obtener sulfatos. También se degradan sulfatos orgánicos. Las bacterias del género *Thiobacillus* oxidan a sulfato, el sulfuro que produce en condiciones de anegamiento y que es tóxico para las plantas. Además, oxidan a sulfato el azufre elemental, compuestos de azufre como tiosulfato, tetrionato y sulfito a sulfato. Se desarrollan en medios aerobios con pH ácidos y extremadamente ácidos (2-3), forman ácido sulfúrico en la oxidación para aumentar la acidez.

Las bacterias de los géneros *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Artrobacter* convierten el azufre elemental y el tiosulfato a sulfato. Los hongos del género *Aspergillus* oxidan el azufre en polvo (Delgado, 2019).

Beneficios de los microorganismos aplicados al suelo. En la agricultura moderna se aplican altos niveles de fertilizantes minerales y otros agroquímicos, con el fin de incrementar la producción y cubrir la creciente demanda de alimentos. Aunque el uso de estos insumos presenta ventajas inmediatas en el rendimiento de los cultivos, es bien sabido que su uso puede afectar negativamente la calidad y productividad de los suelos agrícolas. Debido a esta situación, el uso de microorganismos benéficos ha cobrado importancia como alternativa a la fertilización química y se han aislado cepas de bacterias *Pseudomonas fluorescens* y hongos capaces de solubilizar fósforo *Paecilomyces lilacinus*, movilizar potasio *Trichoderma harzianum* y azufre *Bacillus* sp., además de las ya conocidas bacterias fijadoras de nitrógeno *Azospirillum brasilenses*. Al consumarse la relación planta-microorganismo se puede reducir la degradación de los suelos y optimizar el retorno de energía a los sistemas de producción. El incremento en la productividad a base de grandes cantidades de energía no puede ser mantenido indefinidamente. Existe un límite en la capacidad de producción y se encuentra regulado por los costos externos de la energía que se

introducen en los agroecosistemas, y la microbiología del suelo figura como una pieza clave, sobre todo en los suelos empobrecidos y sistemas de producción intensivos (Ramos & Velásquez, 2015).

El efecto de los microorganismos en el crecimiento de las plantas y la calidad de los suelos. Un ecosistema saludable para las generaciones futuras y la urgente demanda de una producción sustentable de alimentos y biocombustibles son cuestiones actualmente importantes para la sociedad mundial. Frente a este escenario, es de suma importancia el empeño de la comunidad científica en la búsqueda constante de alternativas posibles para que el aumento de la producción agrícola esté garantizado y en sintonía con una buena calidad ambiental (Pedraza, y otros, 2010).

Para ello, las investigaciones se focalizan en la evaluación de la diversidad genética y bioquímica de los microorganismos rizosféricos, su caracterización en relación a la fijación biológica del nitrógeno atmosférico, solubilización de fosfatos, aporte de nutrientes, producción de hormonas vegetales y de sustancias capaces de captar hierro (sideróforos). También se incluye la selección de los microorganismos más eficientes en experimentos de inoculación en condiciones ambientales controladas de laboratorio, invernadero y de campo, al igual que el estudio de los costos de producción con la aplicación de microorganismos *vs* fertilizantes químicos en cultivos de interés agrícola (Pedraza, y otros, 2010).

La rizósfera y manejo sustentable. Las poblaciones microbianas del suelo están inmersas en un marco de interacción que afecta el desarrollo de las plantas y la calidad del suelo. Ellas están involucradas en actividades fundamentales que aseguran la estabilidad y productividad, tanto de los agroecosistemas como de los ecosistemas naturales. Investigaciones estratégicas y aplicadas han demostrado el interés de ciertas actividades de cooperación microbiana para ser explotadas como una biotecnología de bajo impacto y costo para contribuir con prácticas agro-tecnológicas sustentables y amigables con el ambiente. Ha sido ampliamente demostrado que los

microorganismos del suelo interactúan con las raíces de las plantas y constituyentes del suelo en la inter fase raíz-suelo. Este gran conjunto de interacciones entre suelo, raíces y microorganismos da lugar al desarrollo de un ambiente dinámico conocido como rizósfera, donde una variedad de formas microbianas puede desarrollarse activamente y en equilibrio (Pedraza, y otros, 2010).

Las micorrizas contribuyen a la nutrición, particularmente en la absorción de fósforo por las plantas, tanto en ecosistemas agrícolas como naturales. Esta relación simbiótica también mejora la captación de agua y otros nutrientes, además de la transferencia de nitrógeno a partir de distintas fuentes. La simbiosis micorrícica no sólo influye en el ciclado de nutrientes en el sistema suelo-planta, sino que también mejora la sanidad vegetal a través de una protección incrementada contra el estrés, ya sean biótico (por ej., ataque de patógenos), o abiótico (por ej., sequía, salinidad, metales pesados, contaminantes orgánicos, etc.), y mejoran la estructura del suelo a través de la formación de microagregados, necesarios para un buen estado nutricional e hídrico del suelo (Pedraza, y otros, 2010).

Biodiversidad microbiana y su efecto en la calidad del suelo. La calidad del suelo es definida por su capacidad para funcionar en un marco de ecosistema natural o modificado, sostener la productividad vegetal y animal, mantener o mejorar la calidad de agua y aire, y contribuir a la salud humana y habitabilidad. La calidad del suelo está fuertemente influenciada por los procesos microbianos que en él ocurren, y éstos, relacionados con la diversidad; por tanto, es muy probable que el mantenimiento de la estructura de la comunidad microbiana tenga la capacidad de servir como indicador temprano y de gran sensibilidad de la degradación o empobrecimiento del suelo (Abril. 2003, citado por Pedraza, y otros, 2010).

En un gramo de suelo hay millones de bacterias cultivables, entre las cuales se encuentra una gran diversidad metabólica para transformar los elementos que forman parte de los nutrientes necesarios para todos los seres vivos. Su presencia no indica que todos los microorganismos

participen activamente en la dinámica de esos elementos, ya que su contribución depende de su estado fisiológico, de su actividad enzimática y de la concentración y disponibilidad de los compuestos a utilizar. Se ha observado que diversas transformaciones microbianas como la oxidación aeróbica de metano y de amonio, así como la metanogénesis y la reducción de sulfatos, están generalmente comandadas por la actividad más que por el número de los microorganismos que intervienen específicamente en dichas transformaciones (Röling. 2007, citado por Pedraza, y otros, 2010).

Biofertilizantes y su importancia para la agricultura. Uno de los elementos más valiosos que puede utilizar la agricultura ecológica, lo constituye el uso de biofertilizantes, los cuales en los sistemas productivos constituyen una alternativa viable y sumamente importante para lograr un desarrollo agrícola ecológicamente sostenible, ya que permite una producción a bajo costo, no contamina el ambiente y mantiene la conservación del suelo desde el punto de vista de fertilidad y biodiversidad (Alfonso, 2005).

Pulido (2002) citado por Alonso (2005), definió a los biofertilizantes como aquellos biopreparados que contienen células vivas o latentes de cepas microbianas eficientes fijadoras de nitrógeno, solubilizadoras de Fósforo, potencializadoras de diversos nutrimentos o productoras de sustancias activas, que se utilizan para aplicar a las semillas o al suelo, con el objetivo de incrementar el número de estos microorganismos en el medio y acelerar los procesos microbianos de tal forma, que se aumenten las cantidades de nutrientes disponibles que pueden ser asimilados por las plantas o, se hagan más rápido los procesos fisiológicos que influyen sobre el desarrollo y rendimiento de los cultivos.

Entre otras acciones, los microorganismos facilitan la captación de nutrientes, producen fitohormonas que favorecen el enraizamiento, protegen a la planta contra patógenos, incrementan

la resistencia/tolerancia de la planta a la sequía o salinidad, descomponen sustancias tóxicas en el ecosistema y mejoran la estructura del suelo (Giller y Cadish, 1995, citado por Alonso, 2005).

La sostenibilidad de los sistemas agrícolas a largo plazo debe fomentar el uso y manejo efectivo de los recursos internos de los agroecosistemas. En este sentido, los biofertilizantes constituyen un componente vital de los sistemas sostenibles, ya que constituyen un medio económicamente atractivo y aceptable de reducir los insumos externos y de mejorar la cantidad y calidad de los recursos internos (Mejías, 1995, citado por Alonso, 2005)

El uso de productos biológicos aplicados como inoculantes dentro de los sistemas de producción agrícola, está teniendo un gran auge, especialmente para lograr una mayor disponibilidad de elementos que permitan un rendimiento sostenible de los cultivos, ayudando a la conservación del medio ambiente y una mayor tasa de retorno. Debido a que los productos biológicos son elaborados con organismos vivos, se requiere de un cuidadoso manejo para así evitar una reducción de su efectividad (Alfonso, 2005).

1.2. Antecedentes

Barrera (2018), evaluando el efecto de microorganismos benéficos en combinación con fertilizante sobre ejote francés, en Monjas Jalapa. Con el objetivo de evaluar el efecto del compuesto de microorganismos benéficos, en combinación con tres proporciones de fertilizante, sobre el rendimiento y calidad de vainas en el cultivo de ejote francés. La investigación se realizó bajo la estructura de un arreglo factorial en parcelas divididas, donde la parcela grande estuvo constituida por la aplicación y no aplicación de Stand Up®, y la parcela pequeña por las proporciones de fertilizante, la distribución de los tratamientos se realizó en bloques completos al azar, con seis tratamientos y cuatro repeticiones haciendo un total de 24 unidades experimentales. Siendo los tratamientos con proporciones del 50% 75% 100% de fertilizante, con/sin, Stand Up®. Evaluando

las variables: rendimiento total de vainas en kilogramo por hectárea (kg/ha), rendimiento de vainas exportables en kilogramos por hectárea (kg/ha), rendimiento de vainas de rechazo en kilogramos por hectárea (kg/ha). De acuerdo a los resultados obtenidos, se encontró que el T2 (Stand Up+75% fertilizante) fue el que obtuvo el mayor rendimiento promedio de 14,727.75 kg/ha, seguido del tratamiento T5 (Sin Stand Up+75% fertilizante) con promedio de 13,620.58 kg/ha, siendo la proporción del 75% el factor común en los dos tratamientos. Concluyendo con el análisis económico se determinó que el tratamiento Stand Up®+75% de fertilizante se considera económicamente factible para su implementación dentro de un proceso de producción de ejote francés ya que registro la mayor tasa marginal de retorno del 260%.

Santin (2017), evaluando efecto de la aplicación del Biol en el cultivo del Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), variedades Amadeus 77 y Dehoro, Zamorano Honduras. Con el objetivo buscar estrategias para disminuir el deterioro del suelo y los costos de fertilizar en regiones de escasos recursos. Realizó la investigación bajo la estructura de un diseño completamente al azar en parcelas divididas con arreglo factorial, dos variedades y cinco niveles de fertilización. Las parcelas se dividieron en cinco subparcelas, cada una con longitud de cuatro m. En cada subparcela se sembró 20 plantas Amadeus 77 y 20 plantas Dehoro. La unidad experimental fue constituida por cinco plantas de Amadeus 77 y cinco de Dehoro por tratamiento, en donde cada variedad fue tratada con los mismos cinco tratamientos, biol, Biol+DAP60+UREA30, Biol+DAP75+UREA38, DAP75+UREA38, sin fertilización. Evaluando las variables: número de vainas por planta, biomasa seca y rendimiento en el cultivo del frijol. Encontró que el mejor rendimiento de frijol se obtuvo con la aplicación de biol en Dehoro, no tuvo diferencia significativa al aplicar Biol y Biol+DAP60+UREA30 en la variedad Amadeus 77. Con los demás tratamientos si hubo diferencia significativa. La aplicación Biol+DAP75+UREA38 en la variedad Dehoro mostró el menor rendimiento. El fertilizante que tuvo el mejor efecto en el rendimiento fue el biol, siendo el mejor

ante los demás tratamientos. El Biol+DAP75+UREA38 y testigo no mostraron diferencia significativa, teniendo el menor rendimiento de los demás tratamientos. Concluyendo que realizar fertilizaciones con biol en el cultivo del frijol demostró efectos positivos en cuanto a biomasa seca, vainas + semilla, vainas secas, 100 semillas secas, semillas secas y rendimiento.

Narváez (2016), evaluando las alternativas de fertilización para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) con el empleo de microorganismos solubilizadores de fósforo, micorrizas y extracto de algas en la finca San Francisco cantón Huaca, Tulcán, Ecuador. Con el objetivo de evaluar la aplicación de biofertilizantes basados en microorganismos solubilizadores de fósforo, micorrizas y extracto de algas como alternativas de fertilización para disminuir el consumo de fertilizantes fosfóricos en el cultivo de papa. A través de un diseño experimental de bloques completamente al azar, cuya área utilizada fue de 480 m² con ocho tratamientos, las cuales son: 100% NPK, 100% NPK + Fosfotic, 100% NPK + Safer micorrizas, 100% NK + 75 % P + Fosfotic + Safer micorrizas, 100% NK + 50 % P, 100% NK + 25 % P + Safer micorrizas, 100% NPK + extracto de algas, extracto de algas. Evaluando las variables: emergencia de plantas (%), inoculación de biofertilizantes, altura de la planta, diámetro de tallos, número de tallos, clasificación de tubérculos, número total de tubérculos por planta, costos de producción. Obteniendo los siguientes resultados; el tratamiento T7 (tierra + compost + fosfotic + micorrizas) presenta un promedio de 503,89 g/planta, en tanto el T3 (testigo químico) obtuvo promedio de 372,05 g/planta, por lo cual se puede inferir que es posible utilizar una biofertilización sin afectar la productividad, al observar comportamientos estadísticamente iguales, en donde únicamente difieren el T1 (testigo absoluto) y el T2 (compost) con 135,77 y 153,12 g/planta respectivamente. Concluyendo que los biofertilizantes fosfotic (complejo de bacterias solubilizadoras de fósforo) y micorrizas en dosis de 5cc/L agua, disminuyen costos de producción sin afectar el rendimiento del cultivo de papa.

Serna (2013), evaluando el efecto de la inoculación conjunta con hongos micorrizales y microorganismos solubilizadores de fósforo en plantas de aguacate, Medellín, Colombia. Con el objetivo de evaluar el efecto de la inoculación conjunta con hongos formadores de micorrizas arbusculares y microorganismos solubilizadores de fósforo en plantas de aguacate. El diseño experimental fue completamente al azar con un arreglo factorial de tratamientos 3 x 6. Esto es, tres niveles de inoculación micorrizal (Mo, GF, MZ) y seis niveles de inoculación con PSM (PSMo, MRT, ASP, PSD, SER, NAT), cada tratamiento tuvo cuatro repeticiones. Las variables de respuesta evaluadas fueron: la altura de las plantas, grosor en la base del tallo, y la concentración de fósforo en los tejidos foliares se midió en función del tiempo (76, 229, 265, 295, 325 y 408 días después del trasplante). Obteniendo los siguientes resultados, variable altura de tallos y masa seca aérea de las plantas de aguacate Hass no fueron significativamente afectadas por la inoculación con hongos formadores de micorrizas arbusculares, con microorganismos solubilizadores de fósforo, ni por la co-inoculación con ambos ($P > 0.05$). Vale la pena resaltar que en el día 295 la aplicación del inóculo micorrizal multiespecie (MZ) generó plantas con una altura menor (68.6 cm) que aquellas no-inoculadas (80.9 cm); la altura de las plantas inoculadas con GF no presentó diferencias significativas con ambos tratamientos (71.7 cm). Concluyendo que este estudio pudo reflejar una tendencia marcada que la propuesta biotecnológica con la adición de microorganismos solubilizadores de fósforo y hongos formadores de micorriza, puede ser aplicable en tanto se mantenga la población necesaria para responder a los cambios en condiciones ambientales y manejos culturales propios de las actividades agrícolas.

Morfin (2017), evaluando el efecto de *Rhizobium etli*+*tropici* sobre el rendimiento de frijol, variedad ICTA Patriarca; Quesada, Jutiapa. Con el objetivo de evaluar el efecto de *R. etli* y *R. tropici* como fuente de fertilización nitrogenada sobre el rendimiento del cultivo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), variedad ICTA Patriarca. Utilizando el diseño experimental de bloques

completos al azar, con seis tratamientos: 0.40, 0.60 0.80 y 1 kg/ha de *Rhizobium*, 80 kg/ha de N y testigo absoluto. Evaluando las variables: número de nódulos por planta, peso seco de nódulos en gramos, materia seca de planta en gramos, rendimiento de grano al 14% de humedad en kilogramos por hectárea (kg/ha). Obteniendo los siguientes resultados: con la prueba de medias Tukey al 1%, demostraron que sí existen comportamientos estadísticamente diferentes, en el rendimiento de grano. Se formaron tres grupos de los cuales el grupo A está integrado por el tratamiento 80 kg/ha de nitrógeno, con una media producida de 687.33 kg/ha, el grupo B lo forman los tratamientos 1, 0.80 y 0.60 kg/ha de *Rhizobium* y testigo absoluto los cuales demostraron ser estadísticamente iguales, los tratamientos 0.60 kg/ha de *Rhizobium*, testigo absoluto y 0.40 kg/ha *Rhizobium* conforman el grupo C, el mejor tratamiento es 80 kg/ha de nitrógeno ya que generó el mayor rendimiento de grano, le siguen los tratamientos 1 y 0.80 kg/ha de *Rhizobium* con una media producida de 500 y 479 kg/ha respectivamente. Concluyendo que para la variable peso de materia seca y rendimiento de grano se obtuvo alta significancia estadística siendo el tratamiento 80 kg/ha de N estadísticamente diferente y superior al resto de tratamientos y como segunda opción el de 1 kg/ha de combinación.

