

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS Y AMBIENTALES
ÁREA INTEGRADA



TRABAJO DE GRADUACIÓN

EVALUACIÓN DE CUATRO PROGRAMAS DE FERTILIZACIÓN PARA EL CULTIVO DE
BERRO (*Nasturtium officinale* R. Brown), EN LA COMUNIDAD DE SANTA CRUZ
QUIXAYÁ, SAN LUCAS TOLIMÁN, SOLOLÁ, GUATEMALA, C.A.

MARIO RAÚL SOLOGAISTOA HERRERA

Guatemala, septiembre de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS Y AMBIENTALES
ÁREA INTEGRADA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

EVALUACIÓN DE CUATRO PROGRAMAS DE FERTILIZACIÓN PARA EL CULTIVO DE
BERRO (*Nasturtium officinale* R. Brown), EN LA COMUNIDAD DE SANTA CRUZ
QUIXAYÁ, SAN LUCAS TOLIMÁN, SOLOLÁ, GUATEMALA, C.A.

PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE
AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

MARIO RAÚL SOLOGAISTOA HERRERA

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO
INGENIERO AGRÓNOMO

EN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA
EN EL GRADO ACADÉMICO DE
LICENCIADO

Guatemala, septiembre de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR

Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Ing. Agr. Mario Antonio Godínez López
VOCAL I	Dr. Tomás Antonio Padilla Cámara
VOCAL II	Ing. Agr. M.A. César Linneo García Contreras
VOCAL III	Ing. Agr. M.Sc. Erberto Raúl Alfaro Ortiz López
VOCAL IV	Br. Ind. Milton Juan José Caná Aguilar
VOCAL V	P. For. Cristian Alexander Méndez López
SECRETARIO	Ing. Agr. Juan Alberto Herrera Ardón

Guatemala, septiembre de 2016

Guatemala, septiembre de 2016

Honorable Junta Directiva
Honorable Tribunal Examinador
Facultad de Agronomía
Universidad de San Carlos de Guatemala
Honorable miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el TRABAJO DE GRADUACIÓN: **EVALUACIÓN DE CUATRO PROGRAMAS DE FERTILIZACIÓN PARA EL CULTIVO DE BERRO (*Nasturtium officinale* R. Brown), EN LA COMUNIDAD DE SANTA CRUZ QUIXAYÁ, SAN LUCAS TOLIMÁN, SOLOLÁ, GUATEMALA, C.A.**, como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

Esperando que el presente llene los requisitos necesarios para su aprobación, me suscribo.

Atentamente,

MARIO RAÚL SOLOGAISTOA HERRERA

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

ACTO QUE DEDICO

A:

- Dios** Por ser el dueño del conocimiento, de lo empírico y de lo científico, porque sólo Él es quien lo sabe todo, y nadie más.
- Mis padres** Mildred Herrera y Mario Sologaistoa, por concebirme la vida y por ser mis confidentes en momentos de dificultad y desesperanza.
- Carlos España** Por sus sabios consejos y motivación en lo bueno y lo malo; gracias por ser una figura paterna para mí.
- Mis abuelos** Fidelia Tobías, Ezequiel Herrera (†), Violeta Mérida y Benjamín Sologaistoa (†); a quienes he admirado por ser ejemplo de superación.
- Mis hermanos** Carlos, Violeta, Esther, Lidia, Rosselyn, Luis, Benjamín, Mercedes, Antonio y José; deseando que puedan cumplir las metas que se han trazado en la vida.
- Mis tíos y primos** Agradeciendo el apoyo incondicional que me han brindado a lo largo de mi carrera.
- Mis sobrinos** A los que conozco y a los que aún no, esperando puedan tomar el ejemplo e ir en búsqueda de la superación personal.
- Valeska Reyes Leiva** A ti mi bella, recordándote que soy feliz a tu lado y que te llevo en mi corazón; gracias por preocuparte, creer y confiar en mí.
- Mis compañeros de la FAUSAC** Por estar conmigo en los buenos tiempos y en la dificultad, por su solidaridad y por compartir de momentos inolvidables dentro de la FAUSAC.

TRABAJO DE GRADUACIÓN QUE DEDICO

A:

Guatemala, mi amado país, deseando que tu primavera nos deslumbre y persista por la eternidad.

Santa Bárbara, Suchitepéquez; mi querido pueblo, el suelo que me vio nacer.

Mi madre, Mildred Herrera, como un homenaje que, aunque pequeño, lo ofrezco con mucho cariño por sus esfuerzos y sacrificios realizados en el afán de poder ofrecerme el sustento amoroso, moral y económico, para que ellos me condujeran por el camino del bien y así poder culminar con esta importante etapa de mi vida.

Todos mis compañeros de la Facultad de Agronomía (FAUSAC), especialmente a mi grupo de estudio: Gladys Arévalo, Myriam Escobar, Vivi Guerra, Alejandra Alfaro, Daniela López, Benita Simón, Sheila Méndez, Oscar Rucal, Stevens Surec, Willy Tut, Erwin Apén, Francisco Pec, Moisés Carías, Herber Chinchilla, Mynor Álvarez, Erick Alvarado, René Urizar, Nelson Pérez, Danny Santos y Mario Aroche.

La gloriosa Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC), mi Alma Mater.

La Facultad de Agronomía, sus catedráticos y personal administrativo; quienes velaron por ofrecerme una educación superior y de calidad.

La Escuela Nacional Central de Agricultura (ENCA), mi Alma Mater; quien encaminó mis primeros pasos en materia de la Agricultura.

AGRADECIMIENTOS

A:

- Dios** Por darme la vida y dotarme de fuerzas y sabiduría en todo momento.
- La gloriosa Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC)** Por ofrecerme la oportunidad de estudiar un oficio con el que puede apreciarse el fruto del esfuerzo, la Agricultura.
- Comité Campesino del Altiplano (CCDA) y su personal** Por darme la oportunidad de realizar mi Ejercicio Profesional Supervisado (EPS) en sus instalaciones, por la convivencia y su solidaridad.
- La familia Morales Baján** Por tenderme la mano, por su amistad y por proveerme los alimentos durante los diez meses de mi EPS.
- La familia Morales Sicán** Por su amistad y por ser quienes me hospedaran en la intimidad de su hogar durante los diez meses de mi EPS.
- Mis asesores, Dr. Silvel Elías y Dr. Pablo Prado** Por proporcionarme su apoyo moral durante el EPS y el conocimiento científico en la elaboración de mi trabajo de graduación.
- Inga. Agra. Erika Roquel** Por su ayuda incondicional y el apoyo motivacional para dar por finalizado el presente trabajo de graduación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN GENERAL	ix
CAPÍTULO I	1
DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA MIXTO FOMENTADO POR EL COMITÉ CAMPESINO DEL ALTIPLANO (CCDA), COMUNIDAD DE SANTA CRUZ QUIXAYÁ, SAN LUCAS TOLIMÁN, SOLOLÁ, GUATEMALA, C.A.	1
1 INTRODUCCIÓN	3
2 MARCO REFERENCIAL.....	5
3 OBJETIVOS	6
3.1 Objetivo general	6
3.2 Objetivos específicos	6
4 METODOLOGÍA	7
4.1 Observación directa	7
4.2 Consulta a fuentes primarias y secundarias.....	7
4.3 Identificación y síntesis de los problemas	8
4.4 Variables e indicadores	8
4.5 Recursos	9
5 RESULTADOS.....	10
5.1 Definición del sistema mixto.....	10
5.2 Datos históricos del sistema mixto	10
5.3 Manejo y características del sistema mixto	12
5.4 Problemas que prevalecen en el sistema mixto	14
6 CONCLUSIONES	16
7 RECOMENDACIONES	17
8 BIBLIOGRAFÍA	19
9 ANEXOS	20

	Página
CAPÍTULO II.....	23
EVALUACIÓN DE CUATRO PROGRAMAS DE FERTILIZACIÓN PARA EL CULTIVO DE BERRO (<i>Nasturtium officinale</i> R. Brown), EN LA COMUNIDAD DE SANTA CRUZ QUIXAYÁ, SAN LUCAS TOLIMÁN, SOLOLÁ, GUATEMALA, C.A.....	23
1 INTRODUCCIÓN.....	25
2 MARCO TEÓRICO	27
2.1 Marco conceptual.....	27
2.1.1 El cultivo de berro.....	27
2.1.1.1 Necesidades nutricionales y rendimiento del cultivo de berro	29
2.1.2 Humus de lombriz (lombricompost).....	30
2.1.3 Preparación y aplicación foliar de abonos orgánicos	32
2.1.4 Nitrógeno.....	33
2.1.4.1 Pérdidas de nitrógeno por volatilización	34
2.1.5 Ley de los rendimientos decrecientes	34
2.1.6 Tasa marginal de retorno (TMR)	35
2.1.6.1 Tasa mínima de retorno (TAMIR)	35
2.1.6.2 Rendimiento ajustado	36
2.2 Marco referencial	37
2.2.1 Localización de la investigación	37
2.2.1.1 Macrolocalización	37
2.2.1.2 Microlocalización	37
3 OBJETIVOS.....	39
3.1 Objetivo general.....	39
3.2 Objetivos específicos	39
4 METODOLOGÍA.....	40
4.1 Tratamientos y repeticiones.....	40
4.2 Variables de respuesta	40
4.3 Diseño experimental	41
4.4 Hipótesis estadísticas	41
4.5 Recursos.....	41

	Página
4.6 Manejo experimental	42
4.6.1 Preparación del terreno	42
4.6.2 Siembra	43
4.6.3 Delimitación de las unidades experimentales	43
4.6.4 Aplicación de las fuentes de fertilizante	43
4.7 Toma de datos	44
4.8 Análisis económico (TMR y residuos)	45
5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
5.1 Rendimientos obtenidos en el cultivo de berro.....	47
5.2 Análisis espacial de los rendimientos de berro obtenidos	50
5.3 Análisis estadístico de los rendimientos obtenidos	53
5.3.1 Análisis de varianza (ANDEVA).....	53
5.3.2 Análisis POST-ANDEVA (prueba de Tukey)	54
5.4 Análisis económico de tasa marginal de retorno (TMR).....	55
5.5 Diámetros del tallo en el cultivo de berro	59
5.5.1 Análisis de correlación entre el diámetro del tallo y el rendimiento del berro	62
5.6 Densidad de tallos en el cultivo de berro.....	62
5.6.1 Análisis de correlación entre la densidad de tallos y el rendimiento del berro	65
5.7 Análisis de regresión entre la dosis de lombricompost y el rendimiento del berro	66
5.7.1 Análisis de varianza de la regresión lineal.....	68
5.7.1.1 Hipótesis del ANDEVA de la regresión lineal	68
6 CONCLUSIONES	71
7 RECOMENDACIONES	72
8 BIBLIOGRAFÍA	74
9 ANEXOS	76