Mazate (2016), evaluando el rendimiento de ejote francés bajo macro y micro túneles con distintas coberturas, en la finca Ghortex de San Andrés Itzapa, Chimaltenango, Guatemala. Con el objetivo de evaluar el rendimiento total y exportable del ejote francés (*Phaseolus vulgaris* L.) bajo estructuras de protección con dos distintas coberturas. Utilizando el diseño en bloques completamente al azar, con los siguientes tratamientos: T1= macro túnel con agryl de polipropileno, T2= macro túnel con nylon de polietileno, T3 = micro túnel con agryl de polipropileno, T4 = micro túnel con nylon de polietileno, T5= testigo relativo (sin protección). Evaluando las siguientes variables: rendimiento total en kg/ha y rendimiento total exportable en kg/ha, humedad relativa y temperatura. Obteniendo los siguientes resultados: estadísticamente no

existen diferencias significativas, para el promedio de rendimientos existe un incremento del 35.8% y 31.8% en el uso de macro túnel con agril de polipropileno y macro túnel con nylon de polietileno, respectivamente. Estos constituyen los mayores valores, en cuanto a producto final de exportación. A estos incrementos de rendimientos se le atribuye a las condiciones cultivables bajo protección, principalmente en el uso de macro túneles con cobertura polipropileno y polietileno, que comparados con el rendimiento del testigo relativo aumenta en promedio entre 3,000 - 3,800 kg/ha. Concluyendo que, en la evaluación de la producción de ejote francés bajo coberturas, estadísticamente no existió diferencia significativa en cuanto al rendimiento total y exportable en los tratamientos evaluados; sin embargo, hubo un incremento en producción exportable del 35.8 % y 31.8% en el uso de macro túnel con agril de polipropileno y macro túnel con nylon de polietileno con respecto al testigo relativo.

Marroquin (2016), evaluando el efecto de *Trichoderma harzianum* y *Glomus Intraradices* en el crecimiento radicular y rendimiento de ejote francés (*Phaseolus vulgaris* L.); Acatenango, Chimaltenango, Guatemala. Con el objetivo de conocer el efecto de *Trichoderma harzianum* y *Glomus intraradices*, en el desarrollo radicular y rendimiento ejote francés variedad Serengeti. Utilizando un diseño experimental de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones, dentro de cada bloque se ubicaron cuatro tratamientos. Los tratamientos evaluados fueron: *Trichoderma harzianum*, *Glomus intraradices* mezcla de *Trichoderma harzianum*, *Glomus intraradices* y el testigo, en el cultivo de ejote francés. La aplicación de los tratamientos se realizó a los ocho días después de la emergencia de las plantas de ejote francés, siendo esta la única aplicación durante el ciclo de cultivo. La aplicación de *Trichoderma harzianum* fue de una concentración de 5.2×10^{10} UFC; *Glomus intraradices* se aplicó a una concentración de 3,000 propagulos/litro, estos fueron aplicados en forma individual y en una mezcla de ambos, y como referencia un testigo absoluto. Evaluando las variables, peso seco en raíces, altura de la planta, numero de nódulos en

las plantas y rendimiento, obteniendo los siguientes resultados tratamiento con *T. harzianum* mostró el mayor valor en el rendimiento por planta de ejote francés, su peso fue de 470.43 gramos, le siguió en orden descendente el tratamiento de *G. intraradices*, con un peso de 453.71 gramos por planta. En el tratamiento combinado, *T. harzianum* y *G. intraradices*, se obtuvo un peso de 368.87 gramos por planta y el testigo, al cual no se le aplicó tratamiento alguno, mostró un peso de 214.85 gramos por planta, concluyendo que la aplicación de *Trichoderma harzianum* incrementa significativamente el rendimiento en ejote francés.

Pérez (2017), evaluando el rendimiento de cuatro variedades de ejote francés (*Phaseolus vulgaris* L.) con la aplicación de tres fertilizantes orgánicos en la comunidad Chichá, municipio de Zacualpa, El Quiché. Teniendo como objetivo principal, generar tecnología apropiada en el cultivo del ejote francés en la comunidad Chichá, municipio de Zacualpa, departamento de El Quiché, mediante la aplicación de fertilizantes orgánicos. A través de un diseño experimental de bloques al azar con arreglo bifactorial en parcelas divididas. Se contaron con 16 tratamientos con las variedades de ejote francés y los tipos de abonos orgánicos (gallinaza, lombricompost, vedagro). El número de repeticiones fue de cuatro y cada repetición estaba conformada por 16 tratamientos. Siendo los tratamientos: Serengueti + lombricompost, Serengueti + gallinaza, Serengueti + vedagro, Serengueti + 0, 4X4 + lombricompost, 4x4 + gallinaza, 4x4 +vedagro, 4x4 +0, Dinasty + lombricompost, Dinasty + gallinaza, Dinasty + vedagro, Dinasty + 0, Teresa + lombricompost, Teresa + gallinaza, Teresa + vedagro, Teresa + 0. Evaluando las variables de: rendimiento, número de granos/vaina, largo de la vaina, diámetro de la vaina, número de vainas/planta y rentabilidad. Obteniendo los siguientes resultados: en el rendimiento, el abono orgánico es superior a otro en cuanto al rendimiento obtenido puede ser debido a la cantidad de nutrientes que cada uno de ellos aporta de acuerdo a las cantidades que el suelo posee y los requerimientos nutricionales del cultivo. Concluyendo que el rendimiento del ejote francés se ve afectado debido a que es un cultivo de ciclo

corto, y la liberación de los nutrientes de parte de los abonos orgánicos es más lento en comparación a otras fuentes de nutrientes, pero con aplicaciones constantes pueden asegurarse mejores condiciones del suelo. Sin embargo, el lombricompost con Serengueti resultó ser la interacción con mayor producción 1568.975 kg/ha.

Lara, Hernández, Reyes, Pablo, & Zulueta (2019), evaluando la respuesta agronómica de *Phaseolus vulgaris* a la biofertilización en campo, Actopan, Veracruz. Teniendo como objetivo de evaluar la respuesta agronómica de *Phaseolus vulgaris* a la biofertilización. Los tratamientos evaluados en este trabajo fueron: T1: (testigo, T), T2: (fertilizado, F), T3: (inoculado con HMA), T4: (inoculado con Re), T5: (inoculado con HMA+Re), T6: (inoculado con HMA+50%F), T7: (inoculado con Re+50%F) y T8: (inoculado con HMA+Re+50%F). Evaluando las variables: altura de la planta (cm), diámetro del tallo (mm), número de hojas, flores, vainas y Rev. Mex. Cienc. Agríc. vol. 10 núm. 5 30 de junio - 13 de agosto, 2019 1039 nódulos (conteo visual), número de nódulos por planta (conteo visual), peso (g) y variables de calidad del grano (largo, ancho y grosor [mm] y espesor [g]), contenido de proteína total (%) (AOAC, 1975) y porcentaje de colonización radicular (%) (Giovannetti y Mosse, 1980). Encontró que Finalmente, con la interacción sinérgica entre estos microorganismos y el aporte reducido de fertilizante del tratamiento HMA+Re+50%F se obtuvieron los porcentajes más altos de proteína (25%), respuesta que de acuerdo con Ojeda et al. (2014) parece justificable, si se toma en consideración que los HMA mejoran la absorción de fósforo mediante su red hifal, mientras que *Rhizobium* (bacteria simbiótica y específica de las leguminosas) requiere una demanda alta de este elemento para la fijación biológica del nitrógeno, el cual es tomado por las plantas y transformado a proteínas. Concluyendo que el mejor tratamiento fue HMA+*Rhizobium*+50%F donde su interacción simbiótica mejoró la calidad del grano de *P. vulgaris* cv. 'Negro Michigan'.

Silvera (2017), evaluando cepas solubilizadoras del fósforo en el desarrollo del frijol caraota (*Phaseolus vulgaris* L.). La Molina, Lima. Teniendo como objetivo principal Evaluar la capacidad solubilizadora de P de las cepas seleccionadas de Rhizobium, en condiciones de invernadero, utilizando como planta indicadora el Frijol Caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) en dos tipos de suelo (Suelo Inceptisol ácido y suelo Entisol ligeramente alcalino). A través de un diseño de Bloques Completo al Azar con arreglo factorial (5C x 3P x 2S) y 3 repeticiones. Evaluando las variables: materia seca a la floración (PSPA), peso seco de vainas a la floración (PSV), peso seco total parte aérea a la floración (PTPA), nodulación (42 días), mg N/planta y mg P/planta a la floración, numero. de vainas/planta. (95 días), numero. de granos/planta. (95 días), peso de granos/planta (g), peso de 100 semillas (g), rendimiento de grano (kg/ha), mg N y mg. P a nivel de grano. Encontró que la influencia de las condiciones del suelo en la actividad de las cepas de Rhizobium, presenta alta significación estadística. Al comparar ambos suelos se puede observar que en el suelo Entisol de Costa, las cepas de Rhizobium, presentan mayor actividad solubilizadora de P, promoviendo la disponibilidad de nutrientes, logrando mayores incrementos en el rendimiento de grano (kg/ha) hasta 49.6% más que la producción alcanzada en el suelo Inceptisol de Selva (215.67 kg/ha). Concluyendo que las condiciones edáficas del suelo Entisol de Costa, favorecieron la respuesta del cultivo a la actividad de las cepas Rhizobium, lográndose incrementos de la materia seca y rendimiento de grano del Frijol Caraota (*Phaseolus vulgaris* L.)

1.3. Justificación del proyecto.

Guatemala tiene distribuido el 85% de la producción nacional de arveja, ejote y mini vegetales en los departamentos de Chimaltenango, Sacatepéquez y Sololá, el 15% restante en nuevas áreas en Huehuetenango, Quiché, Jalapa, Alta y Baja Verapaz (AGEXPORT, 2018).

Actualmente en Sololá existe la problemática de la baja productividad del cultivo de ejote, esto se debe a que no cuentan con alternativas productivas que se adecuen a los programas de producción agrícola que se trabaja en la localidad.

Según Barrera (2017) en su investigación citando al MARN (2009), menciona que el uso irracional de fertilizantes y plaguicidas ocasiona efectos negativos en el medio ambiente, reduciendo la población microbiana de los suelos, limitando así el desarrollo y el rendimiento de los cultivos, cuyo impacto se refleja en la economía de los agricultores.

En este sentido, el presente estudio tuvo como finalidad evaluar el efecto de la aplicación microorganismos al suelo, a base de: hongo micorrizogeno *Glomus intraradices*, el cual favorece la absorción de nutrientes e incrementa la tolerancia al estrés hídrico + *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus subtilis* que tiene el potencial de solubilizar fosforo + *Pseudomonas* sp que solubiliza potasio + *Azotobacter* sp. y *Azospirillum brasilenses* que fijan nitrógeno. Estos microorganismos, dentro de sus propiedades mejoran la absorción de nutrientes optimizando el desarrollo vegetal, favoreciendo los procesos de estimulación vegetal, que aplicados periódicamente pueden mejorar los suelos agotados por la actividad agrícola intensiva y mejorando la productividad del suelo (Successo, 2018).

Al respecto, se ha realizado estudios del uso de microorganismos benéficos aplicados al suelo, destacando el estudio de Barrera (2018) que evaluó el efecto de microorganismos benéficos en combinación con fertilizante sobre el cultivo de Ejote Francés, determinando que la aplicación del compuesto de microorganismos Stand Up®+75% de fertilizante, es económicamente factible para su implementación dentro de un proceso de producción de ejote francés, ya que registro la mayor tasa marginal de retorno del 260%. Por lo que en el presente estudio se validó la dosis antes mencionada, con el objetivo de mejorar los rendimientos del ejote, en parcelas de pequeños productores, que en la actualidad representan 60,000 familias de 200 comunidades guatemaltecas productoras de ejote francés que se dedican a la exportación de este cultivo (AGEXPORT, 2018).

1.4. Objetivo del proyecto.

1.4.1. General.

Evaluar la aplicación de microorganismos benéficos al suelo en el cultivo de ejote francés en San Andrés Semetabaj, Sololá.

1.4.2. Específicos.

Establecer el efecto de la aplicación de microorganismos aplicados al suelo en los componentes de crecimiento vegetativo del cultivo de ejote.

Determinar el efecto de la aplicación de microorganismos aplicados al suelo en los componentes de rendimiento del cultivo de ejote.

Determinar el efecto de la aplicación de microorganismos al suelo en la rentabilidad del cultivo de ejote francés.

2. DESARROLLO DEL PROYECTO

2.1. Descripción del proyecto.

2.1.1. Contexto del proyecto.

En términos de superficie cosechada, el cultivo de la arveja ocupa un área de 1,692.8 ha, y el cultivo de ejote 2,680.24 ha, representando respectivamente para cada cultivo un 3.5% y un 5.7% de la superficie total de hortalizas cosechadas en el país respectivamente para cada cultivo. (Guzman, 2016)

La producción de ejote francés a nivel nacional representa una de las principales fuentes de ingresos para los agricultores de la región que se dedican a la exportación de vegetales en fresco o congelados; según el comité de arvejas y vegetales de la AGEXPORT (2018), indica que el 85% de la producción nacional de arveja, ejote y mini vegetales, se localiza en los departamentos de Chimaltenango, Sacatepéquez y Sololá. El éxito de la industria ha promovido el desarrollo de nuevas áreas productivas en Huehuetenango, Quiché, Alta Verapaz, Baja Verapaz y Jalapa, que completan el 15% restante.

El Comité de Arveja y Vegetales representa a empresas exportadoras de arveja china, arveja dulce, arveja criolla, ejote francés, mini vegetales, entre otros, cuya base productiva proviene de alrededor de 60 mil familias en 200 comunidades de los departamentos de Chimaltenango, Sacatepéquez, Sololá, Huehuetenango, Alta y Baja Verapaz, Quiché y Jalapa, principalmente. (AGEXPORT, 2018).

Otra característica importante del ejote, es que a diferencia de otros productos agrícolas, genera trabajo y mano de obra permanente durante todo el año, por lo que asegura una mejor distribución de los ingresos, y la posibilidad de que las personas vinculadas al sector rural puedan

mantenerse en el campo obteniendo un medio de vida adecuado de su trabajo, sin emigrar a las ciudades (MAGA, 2014).

Actualmente el cultivo de ejote se ha visto afectado por los bajos rendimientos debido al uso excesivo de agroquímicos y al uso de programas de fertilización edáficos inadecuados para este cultivo. Ramos & Velázquez (2015), indican que en la agricultura moderna se aplican altos niveles de fertilizantes minerales y otros agroquímicos, con el fin de incrementar la producción y cubrir la creciente demanda de alimentos. Aunque el uso de estos insumos presenta ventajas inmediatas en el rendimiento de los cultivos, es bien sabido que su uso puede afectar negativamente la calidad y productividad de los suelos agrícolas. Debido a esta situación, el uso de microorganismos benéficos ha cobrado importancia como alternativa a la fertilización química y se han aislado cepas de bacterias *Pseudomonas fluorescens* y hongos capaces de solubilizar fósforo *Paecilomyces lilacinus*, movilizar potasio *Trichoderma harzianum* y azufre *Bacillus* sp., además de las ya conocidas bacterias fijadoras de nitrógeno *Azospirillum brasilenses*.

En este sentido, se realizó la aplicación un compuesto de microorganismos de concentración y dosis comercial, que contiene el hongo micorrizogeno *Glomus intraradices*, que favorece la absorción de nutrientes e incrementa la tolerancia al estrés hídrico, *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus subtilis*, que ayuda a la solubilizar de fosforo, *Pseudomonas* sp., que solubiliza el potasio; *Azotobacter* sp. y *Azospirillum brasilenses*, que fijan nitrógeno. Con la aplicación de estos microorganismos se mejoró la absorción de nutrientes, se optimizó el desarrollo vegetal, favoreciendo así los procesos de estimulación vegetal, la aplicación periódicamente de estos microorganismos que tienen la propiedad de mejorar los suelos agotados por la actividad agrícola intensiva, mejorando así la productividad agrícola y por ende los ingresos de los productores (Successo, 2018).

Tabla 6.

Microorganismos benéficos y concentración aplicados en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.