	Página
CAPÍTULO III	83
SERVICIOS REALIZADOS EN EL COMITÉ CAMPESINO DEL ALTIPLANO (CCDA), COMUNIDAD DE SANTA CRUZ QUIXAYÁ, SAN LUCAS TOLIMÁN, SOLOLÁ, GUATEMALA, C.A.....	83
1 INTRODUCCIÓN	85
2 SERVICIO 1. ESTABLECIMIENTO DE UN BANCO VIVO DE SEMILLAS (SEMILLERO) DE YUCA (<i>Manihot esculenta</i>) Y CAMOTE (<i>Ipomoea batatas</i>)	86
2.1 Objetivos.....	86
2.2 Metas	86
2.3 Metodología	86
2.3.1 Limpieza y preparación del terreno	87
2.3.2 Siembra	87
2.3.3 Rotulación de los surcos	87
2.3.4 Manejo de los cultivos	88
2.4 Recursos.....	88
2.5 Resultados.....	88
2.6 Evaluación	90
3 SERVICIO 2. ESTABLECIMIENTO DE UN SISTEMA DE TUTORADO PARA HORTALIZAS BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO.....	91
3.1 Objetivos.....	91
3.2 Metas	91
3.3 Metodología	91
3.3.1 Ahoyado	92
3.3.2 Preparación e inserción de los trozos de gravilea (<i>Grevillea robusta</i>).....	92
3.3.3 Colocación del eje principal de rafia y las guías verticales.....	92
3.3.4 Tutorado de las plántulas de pepino (<i>Cucumis sativus</i>) y tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>)	93
3.4 Recursos.....	93
3.5 Resultados.....	93
3.6 Evaluación	94

	Página
4	SERVICIO 3. PRÁCTICA DE ENSILADO AGROECOLÓGICO EN SEMILLAS DE MAÍZ (<i>Zea mays</i> L.) 96
4.1	Objetivos 96
4.2	Metas 96
4.3	Metodología 97
4.3.1	Secado de los granos de maíz 97
4.3.2	Determinación del contenido de humedad 97
4.3.3	Limpieza y llenado de los silos 97
4.3.4	Colocación de las candelas y sellado de los silos 98
4.4	Recursos 98
4.5	Resultados 99
4.6	Evaluación..... 101
5	BIBLIOGRAFÍA 103
6	ANEXOS 104

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Nómina de los beneficiarios del sistema mixto, período 2012 a 2014 11
Cuadro 2.	Porcentaje de elementos por 100 g de peso seco de humus de lombriz..... 31
Cuadro 3.	Aplicación de humus de lombriz a diferentes cultivos en Cuba 31
Cuadro 4.	Composicion química del humus de lombriz a partir de diferentes residuales ..32
Cuadro 5.	Descripción de los tratamientos evaluados 40
Cuadro 6.	Rendimientos del cultivo de berro (t/ha) 47
Cuadro 7.	Análisis de contenido nutricional del lombricompost utilizado 48
Cuadro 8.	Cuadro resumen del ANDEVA 53
Cuadro 9.	Diferencias absolutas entre los rendimientos promedio de berro 54
Cuadro 10.	Asignación de los grupos de Tukey 55
Cuadro 11.	Definición de los costos variables (Q/ha)..... 56
Cuadro 12.	Rendimiento experimental y ajustado 57

	Página
Cuadro 13. Definición de los beneficios netos (Q/ha)	57
Cuadro 14. Análisis de dominancia de los tratamientos	58
Cuadro 15. Determinación de la TMR(%) y los residuos	58
Cuadro 16. Diámetros del tallo (mm) en el cultivo de berro	59
Cuadro 17. Análisis de correlación entre el diámetro del tallo y el rendimiento del berro	62
Cuadro 18. Densidades obtenidas en el cultivo de berro (tallos/m ²).....	63
Cuadro 19. Análisis de correlación entre la densidad de tallos y el rendimiento del berro	65
Cuadro 20. Análisis de regresión entre la dosis de lombricompost y el rendimiento del berro	67
Cuadro 21. Cuadro resumen del ANDEVA de la regresión lineal	69
Cuadro 22A. Boleta para la toma de datos	77
Cuadro 23A. Diámetros obtenidos en los 10 tallos muestreados por unidad experimental.....	78
Cuadro 24. Contenido de humedad en las muestras de maíz a ensilado	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización de la comunidad Santa Cruz Quixayá, San Lucas Tolimán, Sololá.....	5
Figura 2A. Fotografía de un estanque natural protegido con plantas flotantes de ninfa	20
Figura 3A. Fotografía de un estanque de tilapia recubierto de concreto.....	21
Figura 4A. Fotografía de la plantación de malanga creciendo a orillas del estanque	21
Figura 5A. Fotografía de las terrazas que constituyen las parcelas de berro	22
Figura 6A. Fotografía del río Quixayá	22
Figura 7. Fotografía de la cobertura del suelo en donde se ejecutó la investigación.....	38
Figura 8. Gráfica del rendimiento promedio en el cultivo de berro (t/ha)	47
Figura 9. Representación tridimensional de los rendimientos de berro obtenidos	51

	Página
Figura 10. Vista de planta de la representación tridimensional de los rendimientos obtenidos.....	52
Figura 11. Gráfica del diámetro promedio en tallos de berro (mm)	60
Figura 12. Gráfica de la tendencia entre el rendimiento y el diámetro del tallo en el cultivo de berro	61
Figura 13. Gráfica de la densidad promedio del cultivo de berro (tallos/m ²)	63
Figura 14. Gráfica de la tendencia entre el rendimiento y la densidad de tallos en el cultivo de berro	64
Figura 15. Gráfica de la relación entre la dosis de lombricompost y el rendimiento promedio en el cultivo de berro	67
Figura 16A. Distribución de los tratamientos (croquis de campo)	76
Figura 17A. Fotografía de la distribución del material vegetativo (semilla)	79
Figura 18A. Fotografía del ensayo a las dos semanas después de la siembra.....	79
Figura 19A. Fotografía de las soluciones (tratamientos) utilizadas	80
Figura 20A. Fotografía de la aplicación de los fertilizantes	80
Figura 21A. Fotografía del marco metálico utilizado para la cosecha (toma de datos)	81
Figura 22A. Fotografía de la parcela después de tomadas las muestras de rendimiento ..	81
Figura 23A. Fotografía del pesado de las muestras	82
Figura 24. Fotografía tomada al finalizar de establecer el semillero de yuca y camote	89
Figura 25. Fotografía de las plantas de pepino tutoradas con el sistema instalado	94
Figura 26. Fotografía de la lectura del contenido de humedad en una muestra de maíz.....	100
Figura 27. Fotografía de las candelas colocadas en la superficie del maíz almacenado	101
Figura 28A. Fotografía de la semilla de yuca utilizada para el semillero	104
Figura 29A. Fotografía de la semilla de camote utilizada para el semillero.....	105
Figura 30A. Fotografía de la limpieza del terreno donde se estableció el semillero.....	105
Figura 31A. Fotografía de la preparación de los surcos para el semillero de yuca y camote.....	106
Figura 32A. Fotografía de la siembra de los vástagos de yuca.....	106

	Página
Figura 33A. Fotografía del rótulo elaborado para el semillero de yuca.....	107
Figura 34A. Fotografía del rótulo elaborado para el semillero de camote.....	107
Figura 35A. Fotografía de los materiales utilizados para el sistema de tutorado	108
Figura 36A. Fotografía de la construcción de los agujeros para el sistema de tutorado..	108
Figura 37A. Fotografía al colocar la capa protectora de nylon sobre los trozos de gravilea	109
Figura 38A. Fotografía de la inserción de los trozos de gravilea dentro de los agujeros .	109
Figura 39A. Fotografía del trenzado del eje principal de rafia.....	110
Figura 40A. Fotografía del eje principal de rafia trenzada	110
Figura 41A. Fotografía al introducir la muestra de maíz en el medidor de humedad.....	111
Figura 42A. Fotografía del proceso de llenado del silo	111
Figura 43A. Fotografía al encender las candelas de parafina.....	112
Figura 44A. Fotografía del sellado de la tapa superior del silo metálico utilizado	112

EVALUACIÓN DE CUATRO PROGRAMAS DE FERTILIZACIÓN PARA EL CULTIVO DE BERRO (*Nasturtium officinale* R. Brown), EN LA COMUNIDAD DE SANTA CRUZ QUIXAYÁ, SAN LUCAS TOLIMÁN, SOLOLÁ, GUATEMALA, C.A.

RESUMEN GENERAL

El marco del presente trabajo se desarrolla en el Comité Campesino del Altiplano (CCDA), específicamente en la comunidad de Santa Cruz Quixayá, San Lucas Tolimán, Sololá. Los contenidos fundamentales se basan en el diagnóstico, la investigación y los servicios prestados durante el Ejercicio Profesional Supervisado (EPS).

En el capítulo I se presenta el diagnóstico del sistema mixto desarrollado en la comunidad de Santa Cruz Quixayá. El sistema mixto está constituido de pequeñas parcelas familiares destinadas a la producción, en asocio, de estanques para tilapias (*Oreochromis* spp.) con tubérculos y raíces comestibles como yuca (*Manihot esculenta*), malanga (*Colocasia esculenta*) y camote (*Ipomoea batatas*). En el diagnóstico se priorizaron tres problemas o necesidades fundamentales, siendo estos: a) la muerte de alevines por efecto de la contaminación de la fuente de agua debido a los productos químicos utilizados para el manejo del cultivo de berro (*Nasturtium officinale* R. Brown), b) el alto costo de los concentrados ha conllevado a la búsqueda de nuevas dietas alimenticias que reduzcan los costos de alimentación de los peces y c) la ausencia de bancos de semillas que permitan conservar el germoplasmas de yuca y camote, y así asegurar la siembra de éstos en épocas posteriores.

Teniendo en cuenta los problemas encontrados en el capítulo I, se priorizó el problema de la muerte de alevines por efecto del manejo convencional del cultivo de berro. En el capítulo II se presenta la investigación efectuada, basada en la evaluación de cuatro programas de fertilización para el cultivo de berro, por lo que se estudió el efecto de tres dosis de lombricompost (humus de lombriz) y la dosis única de urea como tratamiento testigo. El objetivo principal de la investigación consistió en evaluar el efecto de diferentes

fuentes y niveles de fertilizantes sobre el rendimiento del cultivo de berro, a manera de sustentar los beneficios de utilizar fuentes orgánicas para la fertilización. Además de los rendimientos (kg/ha) obtenidos con cada tratamiento, se tomaron en cuenta otras variables de respuesta tales como el diámetro (mm) y la densidad de tallos (tallos/m²) en el cultivo. La investigación realizada demostró que el cultivo de berro responde mejor a la fertilización con lombricompost y que una dosis de 3 kg/ha produce mejores resultados que utilizar urea a una dosis equivalente.

En el capítulo III se desarrollan los servicios realizados en el CCDA, y corresponden también a los problemas y necesidades básicas encontradas durante el diagnóstico o que surgieron durante la ejecución del EPS. Los servicios realizados consistieron en: a) el establecimiento de un banco vivo de semillas de yuca y camote que contribuyera a tener semilla a disposición en cualquier época del año, b) el establecimiento de un sistema de tutorado para la producción de hortalizas bajo condiciones de invernadero con el objetivo de mejorar la infraestructura del invernadero destinado a las prácticas agrícolas de familias campesinas y c) la práctica de ensilado agroecológico en semillas de maíz mediante la técnica de las candelitas de parafina y así contar con un grano almacenado libre de los químicos (fosforo de aluminio) que acostumbran utilizarse para el efecto.

CAPÍTULO I

DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA MIXTO FOMENTADO POR EL COMITÉ CAMPESINO
DEL ALTIPLANO (CCDA), COMUNIDAD DE SANTA CRUZ QUIXAYÁ, SAN LUCAS
TOLIMÁN, SOLOLÁ, GUATEMALA, C.A.

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad, las comunidades del área rural de la República de Guatemala, presentan problemas y problemáticas de tipo agrícola que no han sido resueltas o que aún están por descubrirse. La comunidad de Santa Cruz Quixayá, San Lucas Tolimán no es la excepción. Los problemas siempre prevalecen y qué mejor que encontrar y resolver los problemas que inquietan a la población.