Microorganismo	Concentración
<i>Azospirillum brasilense</i>	2.78 x 10 ¹⁰ UFC/Lt
<i>Azobacter</i> sp.	2.78 x 10 ¹⁰ UFC/Lt
<i>Bacillus subtilis</i>	1.78 x 10 ¹⁰ UFC/Lt
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	2.78 x 10 ¹⁰ UFC/Lt
<i>Pseudomonas</i> sp.	3.58 x 10 ¹⁰ UFC/Lt
<i>Gluconacetobacter diazotrophicus</i>	3.00 x 10 ¹⁰ UFC/Lt

(Successo, 2018)

2.1.2 Tipo del proyecto.

Durante 2012, en la Unión Europea se importaron más de 33,753 toneladas de ejote francés, siendo los principales proveedores por su orden en toneladas: Marruecos con 1.441, Túnez con 652 t, Guatemala con 537 t, Perú con 221 t. En este año, Guatemala exportó 537 toneladas de ejote francés a la Unión Europea, ningún otro país de la región tiene registradas exportaciones a la Unión Europea para este producto. Los principales destinos de las exportaciones de Guatemala han sido Reino Unido con 535 t, y España con 1.6 t (MAGA, 2014) Actualmente las exigencias de los mercados extranjeros por la calidad del ejote francés hacen que los productores busquen herramientas que los ayuden a mejorar en calidad y productividad sus cultivares. Según el CIAT (2015), las características físicas de la vaina son los principales estándares requeridos para la comercialización, entre los cuales están: longitudes de 11 a 14 centímetros, y un grosor de cinco a siete mm, estas características las presenta el cultivo entre los 55 y 60 días.

Por lo tanto, mediante la ejecución del proyecto de adaptación de la aplicación de un compuesto de microorganismos benéficos en el cultivo de ejote francés, se encontró una respuesta técnica para el problema de la disminución de producción de ejote en la zona.

2.1.3. *Tamaño del proyecto.*

En este sentido para definir el tamaño de la unidad experimental se tomó como base a la guía de investigación agrícola de la Escuela Nacional Central de Agricultura, en la cual hace referencia que a mayor área experimental se reduce el coeficiente de variación según lo indica la siguiente tabla.

Tabla 7.
Coeficiente de variación según tamaño de parcela.

Tamaño de parcela m²	Coeficiente de variación %
1	31.5
2	30.2
4	30.1
8	28.3
12	25.3
16	23.5
18	22.4
20	20.3
30	19.4
40	18.9
45	18.7
50	18.5
55	18.3
60	18.1
70	17.9
80	17.5
100	17.3

(Sitún, 2007)

De acuerdo a esta información el proyecto se realizó en la aldea Las Canoas, municipio de San Andrés Semetabaj, del departamento de Sololá. Por la naturaleza del estudio y del cultivo se

procedió a trabajar con dos parcelas brutas y en la parte central de cada una de ellas se estableció una parcela neta; la primera con aplicación de microorganismos a dosis de 1.3 l/ha y la otra sin aplicación de microorganismos (tecnología tradicional); el área utilizada fue de 441 m², comprendiendo dos parcelas brutas de 220.5 m² y en cada una de ellas una parcela neta de 200 m² en las cuales se sembró el cultivo de ejote, se dejó un distanciamiento entre cada parcela de 50 cm, en cada parcela se elaboraran nueve surcos de un metro de ancho y 20 metros de largo, sembrando dos semillas por postura a una sola hilera.

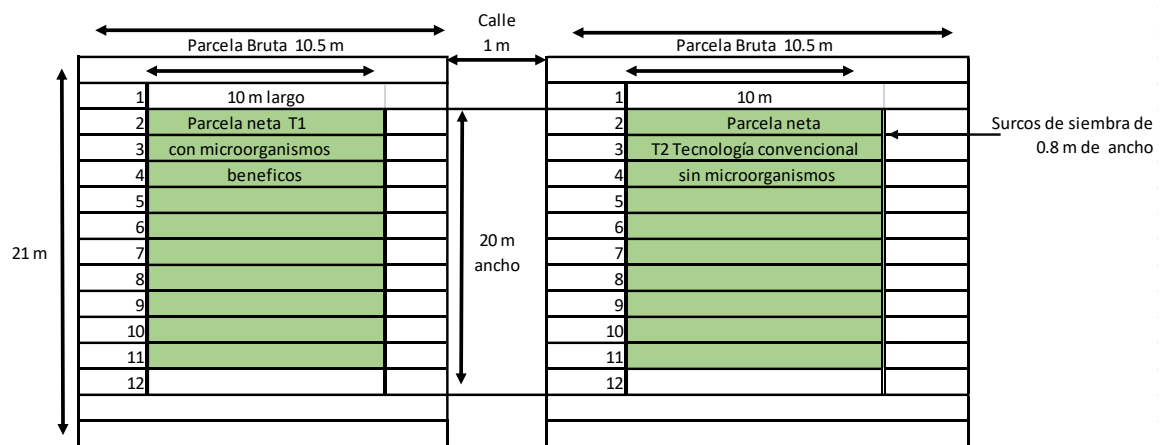


Figura 1. Croquis de la parcela trabajada en la aplicación de microorganismos beneficios al suelo en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.

2.1.4. Descripción de la localización del proyecto.

El trabajo se realizó en la aldea Las Canoas, del municipio de San Andrés Semetabaj, del departamento de Sololá; teniendo ubicado en el barrio el centro, cuenta con acceso de vehículo; se localiza en los 2,247 msnm, latitud Norte 14°43'13", longitud Oeste 91°06'02". El municipio de San Andrés Semetabaj colinda con siete municipios de tres departamentos distintos, al norte con Chichicastenago departamento del Quiche; al este con Tecpán y Patzún departamento de

Chimaltenango, al sur con Santa Catarina Palopó y San Antonio Palopó y al oeste con Panajachel y Concepción (Tohom, 2014).

Las temperaturas que existen oscilan entre los 12 y 24 grados centígrados, la precipitación pluvial es variable, se encuentra entre los 1,000 y 4,000 milímetros al año. La época lluviosa se manifiesta por lo regular durante los meses de mayo a octubre (Tohom, 2014).

2.1.5. Procedimiento.

Material de estudio. El material de estudio fue el cultivo de ejote francés (*Phaseolus vulgaris* L.), éste pertenece a la familia de las leguminosas, y se identifica internacionalmente bajo la sub partida arancelaria 070890. Es una planta de origen americano y centroamericano, que fue distribuida por el mundo por los españoles y portugueses después de la conquista (MAGA, 2014)

El ejote posee un sistema radicular fasciculado, a veces fibroso con mucha variación incluso en plantas con la misma variedad, el pivotante se presenta en bajo porcentaje. Dispone de gran cantidad de raíces secundarias, terciarias y cuaternarias. El ejote contiene nódulos en la parte superior y media de las raíces que mediante simbiosis con el hongo *Rhizobium phaseoli*, se encargan de fijar nitrógeno atmosférico. Dependiendo la variedad y el hábito de crecimiento los tallos son herbáceos delgados, de diferente tamaño, longitud, número de nudos, diámetro y longitud de entre nudos. En cada nudo se encuentran insertadas hojas, ramas, vainas y racimos florales, las hojas son compuestas, trifoliadas, dotadas de pequeñas estipulas en la base del peciolo. Los folíolos son ovalados o triangulares y de diferente color y pilosidad según la variedad, posición en el tallo y edad de la planta. La inflorescencia puede ser axilar o terminal, dependiendo de su inserción en el tallo; es un conjunto de racimos, es decir, un racimo principal con un grupo de racimos secundarios. La flor es típica papilionácea de fecundación autógama, en su desarrollo tiene dos etapas, botón floral y botón completamente abierta. Según la variedad, así es el color, blanco,

rosado o púrpura. Los frutos (vainas) varían en forma, color, diámetro y largo, formadas por dos valvas unidas por fibra. Las semillas son de forma cilíndricas, arriñonada, esférica; provista de dos cotiledones gruesos; con colores variados, rojo blanco, negro café, entre otros, también existen la combinación de dos colores, dependiendo de la variedad (González, 2003).

Descripción del tratamiento evaluado. El tratamiento evaluado dentro de las parcelas a nivel de campo, fue la aplicación dirigida al suelo en forma drench o tronqueada del compuesto de microorganismos de concentración y dosis comercial, que contiene *Gluconacetobacter diazotrophichus*, *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas* sp., *Azotobacter* sp. Y *Azospirillum brasilense*. La dosis que se utilizó en la parcela fue de 1.3 l/ha, no obstante, se realizó el cálculo de la dosis comercial para el área que se trató, se realizaron tres aplicaciones, la primera al momento de la siembra, la segunda aplicación ocho días después de haber germinado el ejote y la tercera aplicación se realizó a los ocho días después de la segunda aplicación.

Diseño de los tratamientos. El análisis de los resultados la aplicación de los microorganismos se realizó a través de comparación de dos muestras (muestras pareadas), en este caso se seleccionan 25 plantas de ambos tratamientos (T1 y T2) con la finalidad de tener 25 pares de plantas, se procedió a realizar la aplicación de microorganismos benéficos al tratamiento uno (T1) y el segundo tratamiento o testigo absoluto quedó sin aplicación de microorganismos como es manejado en la agricultura convencional en la región. El T2 o testigo relativo quedo sin la aplicación de microorganismos benéficos (tecnología tradicional). El empleo de muestras independientes está influenciado por las variaciones del ambiente, por lo que durante el desarrollo del proyecto se llevó un registro de las variaciones climáticas (temperatura y precipitación). Para evitar la variación las parcelas se colocarán una al lado de la otra, tal como se detalla en la figura uno (Fernández, Trapero, & Dominguez, 2010).

Tabla 8.

Tecnologías a comparar, en el estudio de la aplicación de microorganismos benéficos en el cultivo de ejote; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.

Tratamiento	Descripción
T1	Aplicación de Microorganismos 1.3 l/ha
T2	Testigo Relativo

Manejo del proyecto.

Análisis de suelo. Esta actividad se realizó con la finalidad de conocer las condiciones fisicoquímicas del suelo donde se estableció el proyecto, se tomaron muestras de suelo de ambas parcelas, del tratamiento (T1) con microorganismos benéficos y de la parcela del testigo absoluto que se manejó con la tecnología convencional (T2). Se realizaron un total de cuatro análisis de suelos para conocer el índice de disponibilidad de nutrientes y de la población microbiológica de suelos, dos análisis correspondientes a la parcela tratada con microorganismos benéficos (T1) y dos para el testigo absoluto (T2), el primer muestreo se realizó previo a iniciar el estudio para contar con información de las condiciones físico químicas y microbiológicas del suelo, los dos análisis de suelo restantes se realizaron al finalizar las el ciclo del cultivo para determinar el efecto que tuvo en el suelo el tratamiento de la aplicación de los microorganismos benéficos.

La metodología consistió en: ubicar un punto intermedio en la parcela, eliminar los primeros cinco centímetros del perfil del suelo para luego extraer la porción de suelo existente a 20 centímetros de profundidad; colocarla en bolsas de papel sin tener contacto directo con las manos; colocar la etiqueta e identificar con fecha y lugar de la muestra. Cabe destacar que una muestra de suelo se conformó por cinco sub-muestras.

Las muestras fueron enviadas al laboratorio ANALAB de ANACAFE, estas compartieron los resultados 15 días después de recibida la muestra, los muestreos se realizaron en los meses de febrero y mayo del 2020 y pueden observarse en los resultados en los anexos.

Preparación del suelo. Se realizó un barbecho de manera manual con azadón, con la finalidad de remover el suelo entre 0.30 y 0.40 metros, inmediatamente después de la cosecha del cultivo anterior, esto brinda los siguientes beneficios: permitió incorporar los residuos para su rápida descomposición, redujo la población de malas hierbas, brinda control de larvas de insectos que invernan por la solarización; conservar la humedad del suelo y aflojar el suelo, lo cual mejora su estructura y la absorción de nitratos por la planta de ejote. Esta actividad se realizó en el mes de febrero del 2020.

Trazo de parcelas. Se realizó con la finalidad de delimitar el área del proyecto y diferenciarla del resto de la parcela. Esta actividad se realizó con el apoyo de un jornalero. El tiempo de realización fue de un día. Las herramientas y materiales utilizados fueron: metros, martillo, marcadores, machete, libreta de apuntes, tarros de cañaveral, rafia, y nilón plástico para marcar las plantas y las áreas. Esta actividad se realizó en el mes de marzo de 2020

Preparación de los surcos. La dirección de los surcos se elaboró en el sentido del lado más largo del terreno o norte al sur por la posición del terreno. Se elaboraron camas de 20 cm de alto con un ancho de 80 cm. Esta actividad se realizó en el mes de febrero del 2020.

Instalación de sistema de Riego. El sistema de riego se acopló a la línea principal del grupo de riego de la cooperativa San Miguel Las Canoas. Se utilizó una manguera auto compensada de alta presión, con goteros a cada 20 centímetros de distancia con una descarga de 1 Litro/hora.

Colocación del acolchado tipo molch. El acolchado que se colocó en el estudio fue plata-negro, siendo uno de los más utilizados en el cultivo de hortalizas, con perforaciones a 10 centímetros (cm) de distancia a la cual se establecieron las semillas de ejote francés a doble postura. Esta actividad se realizó en el mes de febrero del 2020.

Siembra. La Siembra se realizó sobre el surco a una sola hilera, colocando dos semillas de ejote por postura, la profundidad de la siembra fue entre 0.02 a 0.04 metros y con un

distanciamiento de 0.10 metros entre posturas, con la intención de facilitar las labores de cosecha. Esta actividad se realizó en el mes de febrero del 2020.

Aplicación de microorganismos. Se realizaron tres aplicaciones de forma drench o tranqueada de solución de microorganismos benéficos que contenían: *Gluconacetobacter diazotrophichus*, *Pseudomonas fluorescens* y *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas* sp., *Azotobacter* sp. y *Azospirillum brasilense*; la dosis utilizada fue de 1.3 l/ha, la primera aplicación se realizó al momento de la siembra, la segunda aplicación se realizó ocho días después de germinado el ejote y la tercera aplicación se realizó a los 16 días después de germinado. Esta actividad se realizó en el mes de marzo del 2020.

Fertilización. Esta actividad se realizó con el objetivo de aportar los nutrientes necesarios que requiere la plantación de ejote y se realizó en base a la tecnología convencional utilizada por los agricultores de la localidad, por lo tanto, se utilizó el mismo fertilizante y las mismas dosis para ambas parcelas. La aplicación de los fertilizantes se realizó de forma granulada aplicada a la base de la planta. Se realizaron tres fertilizaciones: la primera al momento de elaborar los surco; la segunda aplicación se realizó a los 30 días después de germinados y la tercera aplicación a los 45 días después de la germinación. La fertilización consistió en: 95.51 kg N/ha, 70.47 kg P₂O₅/ha, 31.21 kg K₂O/ha, 46.24 kg CaO/ha, 4.67 kg MgO/ha, 14.10 kg S/ha, 14.48 kg SO₃/ha, 0.53 kg B/ha, 0.03 kg Fe/ha y 0.03 kg Zn/ha. Los fertilizantes que se utilizaron son Nitrocomplex Plus (N 20% - P₂O₅ 20% - K₂O 3% - S 4%), Hidrocomplex (N 12.4% - P₂O₅ 11.4% - K₂O 17.7% - S 8% - MgO 2.65% - SO₃ 2.5% - B 0.0015% - Fe 0.02% - Zn 0.02%) y Nitrabor (N 15.4% - CaO 25.6% - B 0.3%). La aplicación de fertilizantes fue del mes de febrero al mes de abril del 2020.

Tabla 9.

Requerimientos nutricionales para el cultivo de ejote francés.

Requerimientos en kg/ha					
Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Azufre	Calcio	Magnesio
135	35	160	14	196	17

(Ramírez, 2014)

Riego. Esta actividad se realizó con la finalidad de compensarle al cultivo la cantidad de agua perdida por el efecto de evapotranspiración. Antes de la siembra se realizaron dos riegos de una hora cada uno con el objetivo de humedecer el suelo y garantizar la germinación de la semilla de ejote, posteriormente se realizaron 11 riegos de una hora, con intervalos a cada cuatro días. Esta actividad se realizó de febrero a mayo del 2020.

Tutorado. La colocación de los tutores se realizó para proporcionarle a las plantas el sostén necesario para evitar el contacto directo del follaje y las vainas con el suelo y rastrojo, esta actividad se realizó con el objetivo de disminuir la proliferación de enfermedades persistentes y obtener vainas de mejor calidad. Esta actividad se realizó en el mes de abril del 2020.

Control de malezas. El control de malezas en el cultivo de ejote se realizó con el objetivo de eliminar todo tipo de plantas que compiten por luz, agua y la absorción de nutrientes con el cultivo de ejote, el control se realizó de manera manual eliminando las malezas de la base del tallo de la planta de ejote y en las calles de los camellones donde no se brindó cobertura el molch. Esta actividad se realizó en los meses de marzo y abril del 2020.

Control de plagas y enfermedades. Esta actividad se realizó con el apoyo de un jornalero quien se encargó de realizar las actividades agronómicas para el control de plagas y enfermedades en la parcela de estudio bajo la supervisión del responsable del estudio. Las principales enfermedades que se combatieron fueron: Antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum*), roya del

frijol (*Uromyces phaseoli*) Alternaria (*Alternaria* sp.) mancha por Ascochita (*Ascochyta faselorum* Sacc.) y Mildiu polvoriento (*Erysiphe polygoni*); para el control de las enfermedades se realizaron aplicaciones de fungicidas preventivos de contacto y sistémicos curativos de uso permitido por la exportación. Las principales plagas controladas en el estudio fueron: tortuguillas (*Diabrotica* sp.), (*Chrysomelidae* sp.); mosca blanca (*Bemisia tabaci*), (*Trialeurodes* sp.); pulgones (*Aphis* sp.), trips (*Trips* sp.) y gusano minador (*Agromyza* sp.), para el control de insectos se realizaron aplicaciones de insecticidas sistémicos y de contacto de uso permitido para la exportación.

En el desarrollo del estudio se aplicaron fungicidas y bactericidas vía drench o tronqueado en el cultivo para proteger los microorganismos benéficos, así como lo recomienda Barrera (2018), en su investigación. Estas actividades se realizaron de marzo a mayo del 2020.

Cosecha y manejo pos cosecha. Para el caso de la variedad Serengeti y las condiciones de la localidad donde estableció el estudio, la cosecha inicio a los 60 días de haber germinado el ejote y tuvo una duración de cinco semanas.

Las características solicitadas para las vainas de ejote fueron las siguientes: un largo de 0.12 m a 0.16 m de largo y un diámetro aproximado de 5 a 8 milímetros. Las vainas de ejote deben tener un color verde, de un tamaño uniforme, vainas tiernas, libres de manchas o daños mecánicos.

El corte de las vainas se realizó de forma manual, colocándolas en cubetas para evitar que las vainas sufrieran daños mecánicos, posteriormente se colocaban de forma ordenada en cajas de plástico y se trasladaban a los lugares de acopio para evitar la deshidratación de las vainas. Posteriormente se trasladaron las cajas a la cooperativa para enviarlas a la planta procesadora. Esta actividad se realizó durante los meses de abril a mayo de 2020.

Registro de datos. Esta actividad consistió en el registro de los datos obtenidos de los indicadores agronómicos de las plantas seleccionadas de ambos tratamientos, el registro de las aplicaciones realizadas y de los análisis correspondientes obtenido del proyecto. Esta actividad

estuvo a cargo del responsable del estudio. Esta actividad se realizó del mes de febrero al mes de mayo del 2020.

2.2. Indicadores y medios de verificación.

2.2.1. Indicadores de crecimiento vegetativo.

Altura de planta (cm). Se procedió a toma la altura en centímetros de las 25 plantas seleccionadas en cada tratamiento de forma semanal, para poder observar el comportamiento del crecimiento semanal de cada planta de ejote seleccionada en cada parcela, la altura se tomó de la base del tallo de la planta al meristemo apical. Para la obtención de este indicador se utilizó un metro y la libreta de apuntes para anotar los datos. Este indicador se midió del mes de marzo al mes de abril del 2020.

Largo de vaina (cm). Se midió el largo en centímetros de las vainas cosechadas de las 25 plantas marcadas en ambos tratamientos, esta actividad se realizó durante los cinco cortes que se realizaron en el cultivo de ejote, el largo de las vainas requerido por las exportadoras va de 10 a 17centrimetro. Para la obtención de este indicador se utilizó una regla graduada en centímetros y se anotaron los datos en la libreta de campo. Esta actividad se realizó durante los meses de abril a mayo del 2020.

Diámetro de vaina (mm). Se midió el diámetro de las vainas cosechadas en milímetros de las 25 plantas seleccionadas de cada tratamiento, el diámetro requerido por las exportadoras para las vainas de ejote es de seis a nueve milímetros de grosor. Para la obtención de este indicador se utilizó una regleta calibradora graduada en milímetros para tuercas y tornillos, la medición consistió en insertar la vaina de manera que pasara libre por los orificios graduados del instrumento, obteniendo así el diámetro en milímetros de las vainas. Esta actividad se realizó durante los meses de abril a mayo del 2020.

2.2.2. Indicadores de rendimiento.

Peso en kg/ha. Este indicador se obtuvo midiendo el peso de cada vaina cosechada de las 25 plantas seleccionadas en cada tratamiento, los datos obtenidos se tabularon en un libro de Excel para llevar el registro de los pesos obtenidos en cada uno de los cinco cortes realizados. Para la obtención de este indicador se utilizó una balanza analítica y se midió el peso en gramos. Esta actividad se realizó de abril a mayo del 2020.

Número de vainas por planta. Se contabilizaron todas las vainas cosechadas durante los cinco cortes que se realizaron en la parcela del cultivo de ejote, para ello se elaboró un registro en una tabla de Excel para cuantificar el número de vainas por planta. Para la obtención de este indicador se utilizaron sobres de papel manila marcados con el número de plantas y número de tratamiento para evitar el extravío de las vainas cosechadas de cada planta seleccionada. Esta actividad se realizó de abril a mayo del 2020.

2.2.3. Indicadores económicos.

Rentabilidad neta por medición de producción TM (margen neto). El indicador económico se obtuvo por medio de la aplicación de la siguiente formula [Valor de la producción – Costos totales] / TM de producción. La unidad en la que se expresa el rendimiento total se puede escoger entre las que se mencionaron anteriormente, dependiendo del tipo de actividad, los estándares regionales o nacionales, la población objetivo, etc. Los subgrupos de este indicador se pueden mostrar en términos del rendimiento sobre costos en efectivo (margen bruto), rendimiento sobre costos en efectivo y costos distintos al efectivo, rendimiento sobre costos en efectivo y costos del terreno (FAO, 2016).

Con la conversión promedio de cada parcela y el porcentaje de aprovechamiento se proyectaron los ingresos para una hectárea de producción, esto al restarle el costo por hectárea dio

como resultado la utilidad por hectárea. Al dividir la utilidad por hectárea dentro de los costos por hectárea se obtuvo también el porcentaje de rentabilidad para una tonelada métrica de producción de ejote.

2.3. Metodología de evaluación del proyecto.

2.3.1. Indicadores de resultados.

Indicadores de logros. En cuanto a los resultados que se obtuvieron mediante la aplicación de los microorganismos al suelo, el logro más significativo fue obtener una mejoría en los rendimientos del cultivo de ejote francés de la parcela tratada. La aplicación de microorganismos, promovió las condiciones adecuadas para que la planta pueda mejorar la absorción de nutrientes disponibles en el suelo, mejorando así el desarrollo fisiológico de las plantas y por ende los rendimientos. Logrando así una respuesta positiva ante las actividades del manejo agronómico, dando como resultado un mayor número de vainas de mejor calidad.

Indicadores de impacto. El proyecto tuvo buena aceptación por los productores de la localidad, por lo que existe la probabilidad que los productores adopten la aplicación de microorganismos benéficos al suelo, para mejorar los rendimientos de sus cultivos tanto de consumo local como de exportación. Aportando así un efecto positivo al medio ambiente pues se reducen las cargas químicas que se utilizan para la producción de sus diferentes cultivos.

2.3.2. Indicadores de gestión.

Indicadores de procesos. Se llevó a cabo los procesos de cada una de las actividades que solicitó la unidad productiva para realizar el estudio según el manejo agronómico convencional aplicado por los productores locales. Se brindó un seguimiento constante al estudio, asegurándose

que las actividades se realizaran con normalidad, apegados a la metodología establecida y acorde a las necesidades del estudio.

Indicadores de recursos. Los recursos necesarios para la realización del proyecto fueron proveídos en su totalidad por el titular del proyecto. Los insumos utilizados fueron: semilla, nylon molch, plaguicidas, fertilizantes, análisis de laboratorio, el material de estudio (microorganismos benéficos), equipo de protección personal, insumos para demarcación de la parcela.

2.4. Presupuesto del proyecto.

Para el cálculo total del estudio se tomaron en cuenta todas las actividades necesarias para la producción del cultivo de ejote, los rubros que se tomaron en consideración fueron los siguientes: semilla de ejote variedad Serengeti, microorganismos benéficos, agroquímicos, fertilizantes, análisis de laboratorio, molch, riego, materiales para marcación, mano de obra y arrendamientos.

Los costos totales ascienden a Q 10,045.50 de los cuales: costos directos o variables corresponden a Q9054.00 y de los costos fijos ascienden a Q991.50.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los microorganismos desde la década de los 80 gracias a las investigaciones del científico Teruo Higa, profesor de horticultura de la Universidad de Ryukyus en Okinawa, Japón, han demostrado ser una alternativa eficiente y sostenible en la producción de alimentos. Los microorganismos consisten en productos formulados que contienen más de 80 especies de microorganismos, algunas especies son aeróbicas, anaeróbicas e incluso especies fotosintéticas cuyo logro principal es que pueden coexistir como comunidades microbianas e incluso pueden completarse (Pedraza, y otros, 2010).

3.1. Evaluación del proyecto.

Cualquier tecnología o práctica que los agricultores utilizan representa una manera particular de resolver uno o varios problemas. Cada una responde a las preocupaciones de los agricultores de maneras específicas, que pueden considerarse como los rasgos o características que definen la tecnología. Cualquier práctica o tecnología tiene sus rasgos positivos y negativos. En consecuencia, la elección de una tecnología o práctica depende en gran medida del balance entre sus características positivas y negativas, o en otras palabras, los resultados que se obtengan a nivel de campo. En este sentido, en los siguientes párrafos, se hace una comparación y análisis de la aplicación de microorganismos aplicados al suelo y su efecto en indicadores de crecimiento vegetativo y de rendimiento en el cultivo de ejote, bajo las condiciones edafoclimáticas de San Andrés Semetabaj, Sololá.

3.1.1. Aspectos técnicos.

Crecimiento vegetativo. La fotosíntesis que se lleva a cabo en las plantas, produce carbohidratos que son distribuidos entre los diferentes órganos de la planta y son empleados en la construcción y funcionamiento de los tejidos. En este sentido, el análisis del crecimiento vegetativo, consistió en llevar un registro basado en muestreo del tejido vegetal a lo largo del ciclo del cultivo. Mediante los indicadores de altura de planta, largo de vaina y diámetro de vaina, se verifico el efecto de la aplicación de microorganismos al suelo en el cultivo de ejote.

Altura de planta. La altura de planta está directamente relacionada con la cantidad de masa foliar, entre más área foliar tenga la planta, tendrá mayor área fotosintética para la formación de azúcares, esto tiene relación, ya que una planta con mayor área foliar tiene mayor capacidad de generar más alimento para sí misma teniendo un mejor desarrollo y por ende mejor rendimiento.

Durante el tiempo que duro el estudio, se realizaron cinco lecturas en cada una de las parcelas, considerando la altura al meristemo apical y la altura al meristemo foliar.

En la tabla 10, se presentan las medias de datos de campo para la altura de planta (meristemo foliar), datos tomados al momento de la cosecha, midiendo 25 plantas de cada parcela neta con una cinta métrica desde el nivel del suelo hasta el meristemo foliar. Como se aprecia la media de las lecturas, en donde se aplicó Microorganismos, tuvo una media de 44.68 cm, un 9.61% superior al testigo relativo. En este sentido, los microorganismos son considerados como promotores del crecimiento de las plantas, favoreciendo el crecimiento de las plantas por diferentes mecanismos: síntesis de fitohormonas (fundamentalmente el ácido indolacético), promocionan el crecimiento de la raíz y la proliferación de los pelos radicales, inhiben el crecimiento de microorganismos patógenos y producen sustancias quelantes del hierro (sideróforos) que aumentan su absorción por parte de las plantas. Además, intervienen en la fijación del nitrógeno (bacterias fijadoras de

nitrógeno) y aumentan la absorción de agua y nutrientes y la absorción del fósforo (micorrizas) (Pedraza, y otros, 2010).

Tabla 10.

Comparación de dos muestras por el método de muestras independientes para altura de planta (meristemo foliar) expresada en centímetros, en la aplicación de microorganismos aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.

Par	Tratamiento con Microorganismos (X_1)	Testigo sin Microorganismos (X_2)	$X_1 - X_2$	$(X_1 - \bar{X}_1)^2$	$(X_2 - \bar{X}_2)^2$
1	44.5	45.50	-1.00	0.03	22.47
2	46.5	52.50	-6.00	3.31	137.83
3	55.5	50.50	5.00	117.07	94.87
4	47.0	41.50	5.50	5.38	0.55
5	41.5	38.00	3.50	10.11	7.62
6	48.0	42.00	6.00	11.02	1.54
7	43.5	36.50	7.00	1.39	18.15
8	39.5	37.50	2.00	26.83	10.63
9	50.5	44.00	6.50	33.87	10.50
10	37.5	49.00	-11.50	51.55	67.90
11	43.5	40.00	3.50	1.39	0.58
12	53.0	30.00	23.00	69.22	115.78
13	37.0	44.00	-7.00	58.98	10.50
14	42.0	44.00	-2.00	7.18	10.50
15	41.5	39.00	2.50	10.11	3.10
16	45.5	38.00	7.50	0.67	7.62
17	45.0	37.00	8.00	0.10	14.14
18	40.0	38.00	2.00	21.90	7.62
19	40.0	37.50	2.50	21.90	10.63
20	38.0	41.50	-3.50	44.62	0.55
21	46.5	36.00	10.50	3.31	22.66
22	47.0	39.00	8.00	5.38	3.10
23	53.5	41.00	12.50	77.79	0.06
24	43.5	42.50	1.00	1.39	3.03
25	47.0	34.50	12.50	5.38	39.19
N	25	25			
Total	1117.0	1019.0			
Media	44.68	40.76			
S²	24.58	25.88			

En la tabla 11, se observa, el cálculo de t Student, para determinar si existe diferencia significativa entre los dos tratamientos evaluados.

Tabla 11.

Cálculo de t de Student al cinco por ciento de error para el indicador altura de planta (meristemo foliar) expresada en centímetros, en la aplicación de microorganismos aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.

	SD	S\bar{D}	t calculada	t tab 0.05	Significancia
FC-FT N=25	25.23	1.42	2.76	2.0104	*

*= Diferencia estadística significativa; Ttab= gl; 2(N-1), 5%.

Considerando un nivel de significancia del cinco por ciento, estadísticamente se refleja en la tabla 11, que la $t_{calculada}$ con un valor de 2.76 es mayor que la $t_{tab 0.05}$ con valor de 2.0104, esto significa que se rechaza la hipótesis nula ($\mu D=0$), por lo tanto, las aplicaciones de microorganismos aplicados al suelo, influyen en el crecimiento vegetativo del cultivo de ejote francés (*altura de planta / meristemo foliar*).

En el caso de las aplicaciones de microorganismos, se han realizado estudios no sólo en relación con el impacto que tiene la presencia de éstas sobre la especie vegetal, sino también con respecto a los mecanismos que estos organismos emplean para promover el crecimiento e interactuar con la planta (Pedraza, y otros, 2010).

Los efectos del uso de los tratamientos biológicos pueden ser directos o indirectos. Entre los primeros se encuentran la fijación de nitrógeno atmosférico, absorción incrementada de agua y nutrientes, y la producción de reguladores del crecimiento, tales como auxinas, citocininas y giberelinas. Estas hormonas podrían afectar el pool hormonal endógeno de la planta modificando la morfología, la superficie y la actividad enzimática radical, como así también el crecimiento de la parte aérea. Entre los efectos indirectos se incluyen la producción de sustancias que inhiben el desarrollo de patógenos vegetales con la consiguiente ventaja para el cultivo (Pedraza, y otros, 2010).

Largo de vaina. La importancia de medir este indicador se relaciona con los requerimientos de exportación (apariencia, forma y color). El fruto debe de ser tierno, color verde claro opaco, y de forma alargada, recta o ligeramente cóncava; formas enrolladas disminuyen su calidad. La textura deberá de ser suave, sin fibras, con ausencia de daños mecánicos y pudriciones.

De acuerdo a las normas exigidas por el mercado internacional el fillet verde para el mercado internacional y para conserva debe de cosecharse cuando el mismo ha alcanzado un largo de 10 a 14 cm, momento en el cual su consistencia es carnososa, tierna jugosa y no posee fibra. Según el criterio de las agroexportadoras, las vainas deben de estar limpias, rectas y libres de mordeduras de insectos, etc. En la tabla 12, se observa cómo la media de la longitud de 13.7335 cm de la vaina, en donde se aplicó microorganismos, supera al testigo relativo en un 3.96%.

Los dos tratamientos estuvieron en el rango mínimo aceptable para exportar, ya que, según las agroexportadoras, la longitud de la vaina tiene que tener un rango mínimo (RME) de 10 cm y máximo (RME) de 14 cm.

Tabla 112.

Comparación de dos muestras por el método de muestras independientes para largo de vaina expresado en centímetros, en la aplicación de microorganismos aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.