La colonia Santa Cruz Quixayá pertenece al municipio de San Lucas Tolimán, departamento de Sololá, se ubica en el kilómetro 162.5 a orillas de la carretera que conduce del centro de San Lucas Tolimán hacia Patulul. El Comité Campesino Del Altiplano (CCDA), tiene su sede central en la colonia Quixayá y es una organización que vela por el fortalecimiento de la agricultura y economía campesina del área rural de Guatemala.

El CCDA trabaja actualmente incentivando a las comunidades para que trabajen con tres sistemas agroalimentarios (sistema milpa, sistema patio y sistema mixto). El sistema mixto consiste en la incorporación de pequeñas parcelas familiares destinadas a la producción, en asocio, de tilapias (*Oreochromis spp.*) con tubérculos y raíces comestibles como yuca (*Manihot esculenta*), malanga (*Colocasia esculenta*) y camote (*Ipomoea batatas*). Este proyecto nació con el propósito de fortalecer la seguridad alimentaria y diversificación de la dieta alimenticia de las familias campesinas, aunque en la actualidad, ya se tienen excedentes y eso ha permitido dinamizar la economía de las familias, y alcanzar la sostenibilidad de las parcelas donde se ha incorporado este sistema.

El sistema mixto inicia en el año 2012 con un grupo de mujeres de la colonia Quixayá y hasta el momento se ha extendido a otras comunidades como Nueva Providencia y Totolyá, pertenecientes al municipio de San Lucas Tolimán. Hasta el año 2014 han sido 51 las familias beneficiadas con este sistema, y son las mujeres quienes han tenido una mayor participación (61%).

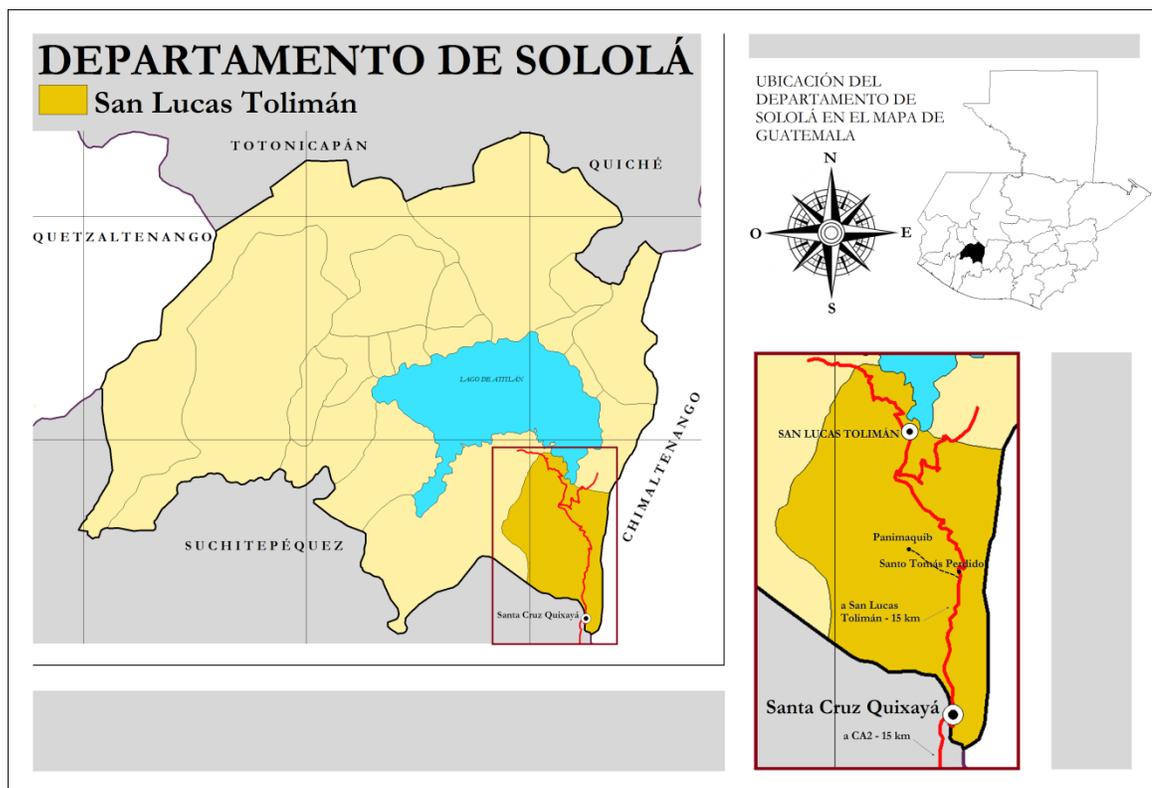
El presente diagnóstico se realizó con el objetivo de conocer la situación actual que prevalece dentro del sistema mixto en la comunidad de Quixayá, San Lucas Tolimán, Sololá, a manera de detectar los problemas y problemáticas, de ámbito agropecuario, que predominan en el área de influencia del sistema mixto, fomentado por parte del Comité Campesino Del Altiplano.

En el diagnóstico del sistema mixto se han priorizado tres problemas y necesidades fundamentales. El primero es que la muerte de alevines por la contaminación de la fuente de agua se ha dado frecuentemente en la parte baja del río, ya que la toxicidad de los productos químicos utilizados para el manejo agronómico del cultivo de berro aguas arriba, llega a los estanques de forma concentrada, ocasionando pérdidas por muerte de las crías (alevines). El segundo es que el alto costo de los concentrados ha conllevado a la búsqueda de nuevas dietas alimenticias que reduzcan los costos de alimentación de los peces. El tercero es que la comunidad no cuenta y carece del conocimiento de cómo construir un banco de semillas que les permita conservar el germoplasma de yuca y camote, y así poder asegurar la siembra de éstos en épocas posteriores.

2 MARCO REFERENCIAL

Santa Cruz Quixayá es una comunidad perteneciente al municipio de San Lucas Tolimán Sololá y se encuentra ubicada en el kilómetro 162.5 a orillas de la carretera que conduce desde el centro de San Lucas Tolimán, hacia Patulul, Suchitepéquez, al norte colinda con la comunidad Providencia, al sur con la comunidad San Felipe, al este con la comunidad Nueva Vida y al oeste con la comunidad San Juan El Mirador, geográficamente se posiciona en 14°31'57.38" latitud norte, 91°7'42.47" longitud oeste y a una altitud de 783 msnm (GETAMAP, 2015). En la actualidad, la población de Quixayá está constituida por alrededor 130 familias donde el idioma predominante es el kaqchikel (Barrientos, 2008).

En la figura 1 se muestra la ubicación de la comunidad Santa Cruz Quixayá en el departamento de Sololá.



Fuente: elaboración propia, 2015

Figura 1. Localización de la comunidad Santa Cruz Quixayá, San Lucas Tolimán, Sololá

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Conocer la situación actual que prevalece dentro del sistema mixto en la comunidad de Santa Cruz Quixayá, San Lucas Tolimán, Sololá.

3.2 Objetivos específicos

1. Conocer la situación actual del sistema mixto, determinando los problemas y las problemáticas que prevalecen en el manejo tecnológico, manejo agronómico y la comercialización de los productos obtenidos.
2. Determinar la existencia de agentes externos que estén limitando el manejo del sistema mixto.

4 METODOLOGÍA

4.1 Observación directa

Se realizaron varios recorridos en el área de influencia del sistema mixto desarrollado en la comunidad de Santa Cruz Quixayá. El sistema mixto comprende la producción de tilapia, malanga, camote y yuca. Aquí se procedió a detectar, visualmente, los problemas y problemáticas presentes en el lugar, observando las condiciones actuales de manejo de los estanques y los terrenos donde se cultivan los tubérculos y raíces comestibles.

El sistema mixto se encuentra ubicado a orillas del río Quixayá. La guía de observación se enfocó en los siguientes puntos:

- Inicialmente, se realizaron recorridos con Wilson Tzunún y David Cosiguá, comunitarios de Quixayá y miembros del CCDA; caminando entre las parcelas productivas desde la parte baja hacia la parte alta del río Quixayá.
- Seguidamente, se identificaron las condiciones actuales de los estanques y de las áreas productivas.
- Finalmente, se recabó información como: área, profundidad, permeabilidad, recubrimiento de los estanques (tierra, concreto o nylon), presencia o ausencia de tubérculos, parcelas circuladas con barreras, uso de los peces y los tubérculos, densidad de siembra de los peces, recambio de agua.

4.2 Consulta a fuentes primarias y secundarias

En esta fase se estableció un ambiente de diálogo, interactuando directamente con las personas relacionadas con el mantenimiento del sistema mixto, así también con los integrantes del Departamento Agrícola del CCDA, que ya tienen experiencia y saben de

las situaciones que actualmente aquejan a los socios del sistema mixto de la comunidad de Santa Cruz Quixayá.

Se consultaron fuentes secundarias con el objetivo de construir un marco referencial de la comunidad de Santa Cruz Quixayá. También, se realizó una revisión de los archivos del CCDA, para conocer un poco sobre la historia del sistema mixto, sus inicios, su desenlace, sus propósitos y la posición que ocupa en la actualidad.

4.3 Identificación y síntesis de los problemas

Con la observación directa y la consulta a fuentes primarias y secundarias, se buscó la obtención exhaustiva de información, posteriormente, la información fue procesada a manera de hacer un ordenamiento y una síntesis puntual de los problemas y problemáticas presentes en el sistema mixto de la comunidad de Santa Cruz Quixayá.

4.4 Variables e indicadores

Con la información recabada en el diagnóstico se desea conocer de manera puntual los siguientes aspectos:

- Definición y caracterización del sistema mixto.
- Datos históricos del sistema mixto.
- Problemas y problemáticas internos y externos al sistema mixto.
- Manejo agronómico, tecnológico, de transformación y comercialización de los productos obtenidos en el sistema mixto (malanga, yuca, camote y tilapia).

4.5 Recursos

Para emprender el diagnóstico en la comunidad de Santa Cruz Quixayá, se utilizaron principalmente los siguientes recursos:

- Cámara fotográfica
- Guías de observación
- Guías de entrevista
- Archivos del CCDA

5 RESULTADOS

5.1 Definición del sistema mixto

El CCDA, es una organización que vela por el fortalecimiento a la agricultura campesina y de la economía campesina, buscando el desarrollo rural integral (DRI) de las comunidades, proporcionando incentivos para que las familias inicien su producción y que con el tiempo puedan volverla un sistema sustentable. Actualmente trabaja incentivando a las comunidades para que trabajen con tres sistemas agroalimentarios (sistema milpa, sistema patio y sistema mixto). El sistema mixto es una forma de asegurar la soberanía alimentaria y consiste en pequeñas parcelas familiares destinadas a la producción de tilapia (*Oreochromis spp.*) asociado a cultivos de yuca (*Manihot esculenta*), malanga (*Colocasia esculenta*) y camote (*Ipomoea batatas*).

La idea principal del asocio de peces y tubérculos es la de asegurar alimento en cualquier época del año, ya que mientras una familia no tiene peces con un tamaño adecuado para ser consumido, puede abastecerse con los tubérculos que produce dentro de su parcela.

Las parcelas del sistema mixto se encuentra ubicadas a las orillas del río Quixayá y la vía de acceso consta de un camino de terracería ubicado a un costado del mismo, también existen pequeños puentes improvisados para poder transitar a lo ancho del río.

5.2 Datos históricos del sistema mixto

El sistema mixto comienza en el mes de febrero del año 2012 con un grupo de 10 mujeres, de la colonia Quixayá, comprometidas con la implementación de este sistema como una alternativa para la incorporación de nuevos y sanos alimentos en la dieta alimentaria.