Par	Tratamiento con Microorganismos (X_1)	Testigo sin Microorganismos (X_2)	$X_1 - X_2$	$(X_1 - \bar{X}_1)^2$	$(X_2 - \bar{X}_2)^2$
1	13.4	13.27	0.09	0.14	0.00
2	13.8	13.84	-0.05	0.00	0.40
3	13.7	14.01	-0.31	0.00	0.64
4	14.2	12.91	1.29	0.22	0.09
5	13.6	13.18	0.43	0.02	0.00
6	13.7	13.69	0.04	0.00	0.23
7	13.0	12.60	0.44	0.48	0.37
8	13.6	12.89	0.69	0.02	0.10
9	13.5	13.21	0.31	0.05	0.00
10	13.7	13.55	0.15	0.00	0.11
11	13.7	13.11	0.63	0.00	0.01
12	13.4	13.00	0.38	0.13	0.04
13	13.5	13.00	0.47	0.07	0.04
14	13.7	12.64	1.10	0.00	0.33
15	13.5	13.39	0.11	0.05	0.03
16	14.0	13.11	0.91	0.09	0.01
17	13.7	13.05	0.68	0.00	0.03
18	13.5	13.06	0.47	0.04	0.02
19	14.0	12.33	1.64	0.06	0.77
20	13.9	14.20	-0.26	0.04	0.98
21	14.0	13.71	0.34	0.10	0.25
22	13.8	12.73	1.04	0.00	0.23
23	14.2	12.80	1.38	0.20	0.17
24	14.2	13.58	0.61	0.20	0.14
25	13.9	13.39	0.52	0.03	0.03
N	25	25			
Total	343.3371	330.2535			
Media	13.7335	13.2101			
S²	0.0807	0.2099			

Para determinar si existe una diferencia entre ambos tratamientos, se procedió a realizar la prueba de t de Student con muestras independientes, cuyos resultados se observan en la tabla 13.

Tabla 13.

Cálculo de t de Student al cinco por ciento de error para el indicador largo de vaina expresado en centímetros, en la aplicación de microorganismos aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.

	SD	S\bar{D}	t calculada	t tab 0.05	Significancia
FC-FT	0.1453	0.1078	4.8539	2.0104	*
N=25					

*= Diferencia estadística significativa; Ttab= gl; 2(N-1), 5%.

Considerando un nivel de significancia del cinco por ciento, estadísticamente se refleja en la tabla 13, que la $t_{calculada}$ con un valor de 4.8539 es mayor que la $t_{tab 0.05}$ con valor de 2.0104, esto significa que se rechaza la hipótesis nula ($\mu D=0$), por lo tanto, las aplicaciones de microorganismos aplicados al suelo, influyen en el crecimiento vegetativo (largo de vaina). Aunque los dos tratamientos mostraron su potencial de exportación, ya que estuvieron entre los valores mínimos de longitud de vaina exportable (VMLVE), en los siguientes indicadores evaluados se podrá determinar si la aplicación de los microorganismos tiene un efecto significativo en el rendimiento.

Se puede asumir, que las bacterias contenidas en donde se aplicó microorganismos, colonizan las raíces de las plantas. Estas bacterias poseen la capacidad de estimular el crecimiento de las plantas, o rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (Alfonso, 2005).

Diámetro de vaina. El diámetro de la vaina constituye una de las características fenotípicas esenciales para las normas de calidad de vainas frescas. Estas características se ven cuando el ejote alcanza un diámetro de 0.50 – 0.80 cm en vainas verdes, en el caso de vainas amarillas el diámetro oscila entre 0.40 y 0.80 cm, en el cual puede probarse de manera práctica su consistencia, jugosidad y carnosidad de las mismas. Estados Unidos reconoce tres calidades para la importación y pago de ejote francés, conocidas como Clase Extras, Clase I y Clase II. Las calidades de estas se basan en turgencia, tamaño, color, apariencia y si tienen semillas o fibras, además las vainas no deben medir más de nueve mm de grosor. Para ser importados a los países industrializados, los ejotes

deben estar intactos, tener apariencia fresca y turgente, estar limpio y libres de impurezas, olores y sabores extraños, y de toda humedad externa anormal.

Tabla 14.

Comparación de dos muestras por el método de muestras independientes para diámetro de vaina expresado en mm, en la aplicación de microorganismos aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.

Par	Tratamiento con Microorganismos (X_1)	Testigo sin Microorganismos (X_2)	$X_1 - X_2$	$(X_1 - \bar{X}_1)^2$	$(X_2 - \bar{X}_2)^2$
1	7.6	7.15	0.418	0.000	0.027
2	7.7	7.31	0.424	0.027	0.000
3	7.5	7.25	0.200	0.015	0.005
4	7.6	7.27	0.327	0.001	0.002
5	7.8	7.55	0.237	0.044	0.052
6	7.5	7.38	0.125	0.005	0.003
7	7.6	7.00	0.609	0.001	0.101
8	7.5	7.44	0.029	0.010	0.016
9	7.4	7.29	0.131	0.024	0.001
10	7.9	7.29	0.581	0.086	0.001
11	7.7	7.22	0.515	0.027	0.009
12	7.3	7.25	0.050	0.074	0.005
13	7.4	6.96	0.432	0.034	0.130
14	7.3	7.18	0.166	0.051	0.018
15	7.4	7.64	-0.262	0.037	0.106
16	7.6	7.22	0.378	0.001	0.009
17	7.5	7.29	0.169	0.014	0.001
18	7.7	7.31	0.359	0.009	0.000
19	7.6	7.42	0.139	0.000	0.010
20	7.8	7.60	0.150	0.031	0.080
21	7.7	7.38	0.307	0.012	0.003
22	7.6	7.40	0.156	0.000	0.007
23	7.8	7.33	0.456	0.047	0.000
24	7.6	7.38	0.257	0.003	0.003
25	7.5	7.44	0.032	0.009	0.016
N	25	25			
Total	189.3225	182.9389			
Media	7.5729	7.3176			
S²	0.0235	0.0252			

En la tabla 14, se observa que la media del diámetro de la vaina, en el tratamiento en donde se utilizó microorganismos aplicados al suelo, es superior al testigo en un 3.48 %, en ambos tratamientos estuvieron en el rango aceptable, (0.50 a 0.80 cm para ejote francés). En la tabla 15, se observa la prueba de t de Student con muestras independientes para determinar si existe diferencia significativa entre tratamientos.

Tabla 15.

Cálculo de t de Student al cinco por ciento de error para el indicador diámetro de vaina expresado en mm, en la aplicación de microorganismos aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.

	SD	\bar{SD}	t calculada	t tab 0.05	Significancia
FC-FT	0.244	0.0441	5.7848	2.0104	*
N=25					

*= Diferencia estadística significativa; Ttab= gl; 2(N-1), 5%.

Tomando como referencia el nivel de significancia del cinco por ciento, estadísticamente se refleja en la tabla 15, que la t calculada con un valor de 5.7848 es mayor que la t tab 0.05 con valor de 2.0104, esto significa que se rechaza la hipótesis nula ($\mu D=0$), por lo tanto, las aplicaciones de microorganismos aplicados al suelo, influyen en el crecimiento vegetativo (diámetro de vaina). Aunque los dos tratamientos mostraron su potencial de exportación, ya que estuvieron entre los valores mínimos de diámetro de vaina exportable de 0.50 – 0.80 cm. Si se considera la diferencia estadística encontrada en los indicadores: largo de vaina y diámetro de vaina, en el tratamiento en donde aplicó microorganismos, hace suponer, que el efecto se verá reflejado en el rendimiento de ejote francés. En este sentido en los siguientes párrafos se analizaron los indicadores ligados al rendimiento (número de vainas y rendimiento).

Rendimiento. La estimación de la producción agrícola es necesaria para la planificación que deben realizar tanto los actores públicos como privados involucrados en el desarrollo de la

agricultura. La medición del rendimiento de vainas de ejote francés, está determinado por la manera en que el cultivo divide esa biomasa acumulada durante su crecimiento entre los órganos de cosecha y el resto de la planta. La acumulación de biomasa se debe, principalmente, al balance neto positivo del intercambio de carbono entre la planta y su ambiente, donde las pérdidas por respiración son sobre compensadas a través del proceso de fotosíntesis. Por lo tanto, la acumulación de biomasa en el cultivo depende de la cantidad de radiación solar disponible, de la capacidad del canopeo para interceptarla y de la eficiencia con que el cultivo convierte la radiación capturada en biomasa vegetal, así como las labores culturales adecuadas que permitan incrementar la productividad. El rendimiento de vainas de ejote francés, se compone por el número de vainas por planta, peso promedio en gramos y kg/ha, que se complementan con los indicadores de crecimiento vegetativo analizados anteriormente. A continuación, se analiza el efecto de la aplicación de los microorganismos al suelo y en los indicadores de rendimiento.

Número de vainas por planta. La cantidad de vainas está relacionada directamente con el rendimiento en kg/ha. Para la medición de este indicador se tomaron todas las vainas en cada una de las plantas evaluadas durante todo su ciclo fisiológico. En la tabla 16, se pueden apreciar las medias de cada una de las parcelas. Se observan las medias del número de vainas por planta, como en los indicadores anteriores, en la parcela en donde se aplicó microorganismos al suelo, fue superior al testigo relativo en un 7.57%, lo que evidencia que la aplicación de microorganismos tiene un efecto positivo al momento de la formación de vainas. En este sentido, se han realizado estudios no sólo en relación con el impacto que tiene la presencia de microorganismos en el suelo sobre la especie vegetal, sino también con respecto a los mecanismos que estos organismos emplean para promover el crecimiento e interactuar con la planta.

Tabla 16.

Comparación de dos muestras por el método de muestras independientes para número de vainas

por planta, en la aplicación de microorganismos aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.

Par	Tratamiento con Microorganismos (X₁)	Testigo sin Microorganismos (X₂)	X₁-X₂	(X₁-\bar{X}_1)²	(X₂-\bar{X}_2)²
1	21.0	23.00	-2.000	1.254	20.430
2	19.0	16.00	3.000	0.774	6.150
3	20.0	16.00	4.000	0.014	6.150
4	15.0	15.00	0.000	23.814	12.110
5	23.0	18.00	5.000	9.734	0.230
6	24.0	21.00	3.000	16.974	6.350
7	23.0	16.00	7.000	9.734	6.150
8	19.0	15.00	4.000	0.774	12.110
9	24.0	25.00	-1.000	16.974	42.510
10	15.0	22.00	-7.000	23.814	12.390
11	19.0	14.00	5.000	0.774	20.070
12	20.0	15.00	5.000	0.014	12.110
13	18.0	22.00	-4.000	3.534	12.390
14	23.0	16.00	7.000	9.734	6.150
15	21.0	16.00	5.000	1.254	6.150
16	20.0	19.00	1.000	0.014	0.270
17	22.0	20.00	2.000	4.494	2.310
18	18.0	23.00	-5.000	3.534	20.430
19	18.0	19.00	-1.000	3.534	0.270
20	16.0	18.00	-2.000	15.054	0.230
21	22.0	20.00	2.000	4.494	2.310
22	18.0	19.00	-1.000	3.534	0.270
23	19.0	16.00	3.000	0.774	6.150
24	19.0	23.00	-4.000	0.774	20.430
25	21.0	15.00	6.000	1.254	12.110
N	25	25			
Total	497.0000	462.0000			
Media	19.8800	18.4800			
S²	6.5267	10.2600			

Algunos de los criterios que hoy permiten seleccionar a los microorganismos con un potencial de promotores de crecimiento de las plantas (PGPR) son: fijación biológica de nitrógeno atmosférico, solubilización de fósforo inorgánico, mineralización de fósforo orgánico, producción de inductores de crecimiento vegetal como auxinas, producción de sideróforos, ácido salicílico, ácido cianhídrico, y actividad ACC desaminasa, entre otras (Pedraza, y otros, 2010).

Los efectos reportados con la inoculación al suelo de microorganismos, parecen ser dependientes del tipo de planta, existen microorganismos que producen una asociación bacteria - raíz capaz de estimular la producción de sustancias estimuladoras del crecimiento, incrementándose el número de pelos radicales y generando con ello una mayor superficie radical y mejor disponibilidad del agua y los nutrientes, debido a que las raíces pueden explorar un volumen mayor de suelo (Alfonso, 2005). En la tabla 17, se analiza el efecto de la aplicación de los microorganismos al suelo, a través de una prueba de t de Student.

Tabla 17.

Cálculo de t de Student al cinco por ciento de error para el indicador número de vainas por planta, en la aplicación de microorganismos aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.

	SD	S\bar{D}	t calculada	t tab 0.05	Significancia
FC-FT	8.3933	0.8194	1.7085	2.0104	NS
N=25					

NS = No Significativo; Ttab= gl; 2(N-1), 5%.

Tomando como referencia el nivel de significancia del cinco por ciento, estadísticamente se refleja en la tabla 17, que la t calculada con un valor de 1.7085 es menor que la t tab 0.05 con valor de 2.0104, esto significa que se acepta la hipótesis nula ($\mu D=0$), por lo tanto, las aplicaciones de microorganismos aplicados al suelo, no influyen en el número de vainas por planta, es decir que la cantidad de vainas por planta está relacionada a las características genotípicas de las planta.

Peso promedio de vainas. Entre los mecanismos de acción de hongos y bacterias aplicados al suelo, es la biodisponibilidad de macro- y micronutrientes presentes en suelos, destacando la absorción de potasio y solubilización del potasio, elemento ligado a la formación de frutos.

Tabla 18.

Comparación de dos muestras por el método de muestras independientes para peso promedio de vainas expresado en gramos, en la aplicación de microorganismos aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.

Par	Tratamiento con Microorganismos (X₁)	Testigo sin Microorganismos (X₂)	X₁-X₂	(X₁-\bar{X}_1)²	(X₂-\bar{X}_2)²
1	3.2	3.15	0.084	0.110	0.014
2	3.5	3.56	-0.089	0.009	0.083
3	3.6	3.44	0.113	0.000	0.027
4	3.9	3.09	0.776	0.088	0.034
5	3.6	3.36	0.245	0.002	0.008
6	3.6	3.50	0.083	0.000	0.051
7	3.3	2.80	0.504	0.070	0.225
8	3.4	3.44	-0.076	0.040	0.029
9	3.5	3.29	0.173	0.012	0.000
10	3.6	3.38	0.219	0.001	0.011
11	3.9	3.11	0.784	0.106	0.027
12	3.2	3.00	0.200	0.136	0.075
13	3.5	3.26	0.239	0.005	0.000
14	3.5	3.09	0.431	0.002	0.034
15	3.4	3.57	-0.190	0.036	0.088
16	3.7	3.11	0.539	0.006	0.027
17	3.5	3.24	0.216	0.013	0.001
18	3.5	3.12	0.385	0.005	0.025
19	3.8	3.00	0.778	0.043	0.075
20	3.9	4.00	-0.063	0.135	0.527
21	3.4	3.42	-0.008	0.026	0.020
22	3.7	3.07	0.656	0.023	0.043
23	3.5	3.00	0.526	0.002	0.075
24	3.9	3.41	0.541	0.143	0.017
25	3.8	3.44	0.317	0.037	0.029
N	25	25			
Total	89.2357	81.8524			
Media	3.5694	3.2741			
S²	0.0439	0.0644			

Con la finalidad de medir la influencia de los microorganismos aplicados al suelo, se procedió a medir el peso promedio de las vainas y su relación con el rendimiento. En la tabla 18, se puede observar que con la aplicación de los microorganismos se obtiene un mejor peso promedio 3.5694 gramos, comparado en donde no se aplicó, que obtuvo una media de 3.274.

Para determinar si la aplicación de los microorganismos, tienen un efecto en el peso promedio de vaina, se procedió a realizar la prueba de t de Student, sin olvidar el sistema Suelo - Microbiota - Planta, ya que las interacciones entre los tres es lo que determina la efectividad de estos productos y el comportamiento del cultivo, principalmente el rendimiento.

Tabla 19.

Cálculo de t de Student al cinco por ciento de error para el indicador peso promedio de vainas expresado en gramos, en la aplicación de microorganismos aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.

	SD	S\bar{D}	t calculada	t tab 0.05	Significancia
FC-FT	0.0541	0.0658	4.4876	2.0104	*
N=25					

*= Diferencia estadística significativa; Ttab= gl; 2(N-1), 5%.

Tomando como referencia el nivel de significancia del cinco por ciento, estadísticamente se refleja en la tabla 19, que la t calculada con un valor de 4.4876 es mayor que la t tab 0.05 con valor de 2.0104, esto significa que se rechaza la hipótesis nula ($\mu D=0$), por lo tanto, las aplicaciones de microorganismos aplicados al suelo, influyen en peso promedio de vainas, este indicador guarda una relación con el rendimiento en kg/ha.

Rendimiento en cortes. Los microorganismos juegan un importante papel en procesos que afectan la transformación de una gran variedad de nutrientes en el suelo y su disponibilidad para las plantas. Para determinar el rendimiento en kg/ha, se realizaron cinco cortes en cada una las parcelas, tomando en cuenta los estándares de exportación. En la tabla 20 de presentan los resultados obtenidos en cada uno de los tratamientos evaluados (parcela neta).

Se observa que en la parcela en donde se aplicó microorganismos se obtuvo un rendimiento de 333.09 kilogramos que supera a la parcela testigo, que obtuvo 315.8900 kg, superando a esta en un 5.44 %. Los datos están relacionados con respecto a la parcela neta (20 m x 10 m).

Tabla 20.

Rendimiento en kg por corte/parcela neta de vaina, en la aplicación de microorganismos aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.

Par	Tratamiento con Microorganismos (\bar{X}_1)	Testigo sin Microorganismos (\bar{X}_2)	$X_1 - X_2$	$(X_1 - \bar{X}_1)^2$	$(X_2 - \bar{X}_2)^2$
1	50.0	40.90	9.100	276.158	496.309
2	34.0	29.54	4.470	1063.282	1131.515
3	92.3	111.36	-19.090	658.025	2321.505
4	120.5	109.09	11.360	2897.884	2107.912
5	36.4	25.00	11.360	915.547	1457.560
N	5	5			
Total	333.0900	315.8900			
Media	66.6180	63.1780			
S²	1452.7239	1878.7002			

En la tabla 21, se analiza el efecto de la aplicación de los microorganismos al suelo, a través de una prueba de t de Student, para determinar si existe significancia en el rendimiento obtenido a través del número de cortes efectuado.

Tabla 21.

Cálculo de t de Student al cinco por ciento de error para el rendimiento en kg por corte / parcela neta de vainas, en la aplicación de microorganismos aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.

	SD	$\bar{S}\bar{D}$	t calculada	t tab 0.05	Significancia
FC-FT	1665.7120	25.8125	0.1333	2.306	NS
N=5					

NS= No Significativo; Ttab= gl; 2(N-1), 5%.

Tomando como referencia el nivel de significancia del cinco por ciento, estadísticamente se refleja en la tabla 21, que la t calculada con un valor de 0.2228 es menor que la t tab 0.05 con valor de 2.3006, esto significa que se acepta la hipótesis nula ($\mu D=0$), por lo tanto, las aplicaciones de microorganismos aplicados al suelo, no influyen en el rendimiento en kg en función de los cortes efectuados.

Tabla 22.

Resumen de variables, en la aplicación de microorganismos aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.

Tratamiento	Indicador					
	1	2	3	4	5	6
Con microorganismos	44.68*	13.73*	7.57*	19.88NS	3.56*	66.61NS
Testigo relativo	40.76	13.21	7.31	18.48	3.27	63.17

1. Altura de planta; 2. Largo de vaina; 3. Diámetro de vaina; 4. Número de vainas; 5. Peso promedio de vaina; 6. Rendimiento en kg por corte. * = Significativo; NS = No Significativo.

Los microorganismos promueven y benefician la nutrición y el crecimiento de las plantas. Se trata de microorganismos del suelo, generalmente hongos y bacterias, que se asocian de manera natural a las raíces de las plantas. Estos microorganismos pueden facilitar de manera directa o indirecta, la disponibilidad de determinados nutrientes tales como: el nitrógeno, el fósforo y el agua, además de producir sustancias promotoras del crecimiento vegetal. En este sentido se aprecia en la tabla 22, que la aplicación de los microorganismos tiene un efecto significativo en los indicadores: altura de planta, largo de vaina, diámetro de vaina y peso promedio de vaina. Con relación al número de vainas y rendimiento de vainas por corte, no existe diferencia significativa. En términos generales, la aplicación al suelo de los microorganismos benéficos, tienen un efecto en los indicadores de crecimiento vegetativo, pero no en los indicadores de rendimiento. Para poder determinar la viabilidad del uso de los microorganismos aplicados en el suelo en el cultivo de ejote francés, se procedió a determinar la rentabilidad de cada uno de los tratamientos como se detalla más adelante.

Análisis de suelos. El nivel de deterioro de los suelos, es un proceso en la mayoría de suelos de Guatemala. En el caso de los suelos de San Andrés Semetabaj, han sido sometidos al mal manejo productivo, y el incremento de rendimiento sin la reposición adecuada de nutrientes,

ha llevado que los mismos se vean disminuidas sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Pensando en la sostenibilidad en el tiempo de los sistemas de producción, se hace necesaria la implementación de prácticas básicas como siembra directa, rotación de cultivos, fertilización equilibrada y otras prácticas adecuadas. Una manera de prevenir esta situación, es la utilización de una herramienta muy útil, que consiste en el análisis de suelo, este permite, a través de la toma de muestras y su posterior análisis químico, en caso de lotes en producción, determinar el nivel de disponibilidad de nutrientes y a partir de allí, a través del conocimiento de las necesidades de los cultivos, hacer recomendaciones de fertilización para lograr mejores rendimientos.

El diagnóstico del contenido de elementos, permitirá de acuerdo al manejo establecido en el sistema de producción, hacer una fertilización de balance (aportando lo que le falta al suelo para llegar a un rendimiento esperado) o bien fertilización de restitución (agregando la totalidad de los nutrientes que extrae el cultivo).

Muchos parámetros que se emplean para medir la calidad del suelo están directamente ligados a la actividad metabólica dependiente de los microorganismos, y esa actividad es la que permite el ciclado de nutrientes. Varias etapas del ciclado de nutrientes en el suelo son exclusivamente microbianas. Así, la degradación de la mayoría de los polímeros carbonados constituyentes de los tejidos vegetales, la producción y el consumo de metano, la fijación de nitrógeno o la oxidación de amonio a nitrito y posteriormente a nitrato, son procesos biológicos llevados a cabo sólo por microorganismos (Pedraza, y otros, 2010).

En este sentido, en la tabla 23, se describen los resultados previos a la siembra y al finalizar la cosecha, esto con la finalidad de determinar el efecto que en alguna manera los microorganismos eficientes aplicados al suelo puedan tener en la fertilidad del suelo.

Tabla 23.

Análisis de suelos, en la aplicación de microorganismos aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.

Muestra	Fósforo	Potasio	Calcio	Mg	Boro	pH	Materia orgánica
Previo a la siembra							
1	26.73	1.20	6.28	1.78	0.13	5.37	2.67
2	39.24	1.13	4.38	1.19	0.14	5.25	3.79
Después de la cosecha							
1	160.51	2.07	4.86	1.57	0.85	5.15	3.97
2	152.57	1.57	5.90	1.96	0.85	5.23	3.64

En la tabla 23, se observan los resultados del análisis previo y después en el cultivo de ejote francés; la muestra uno corresponde a la parcela en donde se aplicó microorganismos y la muestra dos, corresponde a la parcela testigo (tecnología del agricultor), los resultados de laboratorio se pueden observar en anexos. En este sentido, se puede observar que el contenido de fósforo, después de finalizada la cosecha, hay un leve incremento en la parcela en donde se aplicó microorganismos, esto coincide con lo indicado por Coyne (1999) citado por Barrera (2018), que indica que las bacterias solubilizan activamente el fósforo representan un 10% de la población microbiana del suelo. Se trata fundamentalmente de organismos de la rizósfera, como *Bacillus*, *Micrococcus*, *Mycobacterium*, *Pseudomonas*.

Las bacterias *Bacillus megaterium*, *Bacillus mesentericus* y *Pseudomona putida* solubilizan las formas orgánicas del fósforo (ortofósforo) y las transforman a fosfatos asimilables por las plantas. Los hongos del género *Aspergillus*, *Penicillium* y *Rhizopus* degradan ácidos nucleicos y glicerofósforatos a fosfatos simples. Las levaduras del género *Saccharomyces* y *Rhodotorula* cumplen la misma función que los hongos. El actinomiceto *Streptomyces* destruye las moléculas orgánicas fósforadas liberando así el fósforo (Barrera, 2018).

De igual forma, se observa que hay un leve incremento en el contenido de Potasio, está demostrado que bacterias de los géneros *Bacillus*, *Pseudomonas* y *Clostridium* y hongos como

Aspergillus, *Penicillium* y *Mucor* solubilizan el potasio mediante la liberación de ácidos orgánicos o inorgánicos que reaccionan con los minerales que los contienen. Estos microorganismos descomponen minerales de aluminosilicato y liberan parte del potasio contenido en ellos (Delgado, 2019).

La capacidad productiva de los suelos está directamente asociada con su contenido de materia orgánica que es la principal reserva del carbono orgánico y principal fuente de nutrientes para las plantas. Es sabido que el funcionamiento de un ecosistema terrestre depende en gran medida de la actividad microbiana del suelo, en este sentido se puede observar que en la parcela en donde aplico microorganismos benéficos, tuvo un incremento de 2.67% a 3.97% de materia orgánica, lo que demuestra el aporte que tienen los microorganismos en el contenido de materia orgánica en el suelo.

En anexos, se puede observar que después de finalizado el cultivo, de igual manera hay un leve incremento en el fósforo, también los microorganismos juegan un papel importante en la asimilación del fosforo, las bacterias de los géneros *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Arrobacter* convierten el azufre elemental y el tiosulfato a sulfato. Los hongos del género *Aspergillus* oxidan el azufre en polvo (Delgado, 2019).

Los inoculantes microbianos representan una nueva tecnología conducente a mejorar la productividad del sistema agropecuario a largo plazo. Puede ser considerada como una tecnología limpia, alineada con principios de la agricultura sustentable, frente al aumento abusivo de la utilización de pesticidas y fertilizantes en estos últimos tiempos. Varios microorganismos son utilizados en la práctica agrícola habitual, y otros tienen potencialidad para ser utilizados en el futuro. En este sentido en la tabla 24, se detalla el comportamiento de diversos microorganismos antes y después del cultivo.

Tabla 24.

Análisis de perfil microbiológico en el suelo, en la aplicación de microorganismos aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.

Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Previo a la siembra									
1	++	+	+	+	+	+	+	+	-
2	+	+	+	+	+	+	+	+	-
Después de la cosecha									
1	+	+	+	+	+	+	+	+	+
2	++	+	+	+	-	+	-	+	-

1. Bacterias; 2. Hongos / Levaduras; 3. Actinomicetes; 4. Azospirillum spp; 5. Bacterias Solubizadoras de Fosforo; 6. Bacterias Solubizadoras de Potasio; 7. Bacterias Solubizadoras de Nitrógeno; 8. Bacillus sp; 9. Pseudomonas sp.

Se puede observar que hubo un incremento en bacterias solubizadoras de nitrógeno y *Pseudomonas* sp. Al respecto las bacterias del género *Pseudomonas* han sido utilizadas como promotoras del crecimiento de las plantas (PGPB) tanto por sus efectos directos e indirectos. La mayor cantidad de información referida a la actividad de PGPB, como por ejemplo *Pseudomonas* sp., está vinculada a efectos indirectos, a través del control de microorganismos patógenos, produciendo compuestos anti fúngicos que pueden suprimir enfermedades a través de varios mecanismos, que incluyen una mayor capacidad competitiva por los nutrientes disponibles, producción de antibióticos, sideróforos (compuestos orgánicos que captan hierro) e inducción de resistencia sistémica (Pedraza, y otros, 2010).

Mientras que la mayoría de los organismos del suelo dependen de las plantas para el suministro de carbono, el ingreso de nitrógeno en sistemas naturales depende fuertemente de los microorganismos. En particular, depende de algunas bacterias que tienen la capacidad de reducir el nitrógeno atmosférico, donde se encuentra como nitrógeno elemental de forma ilimitada, y de hacerlo disponible para los demás organismos del suelo y las plantas. La fijación de nitrógeno es un proceso energéticamente costoso para las bacterias con esa capacidad, pero representa una gran

ventaja competitiva para ellas, especialmente en suelos donde los compuestos oxidados o reducidos de nitrógeno son escasos (Pedraza, y otros, 2010).

3.1.2. Aspectos económicos.

Describir los costos de producción usando unidades de medición por lo general es común para productos agrícolas y pecuarios. Si bien la normalización por unidades de terreno refleja mejor las diferencias en cuanto a tecnologías de producción, los costos expresados por unidades de producción suministran una medición más directa en cuanto a la rentabilidad de una explotación agrícola. Si bien existen varios indicadores que se pueden desarrollar y presentar, a continuación, se describe los resultados obtenidos en el análisis de los costos por hectárea y rentabilidad en kg/ha en cada uno de los tratamientos analizados.

Costos totales por hectárea. Los costos de producción (también llamados costos de operación) son los gastos necesarios para mantener un proyecto, en este caso la producción de una hectárea de ejote. Para el análisis de los costos por hectárea, se consideraron los costos directos e indirectos. Dentro de los costos directos se ha considerado las variables de renta de tierra y mano de obra, que para ambos tratamientos asciende a Q. 29,860.00. Para el caso de los insumos (semilla, microorganismos, fertilizantes, abonos foliares, fungicidas, insecticidas y tutorado), para la parcela en donde se aplicaron microorganismos benéficos, asciende a Q. 12,489.50 mientras que en la parcela testigo asciende a Q. 11,864.50. La diferencia entre ambos tratamientos, obedece al costo del producto a base de microorganismos (Bonasol / Bacterias benéficas). Los costos directos de los tratamientos evaluados son de: Q. 46,549.50 y Q. 45,924.50, respectivamente. A ambos tratamientos se les considero el 5 % de imprevistos, dando como resultado un costo de Q 47,173.98 para el tratamiento en donde se aplicaron microorganismos benéficos y Q. 46,548.98 en la parcela en donde se empleó la tecnología de agricultor.

Para determinar el rendimiento o ganancia que produce una hectárea de ejote, es necesario determinar una gestión rentable, que no solo evite pérdidas, sino que además permita obtener una ganancia, un excedente por encima del conjunto de gastos que haga el agricultor. En este sentido, el cálculo de la rentabilidad caracteriza la eficiencia del trabajo que el agricultor realiza a lo largo del ciclo del cultivo.

Rentabilidad. El cálculo de la rentabilidad tiene como objetivo medir la conveniencia de la inversión en la producción de cultivo de interés mediante el conocimiento de la retribución por peso invertido. Para el cálculo de la misma, se han considerado los costos totales y los ingresos proyectados en función del rendimiento de vaina de ejote. En anexos, se puede observar el desglose de los costos, ingresos y rentabilidad de cada uno los tratamientos. De acuerdo al rendimiento obtenido de 7,570 kg/ha con la aplicación de microorganismos aplicados al suelo, se obtiene una rentabilidad del 20%, comparado con la rentabilidad de 15% cuando se utiliza la tecnología del agricultor, ya que, en esta última, el rendimiento obtenido fue de 7,180 kg/ha. Al respecto, vale la pena destacar que al adaptar la tecnología de utilizar microorganismos aplicados suelo, aparte de los beneficios que conlleva al suelo, también hay un incremento en los ingresos obtenidos, equivalente a Q. 2,917.20 por hectárea.

3.2. Medios de verificación.

Vale la pena aclarar, que no se puede gestionar lo que no se pueda medir. No se puede medir lo que no se pueda describir y no se puede describir si no se tiene información relevante sobre el objeto de transformación. En este sentido, en los apartados anteriores se describió como los microorganismos aplicados al suelo, tuvieron algún efecto positivo en el cultivo de ejote, siendo estos los principales medios de verificación del estudio realizado. Sin embargo, para dejar documentado todo el proceso, desde la Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas fueron

autorizados los medios de soporte del proyecto, con el objetivo de documentar todas las actividades que se realizaron durante la ejecución del proyecto y así respaldar y verificar cada una de las actividades descritas en el cronograma de ejecución del proyecto. Estos medios de verificación fueron:

Libreta de campo. Consiste en una libreta, donde se documentaron todas las actividades realizadas en campo con su respectiva fecha real de ejecución, esta herramienta fue de mucha utilidad para la realización de las bitácoras electrónicas mensuales que respaldan el avance y el acompañamiento del asesor asignado.

Bitácoras mensuales. Tal como se indicó anteriormente, tiene como objetivo respaldar el avance mensual de cada una de las actividades propuestas en el cronograma de ejecución, así como el acompañamiento del asesor. Consiste en un documento electrónico, donde se detalla el objetivo de la bitácora, avances del proyecto, dificultades encontradas y fotografías de las actividades realizadas, esta bitácora mensual tuvo como respaldo la firma del asesor, dando como garantía la ejecución de las actividades realizadas durante el mes. Las bitácoras fueron presentadas a Coordinación de Facultad para el registro respectivo.

Expediente de calidad. Este medio de verificación consistió en la elaboración de una carpeta electrónica con el nombre de expediente de calidad, el cual contenía una serie de carpetas donde se documentaron todas las actividades realizadas en base al cronograma de ejecución del proyecto. Cada carpeta contenía fotografías y videos como soporte de la ejecución del proyecto, así como también un documento de Excel donde se realizó la tabulación de datos y el cálculo de diferencias estadísticas. Esta carpeta o expediente de calidad fue grabada en un disco compacto (CD-ROM), que fue entregado Coordinación de Facultad para el registro correspondiente.

3.3. Análisis de impacto del proyecto.

El proceso de mejora continua debe estar sujeto a revisión y discusión permanente, como forma de seguir evolucionando hacia la implementación de nuevas tecnologías que beneficien a los agricultores. La utilización de microorganismos en los programas de producción del cultivo de ejote, representa una alternativa viable para poder reducir el uso de fertilizantes durante su producción, ya que se comprobó en el análisis, que la aplicación de los microorganismos tiene un efecto significativo en los indicadores: altura de planta, largo de vaina, diámetro de vaina y peso promedio de vaina, aportando así una mejora en la calidad, los rendimientos y la rentabilidad de los productores de la localidad de San Andrés Semetabaj. De las 21 actividades económicas de mercado, por lo menos 15 de ellas, demandan en mayor o menor cuantía productos agrícolas y la agricultura nacional ha crecido en áreas de cultivo y volúmenes de producción, pero no ha crecido necesariamente en productividad y por lo tanto es conveniente reformular las políticas agrícolas, de tal modo que se incremente la inversión en investigación.