La idea principal del sistema mixto como proyecto de fortalecimiento a las economías campesinas era la búsqueda de la seguridad alimentaria de las familias y con ello buscaba

la participación de hombres y mujeres, pero recientemente, las mujeres han tomado un papel bastante importante en el desarrollo de este sistema, ya que su involucramiento en el campo productivo ha roto con el papel monótono que han desempeñado por años como amas de casa. Hasta el año 2014, el 61% de los beneficiados han sido las mujeres, convirtiéndolas en el género con mayor participación en este sistema.

En el cuadro 1 se incluyen las estadísticas de los socios beneficiarios del sistema mixto hasta el año 2014.

Cuadro 1. Nómina de los beneficiarios del sistema mixto, período 2012 a 2014

Año	Mujeres	Hombres	Total
2012	10	0	10
2013	20	7	27
2014	1	13	14
Total	31	20	51
Porcentaje	61%	39%	100%

Fuente: elaboración propia con datos del CCDA, 2015

Las familias beneficiadas con el sistema mixto han logrado la sustentabilidad de sus sistemas y han adquirido destrezas para el manejo independiente de sus estanques, ya que con el aporte inicial de alevines y tubérculos han hecho de ello un círculo que les ha permitido generar no sólo una producción destinada a la seguridad alimentaria y una alimentación diversificada, sino que han generado excedentes que han significado un ingreso económico y con ello la compra de materia prima para la autosuficiencia en sus parcelas. De esta manera, el 90% de la producción ha sido destinada a la alimentación (consumo propio) y el 10% destinada a la venta.

Actualmente el sistema mixto se encuentra ubicado en tres comunidades, siendo éstas: la comunidad Santa Cruz Quixayá, la comunidad Nueva Providencia y la comunidad Totolyá.

Se tiene registrado que la introducción del sistema mixto en la colonia Quixayá desde el año 2012, motivó a casi el 90% de los habitantes de esta comunidad a iniciar sus propios proyectos familiares en la producción de tilapia.

5.3 Manejo y características del sistema mixto

En la crianza de peces se tienen, en su mayoría, estanques naturales (sin recubrimiento), aunque también los hay con recubrimientos de concreto, las dimensiones van desde los 2*2 m hasta los 4*4 m y en algunos casos de hasta 6*6 m, y una profundidad que varía entre 0.60 y 1 m. Cada familia asociada al proyecto posee entre tres y cinco estanques. La ración diaria de alimentación es proporcionada dos veces por día, una parte por la mañana y otra por la tarde, y está comprendida principalmente por concentrado balanceado para peces, pero además, a la dieta se le incluye tortilla, hojas de malanga, hojas de güisquil (*Sechium edule*) y bejuco (*Ipomoea* spp.).

La densidad de peces alcanza los 20 individuos/m² y a veces suele ser mayor debido a que los estanques son demasiado pequeños. Las parcelas de los asociados no están delimitadas de manera física, por lo que esto las hace propensas a la pérdida de los peces que son raptados por otros animales como garzas, perros de agua (nutrias) e incluso, el robo por parte de las personas. La mayoría de los estanques cuentan con una limpieza adecuada, ya que el recambio de agua en los mismos es constante, lo que contribuye a que el recambio sea mayor al 10% diario que cita la literatura (FAO, 2014). Algunas personas han ideado cubrir sus estanque con malla para gallinero o bien colocar ninfa dentro de sus estanques para evitar que la garza llegue a sacar los peces del agua y además, contribuye al hospedero de insectos que los peces pueden aprovechar para su alimentación.

La producción de peces comenzó con la intención de asegurar la alimentación familiar (90% de la producción), pero con el paso del tiempo, algunas familias han tenido excedentes, y eso ha conllevado a que el producto también se comercialice (10% de la

producción), con un costo de Q20.00 por lb. Bajo las condiciones de manejo actual, pueden cosecharse peces de una lb a los seis meses de edad. Al principio, los peces se consumían cuando alcanzaban una lb de peso, pero por iniciativa de las mujeres asociadas a este sistema, y por la necesidad de alimentar familias con varios integrantes (niños principalmente), los peces comenzaron a cosecharse al alcanzar un peso entre las cuatro y ocho onzas. Con la motivación de otras familias a iniciar su propio proyecto de producción de peces, los socios han comercializado peces en estado de alevín, y el costo oscila entre los Q3.00 y Q5.00 por cada uno.

En la actualidad (febrero de 2015), no se cuenta con la producción de yuca y camote, únicamente con las otras especies antes mencionadas, esto debido a que la época seca del año no lo permite. La siembra de yuca y camote inicia en el mes de mayo, cuando comienza la época lluviosa. La época lluviosa marca el inicio para la siembra de los tubérculos y raíces comestibles. En la localidad se cosecha yuca una vez al año, mientras que el camote puede cosecharse dos veces al año. El cultivo de malanga se mantiene presente todo el año, ya que crece a orillas del río y estanques, donde puede aprovechar la humedad.

El sistema mixto, por establecerse dentro del río, se encuentra aledaño a parcelas donde los pobladores de Santa Cruz Quixayá cultivan berro (*Nasturtium officinale* R. Brown), y el manejo convencional de éste ha conllevado, en algunos casos, a la pérdida de alevines por intoxicación de los productos químicos utilizados.

Generalmente, el manejo del cultivo de berro en Quixayá implica el uso de urea como fertilizante aplicado vía foliar; la cantidad de ésta puede variar según el criterio de los agricultores y oscila entre los 3 y 13 kg/ha. El control de enfermedades fúngicas se realiza con el uso de cobre azul (sulfato de cobre¹) y se utiliza a razón de 2 medidas

¹ El cobre azul o sulfato de cobre es catalogado como un producto nocivo y peligroso para el medio ambiente, muy tóxico para organismos acuáticos ya que tiene lugar a la bioacumulación, en peces por ejemplo. La ingestión de 250 mg de sulfato de cobre puede producir toxicidad.

Bayer²/bomba, mientras que el insecticida más comúnmente utilizado es el endosulfán³ aplicado a razón de 1.5 medidas Bayer/bomba. Las aplicaciones de estos productos sobre el cultivo de berro son constantes y se realizan unas dos veces por semana, mientras que la fertilización se realiza una o dos veces por semana, o bien, cuando los agricultores observan síntomas de decoloración en el follaje del cultivo.

5.4 Problemas que prevalecen en el sistema mixto

A continuación se presentan los principales problemas encontrados en el diagnóstico del sistema mixto:

- La muerte de alevines por la contaminación de la fuente de agua se ha dado frecuentemente en la parte baja del río, ya que fuera del sistema mixto, pero aledañas a éste, se encuentran también pequeñas parcelas donde se produce berro, que es la principal fuente de ingreso de los habitantes de la comunidad de Santa Cruz Quixayá, y el uso constante de productos químicos para el manejo agronómico de éste, ha conllevado a que los estanques, cuyo abastecimiento de agua es la de pequeños nacimientos aledaños al río, se contaminen, con tóxicos que llegan de forma concentrada a los estanques, y provoquen efectos negativos y hasta la muerte en las crías (alevines) de los peces.
- El alto costo de los concentrados ha conllevado a la búsqueda de otras alternativas para la alimentación de los peces.
- La comunidad no cuenta con un banco de semillas que permita conservar el germoplasma y así asegurar la siembra de camote y yuca en épocas posteriores.

² Una medida Bayer equivale a un volumen de 25 cm³.

³ Según la WHO (2010) el endosulfán entra en la categoría de los productos moderadamente peligrosos (banda amarilla) con base a una DL₅₀ (dosis letal 50) oral en la rata de 80 mg/kg de peso corporal.

- No existe sincronización en la producción de peces, es decir, existen meses donde la producción es demasiada y otros en que no hay producción.
- A pesar que se cuenta con una guía técnica que enmarca los lineamientos para la producción de peces en esta región, aún existen deficiencias acerca del cultivo de éstos. La alimentación de los peces es un punto deficiente, ya que se realiza de forma empírica y no con los parámetros de alimentación que se establecen según la talla (tamaño) de los ejemplares (FAO, 2014).
- La reproducción excesiva de los peces adultos y el bajo número de estanques de las familias ha conllevado a un mal manejo de las densidades de peces dentro de los estanques.
- Las familias que venden alevines no han estandarizado la talla y los precios de venta de los mismos.
- Muchas veces, las personas asociadas al sistema mixto, participan en otros trabajos como el corte de café y otras actividades relacionadas a este cultivo, lo que conlleva a un descuido de sus parcelas.
- Hasta el momento no existe ninguna delimitación física entre las parcelas de los asociados y eso ha conllevado al perjuicio por parte de la fauna del lugar, e incluso el hurto por parte de otras personas que ingresan a parcelas ajenas.
- La producción de tubérculos no es continua, ya que en la época seca no se observa producción de yuca y camote.

6 CONCLUSIONES

1. La situación actual del sistema mixto en la comunidad Santa Cruz Quixayá, abarca problemas que se pueden resolver en un corto tiempo, así como otros que pueden resolverse en el largo plazo. El sistema mixto incluye la producción de tilapia combinada con la obtención de algunas raíces comestibles como yuca, malanga y camote. En los problemas prioritarios detectados mediante el diagnóstico se incluyen a) la falta de semilla de yuca y camote durante la época seca del año, b) el alto costo del alimento balanceado con el que se alimenta a los peces y c) la contaminación de los estanques de tilapia con residuos de productos químicos arrastrados desde las parcelas donde se cultiva berro.
2. Entre los agentes externos que limitan la producción en el sistema mixto se encuentra la producción del cultivo de berro río arriba, ya que el uso de productos químicos (urea, cobre azul, endosulfán, entre otros) para el manejo de éste contribuye a la intoxicación de los alevines que crecen en los estanques de tilapia. Otro agente que limita el progreso del sistema es el perjuicio de la fauna y de algunas personas que recorren las parcelas, hurtando lo que no les pertenece.

7 RECOMENDACIONES

1. Es necesario priorizar la solución a los problemas encontrados a través del diagnóstico, tratando de enmendar los que pueden realizarse en el corto plazo y dejar para después los de menos importancia. Los problemas que pueden solucionarse a corto plazo son: la incorporación de bancos de semillas, definir los costos actuales de producción, la construcción de nuevos estanques para peces, la estandarización de precios en los alevines, la delimitación física de las parcelas donde yacen los estanques. Mientras tanto, los problemas que necesitarán de más tiempo para solucionarse son: la incorporación de técnicas agroecológicas de producción de berro y la realización de ensayos que busquen alternativas de alimentación para los peces.
2. Aunque es imposible que los productores de berro de Santa Cruz Quixayá tornen su forma convencional de producción de la noche a la mañana, es aconsejable que se busquen maneras alternativas de producción, implementando las técnicas orgánicas para cultivar el berro y así no perjudicar la producción de tilapia.
3. Se recomienda buscar alternativas para la alimentación de tilapia, elaborando alimentos con insumos del área (plantas, semillas, restos de comida), para que éstos sean suministrados a la dieta alimenticia de los peces.
4. Es necesario que las familias productoras de tilapia del sistema mixto realicen una estandarización en el precio de venta de los alevines según el tamaño de éstos.
5. Construir un programa de alimentación para tilapia, tomando en cuenta la edad de los peces (días o semanas), estableciendo las cantidades de alimento diario que se les dará a los peces.

6. Aunque la finalidad de la producción de tilapia no es la comercialización, se recomienda se haga un análisis para conocer los costos de producción de tilapia (Q/lb).

7. Es preciso que los socios del sistema mixto procedan a la construcción de barreras físicas que impidan el ingreso y perjuicio de animales terrestres y de personas que hurtan.