3.3.1. Económico.

Con el análisis de los costos, ingresos y rentabilidad en cada uno de los tratamientos evaluados, se estimó el impacto económico. Con una inversión adicional de Q. 625.00, se incrementa la rentabilidad en un 5%, es decir en el tratamiento en donde se utilizó microorganismos aplicados al suelo, se obtuvo un ingreso adicional de Q. 2,917.20 por hectárea del cultivo de ejote. Vale la pena destacar que este análisis, está en función del rendimiento para fines de exportación, no se considera rendimiento de segunda y tercera que en algún momento puede significar un ingreso adicional para el agricultor. En términos generales, el impacto económico se basó en la comparación de los costos y beneficios que la tecnología generada y transferida a los agricultores de la región provoca en el excedente económico de los productores que la adopten. La percepción

de los productores sobre los beneficios económicos de la innovación y sus componentes tecnológicos tuvo una respuesta significativa, considerando que algunos agricultores manifestaron la disponibilidad de implementar esta práctica en sus parcelas. La tecnología evaluada es neutral, es decir, los agricultores se benefician de ellas en proporción directa a la superficie en la que la apliquen.

3.3.2. Social.

En este apartado se hace referencia al bienestar social medio de los agricultores adoptantes de la innovación tecnológica, este concepto de bienestar social es un concepto agregado o marco, cuya definición y medición deben basarse en la rama de la economía conocida con el nombre de Teoría del Bienestar. El índice de bienestar que se utilizó aquí, es el índice equivalente de ingreso extra con la adopción de la nueva tecnología, que expresa el ingreso que se requiere para alcanzar cada uno de los distintos niveles de bienestar social.

Para la medición del impacto social, se realizó una gira de campo con agricultores de la comunidad, con el objetivo de darles a conocer la adopción de la tecnología de estudio, el principal impacto social detectado fue la disponibilidad de los agricultores de adoptar esta innovación tecnológica.

Rivera y Romero (2003), mencionan que el productor no aplica de inmediato la tecnología que se le transfiere, sino que espera a que algún otro productor lo haga primero o se toma tiempo para analizar lo que se le ha dado a conocer. Esto es debido a una actitud de desconfianza en las prácticas agrícolas diferentes a las que de manera tradicional lleva a cabo el productor mismo.

3.3.3. Ambiental.

La evaluación del impacto ambiental, es un proceso destinado a prever e informar sobre los efectos que un determinado proyecto puede ocasionar en el medio ambiente. En este sentido, la evaluación de impacto ambiental se enmarca en un proceso más amplio, ligado enteramente a la toma de decisiones sobre la conveniencia o no de un proyecto concreto.

El proceso de la evaluación y predicción de los impactos ambientales generados por la adopción de tecnologías, se basa en la identificación de las interrelaciones que se producen entre las actividades del proyecto y los factores socio-ambiental.

El objetivo de la última parte del estudio fue contar con una primera aproximación a la evaluación de los impactos ambientales, a través de la sistematización de las percepciones, visiones y opiniones de los productores e informantes calificados (técnicos), que conocen la tecnología. La evaluación de los impactos ambientales dentro de las tecnologías agrícolas es preponderante, debido a que entre los principales problemas ambientales en Guatemala se encuentran la sobreexplotación y contaminación de acuíferos, la pérdida de diversidad biológica, la deforestación, la degradación y contaminación de suelos, y la contaminación atmosférica. Estos problemas están ligados al crecimiento poblacional, pero también a las malas prácticas en la gestión de los recursos naturales. Para la medición de este impacto, se realizaron una serie de interrogantes para identificar la percepción de los agricultores sobre el impacto de la aplicación de microorganismos aplicados al suelo de acuerdo a los resultados de laboratorio.

Los resultados del impacto ambiental se consideraron positivos y neutros para las componentes ambientales: agua, aire, suelo, flora y fauna, por tanto, las actividades de la innovación tecnológica no deterioran los recursos naturales. De esta manera, la adopción tecnológica no afecta al medio ambiente, además su alta influencia al componente socioeconómico

propicia que la tecnología sea factible y benéfica para el productor en particular y para las comunidades en general.

4. CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos, la aplicación de los microorganismos benéficos al suelo tiene un efecto significativo en el crecimiento vegetativo (altura de planta, largo y diámetro de vaina). En relación a los componentes de rendimiento, no se encontró efecto significativo en el número de vainas por planta. Para el indicador peso promedio de vainas, se encontró diferencia significativa, por lo que se concluye que la aplicación de microorganismos aplicados al suelo, tiene un efecto positivo en el rendimiento.

La inversión realizada en la tecnología utilizada en la siembra de ejote francés, con la incorporación de microorganismos aplicados al suelo representa un incremento del 5% en la rentabilidad.

La percepción generalizada de los productores es que los componentes tecnológicos impactan positivamente sobre los resultados económicos del cultivo, no existiendo casos de respuestas de percepción negativa.

Los factores relevantes en la adopción de la tecnología evaluada, en forma general, fueron el tiempo de conocer la tecnología y la experimentación de ésta por el productor en su predio. El productor requiere tiempo para conocer la innovación y para evaluarla en las condiciones de su sistema de producción.

5. RECOMENDACIONES

Se recomienda la aplicación de microorganismos benéficos aplicados al suelo en el cultivo de ejote francés, dado que presentó un efecto positivo en el rendimiento y en las características del suelo, lo cual fue observado en el presente estudio.

El conocimiento de la innovación es una primera etapa en la adopción de ésta, y requiere de tiempo suficiente para que la etapa concluya de forma satisfactoria. En este sentido es importante la difusión de las innovaciones en el ámbito de los productores y tomadores de decisiones por parte de instituciones vinculadas al agro guatemalteco (ICTA, MAGA).

De acuerdo al análisis realizado: a) el impacto de los componentes ambientales es positivo y bajo, ya que representa una alternativa para poder iniciar a minimizar el uso de los fertilizantes inorgánicos en la producción de los cultivos, y b) el componente económico tiene un incremento en la rentabilidad del cultivo, recomendando por tanto esta innovación tecnológica para la producción hortalizas.

Para futuros estudios se recomienda poder evaluar una mayor cantidad de aplicaciones de microorganismos benéficos al suelo, ya que con tres aplicaciones se obtuvo una mejora en la calidad y en los rendimientos del cultivo de ejote.

Se sugiere la utilización de esta tecnología en otros cultivos, con la finalidad de mejorar los rendimientos y contribuir a la recuperación de las características de los suelos.

6. BIBLIOGRAFÍA

- A, R., & Romero, H. (2003). *Evaluación del nivel de transferencia y adopción de tecnología en el cultivo de caña de azúcar en Córdoba, Veracruz, México*. Avances en la Investigación Agropecuaria.
- AGEXPORT. (2018). *AGEXPORT Guatemala*. Recuperado el 18 de Agosto de 2019, de AGEXPORT Guatemala Web site: <https://export.com.gt/publico/comite-arveja-y-vegetales>
- Aldana, L. F. (2010). *Producción Comercial y de Semilla de Frijol (Phaseolus vulgaris L.)* (1 ed.). Quetzaltenango, Olinpeque, Guatemala: Instituto de Ciencias y Tecnología Agrícola ICTA. Recuperado el 28 de Agosto de 2019
- Alfonso, E. (2005). *Microorganismos benéficos y productos bioactivos como alternativas para la producción ecológica de tomate (Lycopersicon esculentum)*. Tesis Doctoral en Ciencias Agrícolas, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Departamento de Fitotecnia, La Habana, Cuba.
- Barrera, E. (2018). *Efecto de microorganismos benéficos en combinación con fertilizante sobre Ejote Francés*. Tesis de grado, Ingeniero Agrónomo, Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, Jutiapa, Guatemala. Recuperado el 20 de Julio de 2019
- CIAT. (2015). *Producción y Exportación de Ejote Francés (Phaseolus vulgaris L.)*. Centro Internacional de Agricultura Tropical, Jinotega, Matriz, Matagalpa y Nueva Segovia. Nicaragua: Érika Eliana Mosquera, CIAT Natalia Gutiérrez, CIAT. Recuperado el Septiembre de 2019
- Delgado, M. (2019). *Soluciones con biotecnología, asociados con la vida*. (I. M. Higuera, Editor) Recuperado el 07 de Octubre de 2019, de Orious Biotech Web site: https://www.oriusbitech.com/escrito?nom=Los_microorganismos_del_suelo_en_la_nutri%20ci%C3%B3n_vegetal.
- FAO. (2002). *Los fertilizantes y su uso* (Tercera edición ed.). (A. I. Fertilizantes, Ed.) Recuperado el 03 de Diciembre de 2019, de <http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>
- FAO. (2016). *Estadísticas sobre Costos de Producción Agrícola*. (D. P. Niño, Trad.) Mejoramiento de las Estadísticas Agrícolas y Rurales.
- Fernández, R., Trapero, A., & Dominguez, J. (2010). *Experimentación en agricultura*. Sevilla: Junta de Andalucía.

- González, M. (2003). *Guía Técnica Cultivo de Ejote* (Vol. 18). (M. V. González, Ed.) La Libertad, El Salvador: CENTA. Recuperado el 10 de Septiembre de 2019
- González, M. (2003). *Guía Técnica Cultivo del Ejote*. La Libertad, San Andrés, El Salvador: CENTA. Recuperado el Septiembre de 2019
- Guzman, V. (2016). "*Identificación de cadenas ecoproductivas y su potencial acceso a mercados, en la zona del proyecto PPRCC*". Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales MARN, ADAPTATION FUND, Guatemala. Recuperado el 06 de 02 de 2021, de MARN: <https://www.marn.gob.gt/Multimedios/9813.pdf>
- Lara, L., Hernández, L., Reyes, J., Pablo, P., & Zulueta, R. (2019). Respuesta agronómica de *Phaseolus vulgaris* a la biofertilización en campo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, volumen 10*(5). Recuperado el 10 de 01 de 2020, de <https://cibnor.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1001/1842/1/PUB-ARTICULO-4457.PDF>
- MAGA. (2014). *Perfil Comercial Ejote Francés*. Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación. Guatemala: Eurecna.
- MAGA. (2014). *Perfil Comercial Ejote Francés*. Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación. Guatemala: eurecna. Recuperado el Septiembre de 2019
- Marroquín, J. A. (2016). *Evaluación del efecto de Trichoderma harzianum y Glomus intraradices el cultivo de ejote frances (Phaseolus vulgaris L.)*. Trabajo de Grado; Ingeniero Agrónomo, Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Acatenango, Chimaltenango, Guatemala,. Recuperado el 12 de Septiembre de 2019
- Mazate, J. C. (2016). *Evaluación del rendimiento de ejote frances bajo macro y microtuneles con distintas coberturas*. Trabajo de Grado, Ingeniero Agrónomo, Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Finca Ghottex de Sas Andrés Itzapa, Chimaltenango, Guatemala. Recuperado el 3 de Agosto de 2019
- Morfin, L. (2017). *Efecto de Rhizobium etli+tropici sobre el rendimiento de frijol, variedad ICAT Patriarca*. Tesis de Grado, Ingeniero Agrónom, Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, Quesada, Jutiapa. Recuperado el 03 de Agosto de 2019
- Narváez, F. (2016). "*Evaluación de microorganismos solubilizadores de fósforo, micorrizas y compost, en la productividad del cultivo de papa (Solanum tuberosum L.), bajo condiciones semicontroladas, Carchi Ecuador*". Trabajo de Titulación, Ingeniero Agrónomo, Universidad Politécnica Estatal de Carchi, Facultad de Industrias Agropecuarias y Ciencias Ambientales, Tulcan, Ecuador. Recuperado el 01 de Septiembre de 2019

- Pedraza, R., Teixeira, K., Ana, F., Garacía, I., Baca, b., & Azcon, R. (2010). Microorganismos que mejoran el crecimiento de las plantas y la calidad de los suelos. (R. Corpoica, Ed.) Recuperado el 15 de Octubre de 2020, de file:///C:/Users/HP%2019/Downloads/Dialnet-MicroorganismosQueMejoranElCrecimientoDeLasPlantas-5624728.pdf
- Pérez, S. (2017). *Evaluación del rendimiento de cuatro variedades de ejote francés (Phaseolus vulgaris L.) con la aplicación de tres fertilizantes orgánicos, en la Comunidad de Chichá, Municipio de Zacualpa, El Quiche*. Trabajo de grado, Ingeniero Agrónomo, Universidad San Carlos de Guatemala, Centro Universitario de Occidente, División de Ciencia y Tecnología, Quetzaltenango, Guatemala. Recuperado el 18 de Septiembre de 2019
- Ramírez, O. (2014). *Evaluación del potencial de rendimiento de diez genotipos de frijol ejotero, en tres localidades del altiplano occidental de Guatemala*. Tesis de Grado, Ingeniero Agrónomo, Universidad Rafael Landívar, Campus Quetzaltenango, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, Quetzaltenango, Guatemala.
- Ramos, M., & Velásquez, A. (2015). Beneficios de microorganismos solubilizadores de P y K en la recuperación y mantenimiento de suelos agrícolas. (A.Velázquez, M. Gurrola, & A. Ramos, Edits.) *Congreso Munidal de La Plata*, 06.
- Rodas, E. (2013). *Evaluación de cuatro niveles de fertilización nitrogenada y cuatro variedades de frijol negro (Phaseolus vulgaris L.)*. Trabajo de grado, Ingeniero Agrónomo, Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía, Palencia, Guatemala. Recuperado el 07 de Agosto de 2019
- Santin, E. (2017). *Efecto de la aplicación de Biol en el cultivo de Frijol (Phaseolus vulgaris L.) variedades Amadeus 77 y Dehor, Zamorano Honduras*. Proyecto especial de graduación, Ingeniero Agrónomo, Escuela Agrícola Panamericana, Ingeniería en Ambiente y Desarrollo, Zamorano, Honduras. Recuperado el 23 de Julio de 2019
- Serna, S. (2013). *Efecto de la inoculación conjunta con hongos micorrizales y microorganismos solubilizadores de fósforo en plantas de aguacate*. Trabajo de Investigación, Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias Naturales y Exactas, Medellin, Colombia. Recuperado el 26 de Septiembre de 2019
- Silvera, C. (2017). *Cepas colubizaroas del fòsfor en el desarrollo del frijol carota (Phaseolus vulgaris L.)*. Universidad Nacional Agraria La Molina, Escuela de posgrado Maestría en producción agrícola, Lima-Perú. Recuperado el 15 de 01 de 2020
- Sitún, M. (2007). Investigación Agrícola. En M. Sitún, *Investigación Agrícola* (Vol. 2). Guatemala: ENCA. Recuperado el 13 de Noviembre de 2019

Successo. (2018). Productos Agrobiológicos. *Portafolio Successo*. Recuperado el Junio de 2018, de www.successo.bio

Tohom, D. (2014). *Evaluación de dos métodos de control de thrips (Frankliniella occidentalis) en el cultivo de arveja dulce (Pisum Sativum)*. Tesis de Grado, Ingeniero Agrónomo, Universidad Rafael Landívar Campus Quetzaltenango, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, Quetzaltenango. Recuperado el 28 de Septiembre de 2019

Vidal, J. (2012). *Evaluación del potencial de rendimiento de seis genotipos de frijol rojo (Phaseolus vulgaris L.) en dos épocas de siembra, en el Valle del río San José, Chiquimula Guatemala*. Tesis de Grado. Ingeniero Agrónomo, Universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas, Chiquimula. Recuperado el 30 de Septiembre de 2019

7. ANEXO

Tabla 25.