8 BIBLIOGRAFÍA

1. Barrientos, H. 2008. Diagnóstico socioeconómico, potencialidades productivas y propuestas de inversión, municipio de San Lucas Tolimán, departamento de Sololá. Informe EPS. Guatemala, USAC, Facultad de Ciencias Económicas. v. 15, 183 p.
2. FAO, GT. 2014. Manual técnico para el cultivo extensivo y semi-intensivo de tilapia, proyecto: implementación de unidades demostrativas para el cultivo piscícola en el departamento de Jalapa. Guatemala. 20 p.
3. GETAMAP. 2015. Finca Santa Cruz Quixayá, departamento de Sololá (en línea). Guatemala. Consultado 21 feb 2015. Disponible en <http://bit.ly/1cOY7k2>
4. WHO, SW. 2010. The WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification 2009. Geneva, Switzerland, WHO Library Cataloguing-in-Publication Data. 78 p.

9 ANEXOS



Fuente: propia, 2015

Figura 2A. Fotografía de un estanque natural protegido con plantas flotantes de ninfa



Fuente: propia, 2015

Figura 3A. Fotografía de un estanque de tilapia recubierto de concreto



Fuente: propia, 2015

Figura 4A. Fotografía de la plantación de malanga creciendo a orillas del estanque



Fuente: propia, 2015

Figura 5A. Fotografía de las terrazas que constituyen las parcelas de berro



Fuente: propia, 2015

Figura 6A. Fotografía del río Quixayá

CAPÍTULO II

EVALUACIÓN DE CUATRO PROGRAMAS DE FERTILIZACIÓN PARA EL CULTIVO DE BERRO (*Nasturtium officinale* R. Brown), EN LA COMUNIDAD DE SANTA CRUZ QUIXAYÁ, SAN LUCAS TOLIMÁN, SOLOLÁ, GUATEMALA, C.A.

1 INTRODUCCIÓN

La comunidad de Santa Cruz Quixayá, San Lucas Tolimán, Sololá es una de las principales productoras de berro (*Nasturtium officinale* R. Brown) en el país. El cultivo de berro representa la principal fuente de ingreso económico para las más de 100 familias que habitan en el lugar.

Santa Cruz Quixayá cuenta con el río Quixayá, que suple algunas de las necesidades básicas de las familias, entre ellas, la disponibilidad de agua para el uso doméstico (agua potable que se extrae desde los manantiales que dan origen al río) y el riego para la producción de berro, ya que éste crece dentro de él. En la actualidad los comunitarios han incorporado técnicas para la producción de tilapia (*Oreochromis* spp.), actividad que ha traído beneficios para la dieta de las familias que habitan la comunidad, ya que además del berro y otras hortalizas, pueden añadir el consumo de un pescado más saludable que el extraído del lago de Atitlán.

Desde hace muchos años, las familias se han dedicado a la producción convencional del cultivo de berro, haciendo uso de agroquímicos para el efecto. El uso excesivo y frecuente de estos químicos para la producción del cultivo de berro, ha conllevado a perturbar las áreas naturales dentro del río donde se cultiva tilapia. El uso de agroquímicos es un riesgo que no sólo corre la fauna del lugar, sino que también es un riesgo para la salud de la población humana que consume este cultivo.

A raíz de lo señalado anteriormente, se realizó la presente investigación donde se buscaron técnicas alternativas y agroecológicas que permitieron evaluar los rendimientos obtenidos mediante la utilización de tres dosis de lombricompost (3, 12 y 24 kg/ha) y una sola dosis de urea (3 kg/ha), que es la que los comunitarios utilizan normalmente para la producción de berro, ambas fuentes de fertilizante aplicadas de forma foliar. Los rendimientos obtenidos con cada uno de los tratamientos evaluados se sometieron a un análisis económico de tasa marginal de retorno (TMR) para comparar las diferencias existentes entre un tratamiento y otro, es decir, la factibilidad de cada tratamiento.

El rendimiento de berro obtenido, en parcelas experimentales de 1 m², con la aplicación de urea (testigo) a razón de 3 kg/ha fue de 23.58 t/ha, mientras que los obtenidos con la aplicación de lombricompost superaron por completo al obtenido con el testigo y resultaron ser de 28.98, 25.00 y 24.43 t/ha para las dosis de 3, 12 y 24 kg/ha, respectivamente. Los rendimientos obtenidos y el análisis estadístico, indican que el mejor de los tratamientos es donde se utilizó lombricompost a razón de 3 kg/ha. El análisis económico de TMR coincide con el análisis estadístico, confirmando que el mejor de los tratamientos es la utilización de lombricompost a razón de 3 kg/ha, ya que presenta una TMR mayor a la tasa mínima de retorno (TAMIR) aceptable, que para este caso es de 100%, y un residuo mayor al que representan los demás tratamientos.

En la investigación se evaluaron otras variables tales como el diámetro del tallo (mm) y densidad del cultivo (tallos/m²), y los resultados obtenidos revelan tendencias al compararlas con el rendimiento (t/ha). Se observó que los mayores rendimientos correspondieron a las menores densidades de cultivo, y a los mayores diámetros en los tallos. Los mejores rendimientos se obtuvieron con el uso de lombricompost (el humus) diluido como fertilizante foliar, por lo tanto, tomando en cuenta las tendencias observadas entre el rendimiento y los diámetros del tallo, son los tratamientos orgánicos los que presentaron, aunque menos densos, tallos de mayor grosor.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Marco conceptual

2.1.1 El cultivo de berro

El berro es una planta originaria de Europa central y occidental (Grüner *et al.*, 2005). Es una planta perenne acuática con tallos simples o ramificados, que forma colonias densas sobre la superficie del agua (Standley y Steyermark, 1946). Para su cultivo es necesaria el agua limpia en movimiento. Para la preparación del terreno se hacen hoyos de 2 m de ancho y 35 cm de profundidad a lo largo del arroyo, con pendiente inclinada hacia el curso del agua. La multiplicación del berro se hace por esquejes o matas ya enraizadas, de modo que el agua los cubra de 3 o 4 cm (Faveri y Larbalétrier, 2008).

Si bien el berro es una planta a la que se le atribuye un conjunto de beneficios para la salud (limpieza de riñones, mejora el funcionamiento del hígado, alivia los problemas de reumas, mejora el funcionamiento del corazón, purifica la sangre, regula la diabetes y la bronquitis), el exceso en el consumo de éste, provoca el aborto y puede representar un riesgo para la salud si se le cultiva en lugares con poco movimiento de agua, donde se ve favorecido el desarrollo de insectos acuáticos y bacterias que pueden estimular fiebre tifoidea y el cólera (Avalos y Palerm, 2001).

La *Revista peruana de medicina experimental y salud pública* informó que la ingesta de vegetales crudos en ensaladas, tales como el berro, es la principal causa de la fasciolosis en humanos y animales herbívoros; esta enfermedad es causada por el estado adulto del platelminto trematodo *Fasciola hepatica*, cuyo estado larval se presenta en caracoles infectados hospedados dentro del cultivo (Burstein *et al.*, 2010).

Después de germinada la semilla, la radícula desaparece rápidamente, y se desarrolla un rizoma rastrero dotado de numerosas raicillas secundarias. La emisión de raíces adventicias es muy abundante en los nudos, cuyo color es blanquecino y de diámetro

delgado. El tallo es glabro y hueco, puede llegar a crecer entre los 10 y 60 cm de longitud y presentar muchas ramificaciones que se encuentran flotando en fuentes de agua con poca profundidad. Sus hojas son pinadas imparipinadas de filotaxia alterna con un tamaño que varía entre los 4 y 12 cm de longitud, presentan de 3 a 9 foliolos, aunque algunas veces pueden ser 10, lanceoladas de forma ovada tendiendo a ser redondeadas, el foliolo terminal siempre es más grande que el resto, su sabor es fuertemente picante. La inflorescencia se desarrolla como un racimo terminal ubicado en el extremo apical de las ramas. Las flores son perfectas actinomorfas, con 4 sépalos libres, 4 pétalos iguales estrechos en la base en alternancia con los sépalos, ovario sésil, presenta 6 estambres tetradínamos, libres insertos debajo del ovario, anteras binoculares de dehiscencia longitudinal, gineceo súpero, bicarpelar, unilocular, varios óvulos de placentación parietal. Su coloración es blanca y poseen un diámetro de 4 a 5 mm, sus estambres son más cortos que la corola (Standley y Steyermark, 1946; Avalos y Palerm, 2001).

Para preparar el suelo, se realiza una nivelación del terreno y la colocación de rocas alrededor de las parcelas para lograr la profundidad de agua deseada. El berro puede propagarse con semilla mediante reproducción vegetativa, el follaje empieza a producirse a los 15 días. En la comunidad de Quixayá, la propagación se realiza de forma vegetativa. Se cultiva fácilmente, la siembra consiste en colocar pequeños tallos, sujetos con rocas, sobre la fuente de agua en superficies planas. El ciclo productivo promedio del berro en la comunidad de Quixayá dura entre 1.5 y 2 meses, cuando las plantas han alcanzado una altura que oscila entre los 25 y 30 cm.

El manejo agronómico del cultivo de berro en la comunidad de Quixayá involucra el uso de agroquímicos, como urea, para la fertilización que se realiza de forma foliar, e insecticidas a base de endosulfán para el control de algunas larvas de mariposa. Por una parte, la urea es diluida en agua y se aplica de forma foliar a razón de 1 medida Bayer (18 a 20 g) por bomba de mochila, haciéndolo unas tres o cuatro veces durante todo el ciclo del cultivo. Por otra parte, las aplicaciones de endosulfán se realizan a intervalos de 8 días, tratando de no aplicarlo durante las tres semanas anteriores a la cosecha, es decir, un período de carencia de tres semanas.

El manejo del cultivo de berro en la comunidad de Santa Cruz Quixayá es variable entre los agricultores, los productos (fertilizantes, fungicidas e insecticidas), las cantidades utilizadas y la época de aplicación varían según las consideraciones propias de cada comunitario que produce este cultivo.

En términos generales, el manejo del cultivo de berro en Quixayá involucra el uso de urea como fertilizante aplicado vía foliar; la cantidad de ésta puede variar y oscila entre los 3 y 13 kg/ha. El uso de cobre azul como agente fungicida se utiliza a razón de 2 medidas Bayer/bomba y endosulfán como agente insecticida utilizado a razón de 1.5 medidas Bayer/bomba. Las aplicaciones de productos fungicidas e insecticidas sobre el cultivo de berro son constantes y se realizan dos veces por semana, mientras que la fertilización se realiza cuando los agricultores observan indicios de color amarillento en el follaje del cultivo.

2.1.1.1 Necesidades nutricionales y rendimiento del cultivo de berro

El berro es una planta sensible a la excesiva acidez de los suelos, que deben ser abonados intensamente con estiércol antes de la incorporación del cultivo (25-30 t/ha). Conjuntamente con el estiércol también es conveniente la aportación de 100 kg de óxido de fósforo (P_2O_5) y 150 kg de óxido de potasio (K_2O) por hectárea (Mateo y Novillo, 2005).

El rendimiento promedio en el cultivo de berro es de 27 t/ha (MINAG, 1964). Trabajos realizados por Niñirola (2010) indican rendimientos de berro, en cosechas realizadas a los 35 días después de la siembra, entre 10.9 y 17.8 t/ha, realizando ensayos en bandejas flotantes (cultivos hidropónicos).

2.1.2 Humus de lombriz (lombricompost)

La palabra *humus* proviene del latín y significa tierra, suelo, y hace referencia al conjunto de productos orgánicos estables que se obtienen al final del proceso de transformación de los compuestos vegetales y animales que llegan al suelo (proceso de humificación). El humus está constituido por compuestos orgánicos de grandes moléculas que incluyen una estructura cíclica y cadenas alifáticas que se obtienen como resultado de la reelaboración de sustancias orgánicas (estiércol, hojas, residuos de la industria agropecuaria, etc.) por parte de las lombrices y expulsadas al ambiente exterior a través del tracto digestivo de éstas (Reines, 1998).

El humus de lombriz es un excelente mejorador biológico y contiene todos los elementos naturales que las plantas necesitan (ver cuadro 2), y es por ello que comúnmente se le denomina biofertilizante. Su valor biológico se debe a que retiene una rica flora microbiana que le confiere al humus propiedades especiales y diferentes en comparación de otros abonos (Reines, 1998).

A continuación se mencionan algunas propiedades del humus de lombriz:

- Propiedades antibióticas
- Presencia de enzimas de crecimiento
- Presencia de otras enzimas que benefician el suelo y los cultivos

Según Reines (1998) la aplicación de lombricompost, a razón de 4 t/ha, produce un incremento del 31%, 57% y 18% en el rendimiento de los cultivos de tabaco, tomate y cebolla respectivamente (ver cuadro 3).

Cuadro 2. Porcentaje de elementos por 100 g de peso seco de humus de lombriz

N	0.8-2.0%	M.O.	30-45%
P ₂ O ₅	0.5-0.7%	Rel. C/N	10-12
K ₂ O	0.3-0.6%	Humedad	45-55%
CaO	3.6-4.4%	Ac. fúlvicos	6%
MgO	0.4-0.5%	Ac. húmicos	20%
Cu	50-60 ppm	pH	6.8-7.5%
Zn	150-170 ppm	Colonias bacterianas	2 x 10 ¹² col./g
Mn	500-550 ppm		

Fuente: Reines, 1998

El cuadro 3 muestra la respuesta de diferentes cultivos, a la aplicación de humus de lombriz.

Cuadro 3. Aplicación de humus de lombriz a diferentes cultivos en Cuba

Cultivo	Sustitución de fertilizante mineral (%)	Aplicación del humus	Incremento rendimiento (%)
Tabaco	25	4 t/ha	31
Tomate	25-30	4 t/ha	57
Ajo	80-100	5 t/ha	18
Cebolla	80-100	4 t/ha	18
Café	100	250 g/kg suelo	5 pares de hojas más
Maíz	80	4 t/ha	---

Fuente: Reines, 1998

El cuadro 4 presenta la variación en cuanto a contenido nutrimental (%) del lombricompost según el material orgánico con el que las lombrices fueron alimentadas.

Cuadro 4. Composición química del humus de lombriz a partir de diferentes residuales

Residual	N	P	K	Ca	Mg	M.O.
Vacuno	1.70	0.62	1.22	10.00	1.53	44.50
Porcino	1.89	0.50	0.34	10.80	1.46	44.00
Ovino	1.51	0.64	0.78	4.40	1.37	37.50
Cachaza	2.67	2.11	0.40	4.10	1.89	68.50
Pulpa de café	2.01	0.27	2.14	1.90	0.37	53.80
Residuos orgánicos	0.90	0.44	3.60	3.60	3.10	26.50

Fuente: Ramón *et al.*, 1989 (citado por Reines, 1998)

2.1.3 Preparación y aplicación foliar de abonos orgánicos

Un abono orgánico fermentado puede ser aplicado de forma líquida (vía foliar) para obtener buenos resultados en el corto plazo. La preparación se puede realizar mezclando 20 lb de abono orgánico, dentro de un saco, en 100 l de agua, aplicándolo en dosis de 0.5 a 1 l por bomba de mochila (Mosquera *et al.*, 2010).

El Comité Campesino del Altiplano (CCDA) cuenta con una biofábrica donde se elaboran abonos y plaguicidas orgánicos, esto para fomentar la agricultura orgánica en las comunidades circundantes que forman parte de esta organización. La preparación del purín de lombricompost se realiza mezclando 25 lb de humus de lombriz en 100 l de agua, aplicándolo en dosis de 1 l por bomba de mochila.

Estudios realizados por Casco e Iglesias (2005), concluyen que la aplicación de extracto de lombricompost, utilizando un lixiviado preparado con 2 kg de éste en 10 l de agua, diluyendo una parte de este lixiviado en cuatro partes de agua (40 l de lixiviado en 160 l de agua para asperjar una hectárea) produjeron los mejores resultados en cuanto a la altura en plantas de maíz.

Realizando las conversiones pertinentes, se tiene que la cantidad de lombricompost diluido necesaria para aplicar una hectárea de cultivo equivale a 8 kg/aplicación, siendo que son tres el número de aplicaciones, la cantidad total de lombricompost requerida es de 24 kg/ha.

2.1.4 Nitrógeno

El nitrógeno (N) es el macroelemento o elemento primario que las plantas utilizan en una mayor cantidad. Este elemento participa en la síntesis de aminoácidos y otros compuestos de suma importancia como lo son la clorofila, los ácidos nucleicos y las enzimas (Leal *et al.*, 2007). El nitrógeno es frecuentemente considerado el nutrimento más requerido para la producción agrícola (Havlin *et al.*, 1999).

El nitrógeno desempeña un papel importante en la estructura de la planta, sin él no habría prótidos, aminoácidos, ni por consiguiente gran cantidad de cosechas. Si este elemento hace falta, las plantas crecen débiles, con hojas frágiles y amarillentas; mientras que si lo reciben en cantidad suficiente exhiben hojas verde-oscuro, vigorosas y un crecimiento satisfactorio. No obstante, un exceso de nitrógeno puede provocar un crecimiento extremadamente frondoso, exuberante, que por su apariencia engaña al observador, pero en realidad se trata de plantas de inferior calidad y menos resistentes. En plantas sobrealimentadas de nitrógeno suele disminuir la formación de grano, almacenan más agua y pueden también causar trastornos en la salud de los consumidores (Pfeiffer, 1995).

La descomposición de sustancias orgánicas en el suelo libera compuestos nitrogenados, que a su vez microorganismos especializados transforman en compuestos más estables llegándose así al nitrógeno orgánico. Mientras tanto, los compuestos nitrogenados del tipo amoníaco y nitratos están sujetos a una rápida descomposición y al lavado, es decir, son muy inestables, se disipan rápidamente y es por ello que deben utilizarse en cantidades considerablemente mayores que la que las plantas verdaderamente utilizan (sólo un 25%), los compuestos nitrogenados orgánicos son estables y alimentan a la planta lentamente y

conforme a sus necesidades. En consecuencia jamás pueden perjudicarlas (Pfeiffer, 1995).

2.1.4.1 Pérdidas de nitrógeno por volatilización

La principal causa de la baja eficiencia de algunos fertilizantes amoniacales suele ser la pérdida de nitrógeno (N) por la volatilización del gas amoníaco (NH_3). Las pérdidas por volatilización son el resultado de numerosos procesos químicos, físicos y biológicos, cuya severidad es afectada por factores de ambiente, suelo y manejo, tal es el caso de la temperatura, pH del suelo, capacidad de intercambio catiónico (CIC), materia orgánica, cobertura y calidad de residuos en superficie, viento, tensión de vapor superficial, la dosis y localización del fertilizante (Ferraris *et al.*, 2009).

La urea es la fuente química más utilizada para suplir los requerimientos de N en los cultivos, debido a su alta concentración de N (46%) y por poseer un costo relativamente bajo. No obstante, cuando la urea no se incorpora en el suelo, pueden darse pérdidas por volatilización, en forma de gas amoníaco (NH_3) de hasta un 50% del N total aplicado (Fenilli *et al.*, 2007).

2.1.5 Ley de los rendimientos decrecientes

La ley de los rendimientos decrecientes señala que al utilizar incrementos constantes (iguales) de un factor variable, manteniendo constantes todos los demás factores, existe un momento a partir del cual los incrementos en la producción son cada vez menores (Cuerdo y Freire, 2008).

Otro concepto es que a partir de una proporción óptima en la combinación de factores, todo aumento de un factor sobre cantidades fijas de los otros produce un rendimiento decreciente. Visto desde otro punto, antes de esta proporción óptima, el aumento de un

factor sobre cantidades fijas de los otros genera un rendimiento constante o creciente. La ley de los rendimientos decrecientes se formuló por los clásicos con la intención de ser aplicada a la agricultura (Barbé, 1996), sin embargo, hoy en día se ha extendido a todos los factores productivos (Araneda, 1993).

Los clásicos del siglo XIX estimaron que la ley de los rendimientos decrecientes era específica para la agricultura. El principio de esta afirmación se basó en el razonamiento de una superficie agrícola determinada e invariable; de esta cuenta se plantearon que si se duplica o triplica la cantidad de obreros que trabaja dicha superficie, la producción no aumenta al doble o triple, sino en una proporción inferior, es decir, que la producción media por obrero disminuye, y por lo tanto el rendimiento baja (Baltra, 1973).

2.1.6 Tasa marginal de retorno (TMR)

El análisis marginal es un procedimiento utilizado para calcular las tasas marginales de retorno entre tecnologías, procediendo paso a paso, de una tecnología de bajo costo hacia otra tecnología de costo mayor, cumpliendo con la condición de ser una tecnología rentable (donde los retornos adicionales son más grandes que los costos adicionales), comparando sus tasas de retorno ante una tasa mínima de retorno aceptable, es decir, que la TMR esté por encima de la TAMIR (CIMMYT, 1988). La metodología del análisis marginal resulta útil para hacer recomendaciones a los productores y poder seleccionar tecnologías alternativas.

2.1.6.1 Tasa mínima de retorno (TAMIR)

Antes de poder recomendar una tecnología al productor es recomendable considerar una tasa mínima de retorno aceptable. Generalmente, mientras más innovador sea el productor, más baja será la tasa de retorno que acepte. Debido a que la mayoría de productores tienden a sentirse cómodos con la tecnología que están usando,

generalmente toma un retorno considerable para que cambien voluntariamente de tecnología (Evans, 2014).

Según el CIMMYT (1988), la evidencia empírica señala que una tasa adecuada está entre 50% y 100%. Si se trata de una nueva tecnología y ésta requiere del aprendizaje de nuevas habilidades, entonces se utiliza el límite superior. En el caso que el cambio de tecnología represente solamente un ajuste a la manera tradicional de hacer las cosas, tal como una nueva dosis de fertilizante, entonces se acepta el límite inferior. Otra alternativa para estimar la tasa mínima de retorno es duplicar la tasa de interés usada por las instituciones de préstamo.

2.1.6.2 Rendimiento ajustado

El rendimiento ajustado representa una fracción, por ejemplo de 0.90, del rendimiento promedio que el investigador obtiene bajo las condiciones controladas del experimento. Una de las razones para realizar el ajuste en el rendimiento es que el productor, al cambiar de tecnología, no utiliza la misma precisión y puntualidad que el investigador, es por ello que se realiza una estimación conservadora para simular el rendimiento que el productor obtendría al cambiar de tecnología. Esta fracción proviene de la resta de 1 menos una tasa de ajuste que oscila entre el 10% y 15% (Evans, 2014).