Costos por hectárea del tratamiento 01 con aplicación de microorganismos *aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.*

Descripción	Cantidad	Unidad de medida	Precio/unidad Q	Total en Q
Costos Directos				
1. Renta de tierra	1.00	Hectárea	Q 4,200.00	Q 4,200.00
2. Mano de Obra				
Preparación del terreno	12.00	Jornal	Q 100.00	Q 1,200.00
Siembra/trasplante	32.00	Jornal	Q 60.00	Q 1,920.00
Primera limpia	16.00	Jornal	Q 60.00	Q 960.00
Segunda limpia	16.00	Jornal	Q 60.00	Q 960.00
Tercera Limpia	16.00	Jornal	Q 60.00	Q 960.00
Desmalezado entre plantas	32.00	Jornal	Q 60.00	Q 1,920.00
Tres fertilizaciones	24.00	Jornal	Q 60.00	Q 1,440.00
Aplicación de Agroquímicos	50.00	Jornal	Q 60.00	Q 3,000.00
Cosecha	225.00	Jornal	Q 60.00	Q 13,500.00
Riego	48.00	Jornal	Q 50.00	Q 2,400.00
colocación de pita	1.00	Jornal	Q 50.00	Q 1,600.00
Total Mano de Obra				Q 29,860.00
3. Insumos				
3.1 Semilla	29.00	Kg	Q 110.00	Q 3,190.00
3.2 Bonasol (Bacterias benéficas)	2.50	Litro	Q 250.00	Q 625.00
3.3 Fertilizantes				
20-20-0	227.27	Kg	Q 4.22	Q 959.99
Triple 15	181.82	Kg	Q 4.73	Q 860.00
Nitrabor	227.27	Kg	Q 5.28	Q 1,199.99
3.4 Abonos foliares				
Foliar Plus	3.20	Litro	Q 40.00	Q 128.00
Calcibor	2.40	Litro	Q 75.00	Q 180.00
Albamin	1.60	Litro	Q 100.00	Q 160.00
3.5 Fungicidas				
Cruisser Advance tratar semilla	29.00	Kg	Q 5.50	Q 159.50
Twin 38WG	0.25	Kg	Q 720.00	Q 180.00
Amistar 50WG	0.80	Kg	Q 750.00	Q 600.00
Phyton	1.60	Litro	Q 425.00	Q 680.00
Kumulus	2.00	Kg	Q 52.00	Q 104.00
3.6 Insecticidas				
Destroyer 16SE	1.00	Litro	Q 450.00	Q 450.00
Engeo 24.7SC	0.30	Litro	Q 750.00	Q 225.00
Exalt	1.50	Litro	Q 640.00	Q 960.00
Decis 10 EC	0.50	Litro	Q 296.00	Q 148.00
3.7 Tutorado (rafia y varas)	105.00		Q 16.00	Q 1,680.00
Total de insumos y materiales				Q 12,489.50
Total de costos directos				Q 46,549.50
Imprevistos 5% costos directos				Q 624.47
Total costos de producción				Q 47,173.98
Rendimiento en kg/ha	7,570.00	Kg	Q 7.48	Q 56,623.6
Ingreso neto				Q 9,449.63
Rentabilidad				20%

Tabla 26.

Costos por hectárea del tratamiento 02 Testigo Relativo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.

Descripción	Cantidad	Unidad de medida	Precio/unidad Q	Total en Q
Costos Directos				
1. Renta de tierra	1.00	Hectárea	Q 4,200.00	Q 4,200.00
2. Mano de Obra				
Preparación del terreno	12.00	Jornal	Q 100.00	Q 1,200.00
Siembra/trasplante	32.00	Jornal	Q 60.00	Q 1,920.00
Primera limpia	16.00	Jornal	Q 60.00	Q 960.00
Segunda limpia	16.00	Jornal	Q 60.00	Q 960.00
Tercera Limpia	16.00	Jornal	Q 60.00	Q 960.00
Desmalezado entre plantas	32.00	Jornal	Q 60.00	Q 1,920.00
Tres fertilizaciones	24.00	Jornal	Q 60.00	Q 1,440.00
Aplicación de Agroquímicos	50.00	Jornal	Q 60.00	Q 3,000.00
Cosecha	225.00	Jornal	Q 60.00	Q 13,500.00
Riego	48.00	Jornal	Q 50.00	Q 2,400.00
colocación de pita	1.00	Jornal	Q 50.00	Q 1,600.00
Total Mano de Obra				Q 29,860.00
3. Insumos				
3.1 Semilla	29.00	Kg	Q 110.00	Q 3,190.00
3.2 Fertilizantes				
20-20-0	227.27	Kg	Q 4.22	Q 959.99
Triple 15	181.82	Kg	Q 4.73	Q 860.00
Nitrabor	227.27	Kg	Q 5.28	Q 1,199.99
3.3 Abonos foliares				
Foliar Plus	3.20	Litro	Q 40.00	Q 128.00
Calcibor	2.40	Litro	Q 75.00	Q 180.00
Albamin	1.60	Litro	Q 100.00	Q 160.00
3.4 Fungicidas				
Cruisser Advance tratar semilla	29.00	Kg	Q 5.50	Q 159.50
Twin 38WG	0.25	Kg	Q 720.00	Q 180.00
Amistar 50WG	0.80	Kg	Q 750.00	Q 600.00
Phyton	1.60	Litro	Q 425.00	Q 680.00
Kumulus	2.00	Kg	Q 52.00	Q 104.00
3.5 Insecticidas				
Destroyer 16SE	1.00	Litro	Q 450.00	Q 450.00
Engeo 24.7SC	0.30	Litro	Q 750.00	Q 225.00
Exalt	1.50	Litro	Q 640.00	Q 960.00
Decis 10 EC	0.50	Litro	Q 296.00	Q 148.00
3.6 Tutorado (rafia y varas)	105.00		Q 16.00	Q 1,680.00
Total de insumos y materiales				Q 11,864.50
Total de costos directos				Q 45,924.50
Imprevistos 5% costos directos				Q 624.48
Total costos de producción				Q 46,548.98
Rendimiento en kg/ha	7,1800.00	Kg	Q 7.48	Q 53,706.40
Ingreso neto				Q 7,157.45
Rentabilidad				15%

Tabla 27.

Análisis de suelo previo a la siembra en la aplicación de microorganismos aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.

Orden: 27-1405
 Cliente: Jogy Missael Cuy Sacuj
 Unidad productiva: Chovit
 Localización: San Andrés Semetabaj, Sololá
 Cultivo: Ejote



INFORME DE ANÁLISIS DE SUELOS AS-3

No. Lab.	Identificación de la muestra	pH	LAB Pr108 FAS3													Versión 2
			mg/L		Cmol(c)/L			mg/L	Cmol(c)/L		miligramos/Litro (mg/L)					%
			Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Azufre	A.I.	Acidez total	Cobre	Hierro	Manganeso	Cinc	Boro	Materia orgánica	
5015	LOTE 1	5.5 - 6.5	20-40	0.15 - 0.30	4-12	1 - 6	10 - 100	0 - 1	-----	0.1 - 2.5	20 - 150	8-80	0.2-2	1 - 5	3 - 6	
5016	LOTE 2	5.25	39.24	1.13	4.38	1.19	0.47	0.08	6.53	1.54	58.50	9.97	0.20	0.14	3.79	

NO. LAB.	IDENTIFICACIÓN	Porcentaje de Saturación en el CIC de:				%Sat. Al	Equilibrio de las Bases				Cmol(+)/L	%
		*CIC	Potasio	Calcio	Magnesio	**m	Ca/K	Mg/K	Ca/Mg	(Ca+Mg)/K	***SB	****V
		10-15	4 - 5	34-40	12-15	Menor a 25	5-25	2.5 - 15	2 - 5	10-40	5-18	Menor a 50
5015	LOTE 1	14.91	8.02	42.11	11.93	0.43	5.25	1.49	3.53	6.74	9.25	62.07
5016	LOTE 2	13.23	8.56	33.07	9.01	1.18	3.86	1.05	3.67	4.91	6.70	50.65

*CIC = Capacidad de Intercambio Catiónico ** m = Porcentaje de saturación de Aluminio *** SB = Suma de Bases ****V = Porcentaje de Saturación de Bases.

pH: suspensión de suelo en agua 1:2.5 en cloruro de calcio (CaCl₂) y determinación por potenciometría.
 Fósforo (P): metodología resinas de intercambio catiónico, determinación espectrofotometría UV-Visible
 Potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg): extracción por metodología resinas de intercambio iónico, determinación por espectrofotometría de absorción atómica.
 Cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn) y cinc (Zn): solución extractante DTPA (ácido dietilentriaminopentacético), determinación por Espectrometría de emisión de plasma - ICP/OES
 Boro (B) y azufre (S): solución extractora fosfato diácido de calcio, determinación por Espectrofotometría UV-visible
 Acidez intercambiable (A.I.): solución extractante cloruro de potasio (KCl) 1 Normal, determinación por volumetría.
 Acidez total (A.T.): por método indirecto pH SMP método de potenciometría.
 Materia orgánica (M.O.): digestión húmeda de Walkley-Black, determinación por volumetría.

Fecha de ingreso: lunes, 17 de febrero de 2020 Muestra no conforme: NO APLICA
 Fecha de ejecución: martes, 25 de febrero de 2020 Desviación de método: NO APLICA
 Fecha de entrega: jueves, 27 de febrero de 2020


 Ing. Gelver Larrios.
 Especialista de Suelos y Aguas

- Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio y en su impresión ORIGINAL.
 - Los resultados de este informe corresponden a muestras recibidas de acuerdo a los criterios de aceptación establecidos por ANALAB.
 - El Laboratorio ANALAB, no se responsabiliza por el uso inadecuado que se le de a este informe.
 - La reproducción parcial de este informe deberá ser autorizada por escrito por ANALAB.
- *Todo documento fuera del servidor Control_Documentos(\lanagua05) y de la carpeta \Publicados se considera una copia no controlada*

Tabla 28.

Análisis de suelo después de la cosecha, en la aplicación de microorganismos aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.

Orden: 27-2717
 Cliente: JOGLY CUY SACUJ
 Unidad productiva: CHOVIT
 Localización: San Andrés Semetabaj, SOLOLA
 Cultivo: EJOTE



INFORME DE ANÁLISIS DE SUELOS AS-3

No. Lab.	Identificación de la muestra	pH	LAB_Pr108_FAS3													Versión 2
			mg/L	Cmol(c)/L				mg/L	Cmol(c)/L		miligramos/Litro (mg/L)					%
			Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Azufre	Al.	Acidez total	Cobre	Hierro	Manganeso	Cinc	Boro	Materia orgánica	
		5.5 - 6.5	20 - 40	0.15 - 0.30	4 - 12	1 - 6	10 - 100	0 - 1	-----	0.1 - 2.5	20 - 150	8 - 80	0.2 - 2	1 - 5	3 - 6	
10562	LOTE # 1	5.15	160.51	2.07	4.86	1.57	99.00	0.09	6.85	1.50	71.90	9.01	1.58	0.85	3.97	
10563	LOTE # 2	5.23	152.57	1.57	5.90	1.96	80.25	0.08	7.38	1.53	73.66	8.34	1.15	0.85	3.64	

NO. LAB.	IDENTIFICACIÓN	Cmol(+)/L		Porcentaje de Saturación en el CIC de:			%Sat. Al	Equilibrio de las Bases				Cmol(+)/L	%
		*CIC	Potasio	Calcio	Magnesio	**m	Ca/K	Mg/K	Ca/Mg	(Ca+Mg)/K	***SB	****V	
			10 - 15	4 - 5	34 - 40	12 - 15	Menor a 25	5 - 25	2.5 - 15	2 - 5	10 - 40	5 - 18	Menor a 50
10562	LOTE # 1	15.36	13.49	31.67	10.24	1.05	2.35	0.76	3.09	3.11	8.51	55.40	
10563	LOTE # 2	16.81	9.32	35.08	11.66	0.86	3.78	1.25	3.01	5.01	9.42	56.06	

*CIC = Capacidad de Intercambio Catiónico ** m = Porcentaje de saturación de Aluminio *** SB = Suma de Bases ****V = Porcentaje de Saturación de Bases.

pH: suspensión de suelo en agua 1:2.5 en cloruro de calcio (CICa) y determinación por potenciometría.
 Fósforo (P): metodología resinas de intercambio catiónico, determinación espectrofotometría UV-Visible
 Potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg): extracción por metodología resinas de intercambio iónico, determinación por espectrofotometría de absorción atómica.
 Cobre (Cu), hierro (Fe), manganeso (Mn) y cinc (Zn): solución extractante DTPA (ácido dietiltriainopentacético), determinación por Espectrometría de emisión de plasma – ICP/OES
 Boro (B) y azufre (S): solución extractora fosfato diácido de calcio, determinación por Espectrofotometría UV-visible
 Acidez intercambiable (A.I.): solución extractante cloruro de potasio (KCl) 1 Normal, determinación por volumetría.
 Acidez total (A.T.): por método indirecto pH SMP método de potenciometría.
 Materia orgánica (M.O.): digestión húmeda de Walkley-Black, determinación por volumetría.

Fecha de ingreso: lunes, 25 de mayo de 2020 Muestra no conforme: NO APLICA
 Fecha de ejecución: viernes, 5 de junio de 2020 Desviación de método: NO APLICA
 Fecha de entrega: martes, 9 de junio de 2020

Ing. Geilver Larios
 Especialista de Suelos y Aguas

1. Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio y en su impresión ORIGINAL.
 2. Los resultados de este informe corresponden a muestras recibidas de acuerdo a los criterios de aceptación establecidos por ANALAB.
 3. El Laboratorio ANALAB, no se responsabiliza por el uso inadecuado que se le de a este informe.
 4. La reproducción parcial de este informe deberá ser autorizada por escrito por ANALAB.
- *Todo documento fuera del servidor Control_Documentos(lanagua05) y de la carpeta IPublicados se considera una copia no controlada*

Tabla 29.

Análisis de perfil microbiológico en el suelo previo a la siembra, en la aplicación de microorganismos aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.

Orden: 24-1406
 Cliente: Jogly Missael Cuy Sacuj
 Unidad productiva: Chovit
 Localización: Solola, San Andres Semetabaj, Sololá
 Cultivo: Ejote



INFORME DE ANÁLISIS DE PERFIL MICROBIOLÓGICO M-1

LAB_Pr108_FM1 Versión 2

No. De laboratorio	Identificación de la muestra	Grupos Indicadores		
		Bacterias	Hongos/levaduras	Actinomicetos
5017	Lote #1	++	+	+
5218	Lote #2	+	+	+

No. De laboratorio	Identificación de la muestra	Grupos Funcionales					
		<i>Azospirillum spp.</i>	Bacterias solubilizadoras de fósforo	Bacterias solubilizadoras de potasio	Bacterias fijadoras de nitrógeno	<i>Bacillus spp.</i>	<i>Pseudomonas spp.</i>
5017	Lote #1	+	+	+	+	+	-
5218	Lote #2	+	+	+	+	+	-

Determinación cuantitativa de los microorganismos por el método de recuento en placas. Unidades formadoras de colonias (UFC).

Abundancia	Numero de colonias apreciadas (UFC * placa)	Interpretación
++++	>250	Muy abundantes
+++	150-100	Abundantes
++	80-50	Escasas
+	<50	Muy escasas
-	0-1	Sin desarrollo

Fecha de ingreso: lunes, 17 de febrero de 2020
 Fecha de ejecución: martes, 3 de marzo de 2020
 Fecha de entrega: martes, 3 de marzo de 2020

Muestra no conforme: NO APLICA
 Desviación de método: NO APLICA

Carmen Alvarez
 Lic. Carmen Alvarez
 Especialista en Plantas y P. V.

- Los resultados de este informe son validos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio y en su impresión ORIGINAL.
 - Los resultados de este informe corresponden a muestras recibidas de acuerdo a los Criterios de Aceptación establecidos por Analab
 - El Laboratorio ANALAB, no se responsabiliza por el uso inadecuado que se le de a este informe.
 - La reproducción parcial o total de este informe deberá ser autorizada por escrito por ANALAB.
- "Todo documento fuera del servidor Control_Documentos(\lancgua05) y de la carpeta \Publicados se considera una copia no controlada"

Tabla 30.

Análisis de perfil microbiológico en el suelo después de la cosecha, en la aplicación de microorganismos aplicados al suelo, en el cultivo de ejote francés; San Andrés Semetabaj, Sololá, 2020.

Orden: 27-2718
 Cliente: JOGLY CUY SACUJ
 Unidad productiva: CHOVIT
 Localización: San Andrés Semetabaj, SOLOLA
 Cultivo: EJOTE



INFORME DE ANÁLISIS DE PERFIL MICROBIOLÓGICO M-1

LAB_Pr108_FM1

Versión 2

No. De laboratorio	Identificación de la muestra	Grupos Indicadores		
		Bacterias	Hongos/levaduras	Actinomicetos
10564	LOTE #1	+	+	+
10565	LOTE #2	++	+	+

No. De laboratorio	Identificación de la muestra	Grupos Funcionales					
		<i>Azospirillum spp.</i>	Bacterias solubilizadoras de fósforo	Bacterias solubilizadoras de potasio	Bacterias fijadoras de nitrógeno	<i>Bacillus spp.</i>	<i>Pseudomonas spp.</i>
10564	LOTE #1	+	+	+	+	+	+
10565	LOTE #2	+	-	+	-	+	-

Determinación cuantitativa de los microorganismos por el método de recuento en placas. Unidades formadoras de colonias (UFC).

Abundancia	Numero de colonias apreciadas (UFC * placa)	Interpretación
++++	>250	Muy abundantes
+++	150-100	Abundantes
++	80-50	Escasas
+	<50	Muy escasas
-	0-1	Sin desarrollo

Fecha de ingreso: lunes, 25 de mayo de 2020
 Fecha de ejecución: lunes, 1 de junio de 2020
 Fecha de entrega: lunes, 8 de junio de 2020

Muestra no conforme: NO APLICA
 Desviación de método: NO APLICA

Carmen Álvarez
 Licda. Carmen Álvarez
 Especialista en Plantas y P. V.

- Los resultados de este informe son validos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio y en su impresión ORIGINAL.
 - Los resultados de este informe corresponden a muestras recibidas de acuerdo a los Criterios de Aceptación establecidos por Analab
 - El Laboratorio ANALAB, no se responsabiliza por el uso inadecuado que se le de a este informe.
 - La reproducción parcial o total de este informe deberá ser autorizada por escrito por ANALAB.
- "Todo documento fuera del servidor Control_Documentos(\lancgua05) y de la carpeta \Publicados se considera una copia no controlada"