2.2 Marco referencial

2.2.1 Localización de la investigación

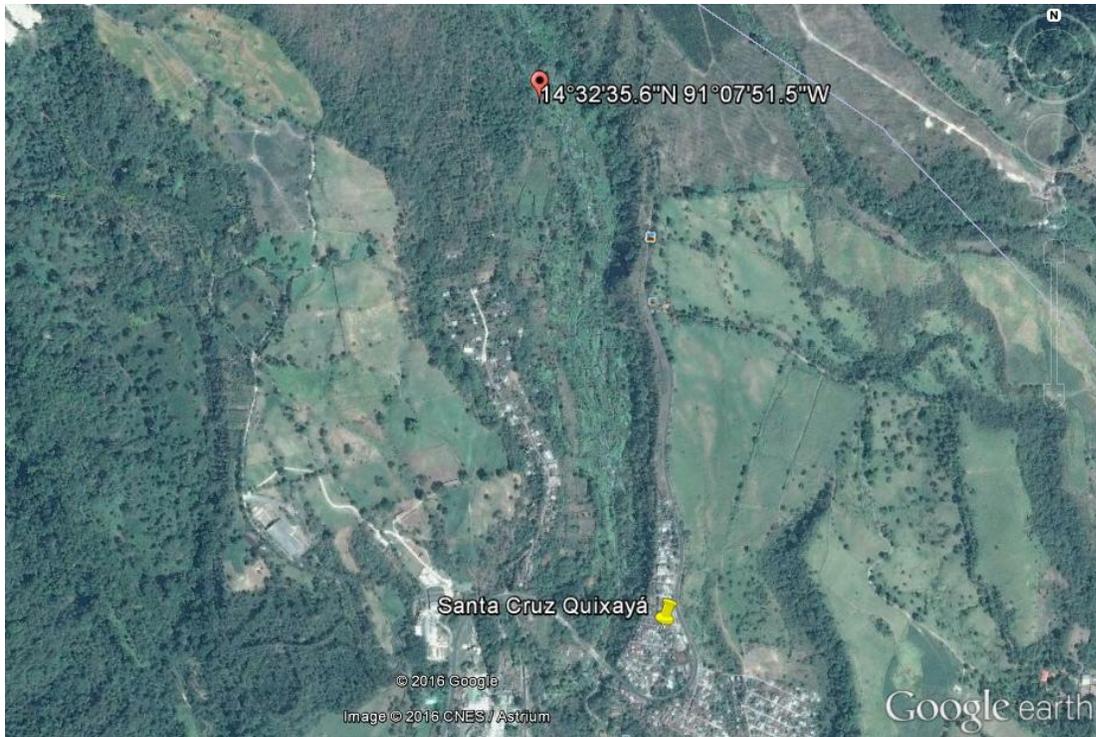
El experimento se estableció a orillas del río Quixayá. La comunidad de Santa Cruz Quixayá pertenece al municipio de San Lucas Tolimán, departamento de Sololá, y se localiza en el km 162.5 a orillas de la carretera que conduce desde el centro de San Lucas Tolimán hacia el municipio de Patulul, Suchitepéquez; al norte colinda con la comunidad Nueva Providencia, al sur con la comunidad San Felipe, al este con la comunidad Nueva Vida y al oeste con la comunidad San Juan El Mirador; geográficamente se posiciona en 14°31'57.38" latitud norte, 91°7'42.47" longitud oeste y a una altitud de 783 msnm.

2.2.1.1 Macrolocalización

El experimento se estableció en la comunidad de Santa Cruz Quixayá, perteneciente al municipio de San Lucas Tolimán, departamento de Sololá (ver figura 1).

2.2.1.2 Microlocalización

Las parcelas experimentales se ubicaron a orillas del río Quixayá, en las coordenadas geográficas: 14° 32' 35.6" latitud norte y 91° 7' 51.5" longitud oeste (ver figura 7).



Fuente: Google earth, 2016

Figura 7. Fotografía de la cobertura del suelo en donde se ejecutó la investigación

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

Evaluar cuatro programas de fertilización en el cultivo de berro, en la comunidad de Santa Cruz Quixayá, municipio de San Lucas Tolimán, departamento de Sololá.

3.2 Objetivos específicos

1. Determinar los rendimientos del cultivo de berro, en t/ha, obtenidos mediante cuatro programas de fertilización, en la comunidad de Santa Cruz Quixayá, San Lucas Tolimán, Sololá.
2. Determinar cuál de los programas de fertilización evaluados es el que mejores resultados produce en el rendimiento del cultivo de berro, en la comunidad de Santa Cruz Quixayá, San Lucas Tolimán, Sololá.
3. Determinar, mediante un análisis económico de la tasa marginal de retorno, cuál de los programas de fertilización evaluados resulta ser el más factible para la producción de berro, en la comunidad de Santa Cruz Quixayá, San Lucas Tolimán, Sololá.

4 METODOLOGÍA

4.1 Tratamientos y repeticiones

Para la investigación se plantearon cuatro programas de fertilización (tratamientos) y cuatro repeticiones para cada uno de ellos. Los tratamientos se describen en el cuadro 5.

Cuadro 5. Descripción de los tratamientos evaluados

Tratamiento	Fertilizante	Dosis	Cantidad de fertilizante	
			Por aplicación	Total (3 aplicaciones)
T1	Urea	3 kg/ha	0.10 g/m ²	0.30 g/m ²
T2	Lombricompost	3 kg/ha	0.10 g/m ²	0.30 g/m ²
T3	Lombricompost	12 kg/ha	0.40 g/m ²	1.20 g/m ²
T4	Lombricompost	24 kg/ha	0.80 g/m ²	2.40 g/m ²

Fuente: elaboración propia, 2015

4.2 Variables de respuesta

La variable de respuesta tomada en cuenta (para el análisis estadístico de los datos) durante la investigación fue:

- Rendimiento del cultivo en t/ha.

Otras variables de respuesta tomadas en cuenta en la investigación fueron:

- Diámetro del tallo (mm) al momento de la cosecha.
- Densidad del cultivo (tallos/m²) al momento de la cosecha.

4.3 Diseño experimental

Las condiciones del lugar donde se estableció el experimento no fueron homogéneas debido a la pendiente del río y también porque se realizó a campo abierto. La fuente de agua y la semilla utilizadas fueron las mismas en todo el ensayo. Las fuentes de variación resultaron ser la pendiente y la que se generó con la utilización de diferentes fuentes y concentraciones de fertilizante (tratamientos) para el manejo agronómico de las parcelas. Por lo tanto, el ensayo se estableció bajo un diseño experimental con una distribución en bloques completamente al azar.

$$\text{Modelo: } Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij}$$

Donde Y_{ij} es la variable respuesta (t/ha de berro), μ es la media general, T_i es el efecto del i -ésimo tratamiento, B_j es el efecto del j -ésimo bloque y E_{ij} es el error experimental asociado a la ij -ésima unidad experimental.

4.4 Hipótesis estadísticas

H_0 : Todos los programas de fertilización (tratamientos) producen el mismo efecto sobre el rendimiento del cultivo de berro.

H_a : Al menos uno de los programas de fertilización (tratamientos) produce un efecto estadísticamente distinto sobre el rendimiento del cultivo de berro.

4.5 Recursos

Para evaluar los programas de fertilización en el cultivo de berro, fue necesario utilizar los siguientes materiales:

- Parcelas de berro
- Semilla de berro (material vegetativo)
- Urea (46-0-0)
- Humus de lombriz (lombricompost) coqueta roja (*Eisenia foetida*)
- Bomba de mochila
- Rafia
- Balanza
- Estacas
- Rótulos
- Cámara fotográfica
- Marco metálico de 0.25 m²

4.6 Manejo experimental

El experimento se montó bajo las condiciones naturales del río Quixayá, y teniendo esto en cuenta, se procedió de la siguiente forma:

4.6.1 Preparación del terreno

La preparación del terreno consistió en una limpieza para retirar algunas malezas presentes y residuos de cosechas de berro anteriores. Otro punto importante en la preparación del terreno fue la derivación del caudal y distribución uniforme de este sobre el terreno a utilizar, este propósito se logró con la incorporación de rocas dentro de la parcela.

La profundidad del agua fue mínima (entre 1 y 2 cm aproximadamente).

4.6.2 Siembra

La siembra se realizó dispersando material vegetativo (segmentos de tallo y raíces) sobre el terreno, dispuestas en un sistema de siembra al cuadro, distanciados a 20 cm entre sí, colocando una roca sobre cada postura a manera de sujetarla y evitar que el agua las arrastrara. La semilla utilizada fue la misma en todas las unidades experimentales (convencionales y orgánicas).

4.6.3 Delimitación de las unidades experimentales

El experimento se estableció con dieciséis unidades experimentales (cuatro tratamientos y cuatro repeticiones), cada una abarcando un área de 1 m². Las repeticiones (bloques) del ensayo se orientaron a favor de la pendiente del río. Se dejó una cabecera de 0.40 m entre tratamientos y además se colocó una barrera de rocas entre los mismos, ambos aspectos para evitar interferencia entre los tratamientos.

4.6.4 Aplicación de las fuentes de fertilizante

Para los cuatro programas de fertilización (el convencional y los tres orgánicos), se fraccionaron las cantidades totales de urea y lombricompost en tres aplicaciones, vía foliar, aplicando en cada una, 60 ml de solución, de urea diluida y lombricompost diluido/m², según el caso. Las aplicaciones se realizaron durante la primera, tercera y quinta semana después de la siembra.

Nota: La aplicación de 60 ml de los fertilizantes en solución/m² conlleva a que la cantidad de agua utilizada para asperjar una hectárea sea de 600 l.

Las aplicaciones foliares se realizaron en horas frescas (entre 8:00 am y 10:00 am), para evitar la volatilización de los nutrientes, sobre todo si se trata de urea, ya que la dinámica

del nitrógeno (N) la hace vulnerable a la volatilización de este elemento en forma de gas amoníaco (NH_3).

El suministro de las distintas fuentes de fertilizantes (química y orgánica) se aplicó en distintas fases de crecimiento (tres aplicaciones) para poder dosificar la cantidad total a utilizar y lograr con ello un mejor aprovechamiento de los nutrientes en cada caso. Las cantidades de fertilizante aplicados por unidad experimental, para cada uno de los tratamientos, se describen en el cuadro 5.

4.7 Toma de datos

- El rendimiento de berro, en peso fresco (t/ha) por unidad experimental, se tomó al final del ciclo de cultivo (seis semanas) y se determinó cortando el berro contenido dentro de un marco metálico de 0.25 m^2 . Durante la toma de datos, los valores se obtuvieron en kg/m^2 , posteriormente esas cantidades se convirtieron a t/ha.
- El diámetro (en milímetros) de los tallos se midió al momento de la cosecha, seleccionando una muestra, al azar, de diez tallos en cada una de las unidades experimentales. En cada tallo se tomó el diámetro de la sección intermedia del mismo.
- Para determinar la densidad del cultivo, se realizó un conteo del número de tallos en un área de 0.25 m^2 , posteriormente se calculó la densidad en número de tallos/ m^2 .
- Para fines de ser utilizado en el análisis económico de TMR, se llevó un registro de los costos variables de producción involucrados para cada programa de fertilización durante todo el ciclo del cultivo.

4.8 Análisis económico (TMR y residuos)

Para el análisis económico de los resultados se utilizó la metodología de la TMR y el análisis de residuos, el mismo permitió identificar cuál de los tratamientos resultó ser más factible desde el punto de vista económico. Este procedimiento sirvió para encontrar una relación entre los beneficios y los costos esperados de las diferentes alternativas (tratamientos) evaluadas. El análisis de la TMR y residuos permitió seleccionar el mejor tratamiento.

La metodología para el análisis de TMR y residuos fue la siguiente:

- Obtención de los ingresos totales (IT):

Precio por t de berro * rendimiento ajustado (rendimiento experimental * 0.90) en t/ha.

- Obtención de los costos variables (CV):

Costo de los fertilizantes (urea y lombricompost/ha) + costos por cosecha (jornales).

- Obtención de los beneficios netos (BN):

$$BN=IT-CV$$

- Análisis de dominancia:

Si al aumentar los costos variables ocurre una disminución en los beneficios netos es DOMINADO, y si al aumentar los costos variables ocurre un incremento en los beneficios netos es NO DOMINADO.

- Cálculo de la TMR:

Se realiza con los tratamientos NO DOMINADOS. $TMR=(\Delta BN/\Delta CV)*100$.

- Cálculo de residuos:

$$\text{Residuo} = \text{BN} - \text{CV}$$

- Recomendación del análisis de TMR y residuos:

Se recomienda el tratamiento con $\text{TMR} \geq \text{TAMIR}$ (tasa mínima de retorno 100%) y con el mayor valor residual.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Rendimientos obtenidos en el cultivo de berro

En el cuadro 6 y figura 8, se muestran los resultados (rendimientos) obtenidos en el ensayo, en toneladas métricas de berro por hectárea (t/ha).

Cuadro 6. Rendimientos del cultivo de berro (t/ha)

Repeticiones (bloques)	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
R1	22.72	29.56	25.00	23.88
R2	25.00	31.80	27.28	27.28
R3	19.32	27.28	22.72	26.12
R4	27.28	27.28	25.00	20.44
Promedio	23.58	28.98	25.00	24.43

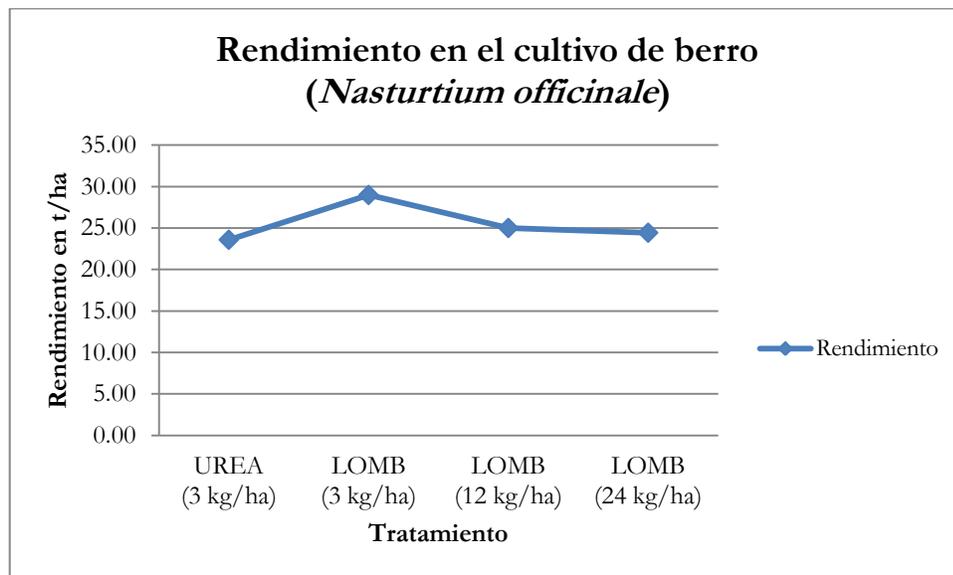


Figura 8. Gráfica del rendimiento promedio en el cultivo de berro (t/ha)

Los rendimientos obtenidos son evidencia de la complejidad del lombricompost como abono foliar. El lombricompost es un abono orgánico bastante completo, ya que aporta no sólo los macroelementos (N, P, K) esenciales para las plantas, sino que, como lo muestra el análisis del lombricompost utilizado y según Reines (1998), también aporta microelementos como el Cu, Zn, Fe, Mn y Na. Por otro lado, pero siempre haciendo referencia a los resultados obtenidos con los programas de fertilización utilizados, la urea como tal aporta solamente N (en un 46%), este es un elemento que por sus características queda expuesto a pérdidas por volatilización en forma de gas amoníaco (NH_3) (Fenilli *et al.*, 2007).

Se debe tener en cuenta que el aire del ambiente está constituido, en su mayoría, por nitrógeno (78%) y que el cultivo de berro posee dos sistemas de absorción; uno constituido por las raíces que penetran el suelo y el otro por las raíces adventicias que se desarrollan en el tallo, mismas que absorben los nutrientes del agua y el ambiente.

Según Pfeiffer (1995), las plantas sólo pueden utilizar un 25% de las cantidades aplicadas, cuando las aplicaciones se realizan con compuesto nitrogenados del tipo amoníaco y nitratos. Sin embargo, el lombricompost es un abono que conserva el nitrógeno orgánico y, aunque es un proceso más lento, las plantas pueden aprovecharlo más eficientemente. Por otro lado, el lombricompost es un abono orgánico estable que además de aportar los elementos esenciales que las plantas necesitan, está impregnado con enzimas que promueven el crecimiento de las plantas (Reines, 1998).

En el cuadro 7 se presenta el análisis del lombricompost utilizado para la fertilización.

Cuadro 7. Análisis de contenido nutricional del lombricompost utilizado

pH	$\mu\text{S/cm}$ C.E.	%				ppm					%		C:N
		P	K	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn	Na	C.O.	NT	
8.5	6265	0.27	1.31	2.68	0.44	25	125	3425	200	190	15.89	2.76	5.6:1

$\text{P}_2\text{O}_5=0.62\%$; $\text{K}_2\text{O}=1.57\%$

No se descarta que, aunque las aplicaciones de lombricompost diluido presentaron mejores resultados (rendimientos) que los obtenidos con la aplicación de urea, exista el fenómeno de los rendimientos decrecientes, ya que los rendimientos promedio obtenidos disminuyeron a medida que la concentración de lombricompost aplicada aumentó. La ley de los rendimientos decrecientes indica que al realizar incrementos constantes de un factor, existe un momento en que los incrementos en la producción son cada vez menores (Cuerdo y Freire, 2008) y teniendo estos resultados a la vista, se puede observar claramente este fenómeno.

Excesos de lombricompost no es sinónimo de toxicidad, ya que las cantidades excesivas de abono orgánico no perjudican la producción, esto se justifica con el rendimiento obtenido en la aplicación de urea, cuyo resultado fue menor a los resultados obtenidos en las tres aplicaciones realizadas con lombricompost. El efecto de la disminución del rendimiento a medida que aumentó la dosis de lombricompost tiene explicaciones más profundas que se fundamentan en las propiedades exclusivas, en este caso, de los compuestos orgánicos. Si bien, los compuestos orgánicos contienen enzimas que promueven el crecimiento, éstos podrían significar, si se disponen en alta concentración, un desbalance en el desarrollo de las plantas y dar como consecuencia una disminución en los rendimientos.

No hay que descartar también que el hecho de poner a disposición una alta cantidad de nutrientes (con las altas concentraciones de lombricompost) tenga como consecuencia el antagonismo entre los elementos proporcionados por el lombricompost, ya que, como lo muestra el cuadro 7, los micronutrientes se encuentran en altas cantidades y esto podría ser la causa de que los tratamientos T3 y T4 (donde se utilizaron concentraciones de lombricompost relativamente mayores) hayan presentando menores rendimientos.

Pfeiffer (1995) indica que los preparados biológicos-dinámicos (biodinámicos) ejercen una acción estimulante sobre el crecimiento y la capacidad de producción, por lo que a esto se debe que basten las pequeñas cantidades que suelen usarse, por ejemplo, 40 g de preparado 500 (a base de estiércol bovino) en 10 l de agua para aplicarse a la tercera

parte o la mitad de una hectárea. En el ensayo realizado se observó que el cultivo de berro respondió mejor a las menores concentraciones de nutrientes ya que, como se observa en la figura 8, el rendimiento de berro fue mayor con la utilización de concentraciones más diluidas de lombricompost.

El lombricompost utilizado fue aplicado como un abono orgánico fermentado, ya que las diluciones preparadas, para el ensayo en el cultivo de berro, fueron aplicadas después de un período de siete semanas de fermentación. Las investigaciones sobre las vitaminas, las hormonas y los fermentos han permitido saber, desde hace mucho tiempo, que determinados principios activos pueden desencadenar acciones intensas en los procesos vitales; aunque llevar esto a la práctica signifique un tropiezo por el escepticismo (Pfeiffer, 1995).

5.2 Análisis espacial de los rendimientos de berro obtenidos

Esta vista tridimensional de los resultados obtenidos permite tener una mejor apreciación de los rendimientos obtenidos en cada una de las unidades experimentales, ya que facilita observar, gráficamente, los altibajos del rendimiento entre tratamientos y sus respectivos bloques.

En la figura 9 se tiene las representaciones, en el eje vertical, de los rendimientos de berro obtenidos en t/ha, según el tratamiento y el número de repetición, esta figura muestra las cifras que aparecen en el cuadro 6.

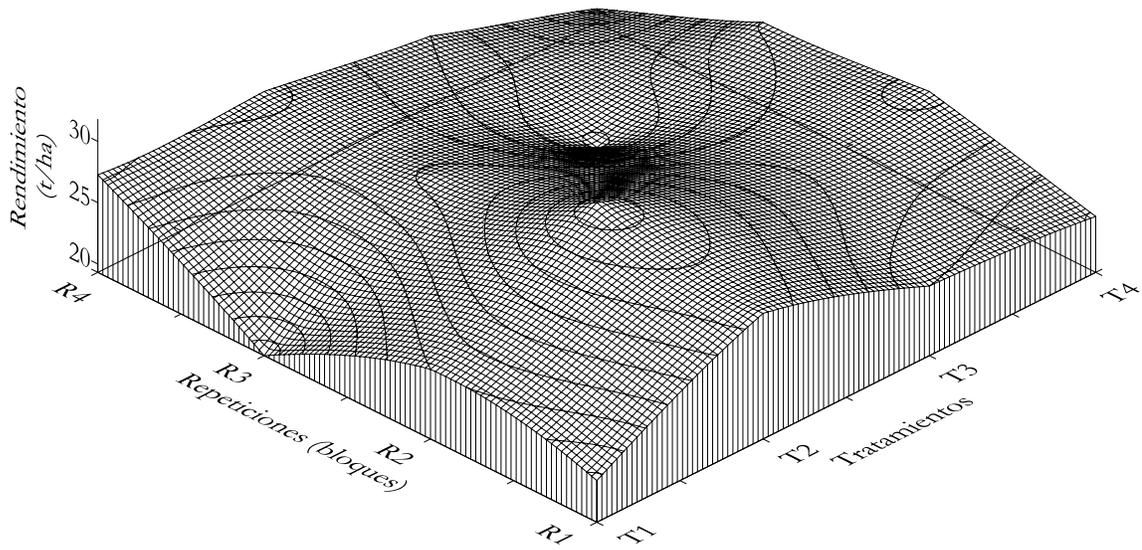


Figura 9. Representación tridimensional de los rendimientos de berro obtenidos

Como un complemento a la figura 9, se construyó la figura 10, cuyo contenido muestra la vista de planta de la representación tridimensional de los rendimientos. Esta representación muestra los resultados obtenidos cual si fuese un mapa de curvas a nivel, las curvas más sobresalientes representan rendimientos mayores, mientras que las que están más profundas, representan menores rendimientos. La escala ubicada a la derecha de la figura 10, muestra tonalidades que representan el rendimiento, tonalidades que van desde el color negro al color blanco; mientras más oscuras sean las zonas en el plano, indican rendimientos menores, mientras que las zonas más claras representan un mayor rendimiento.

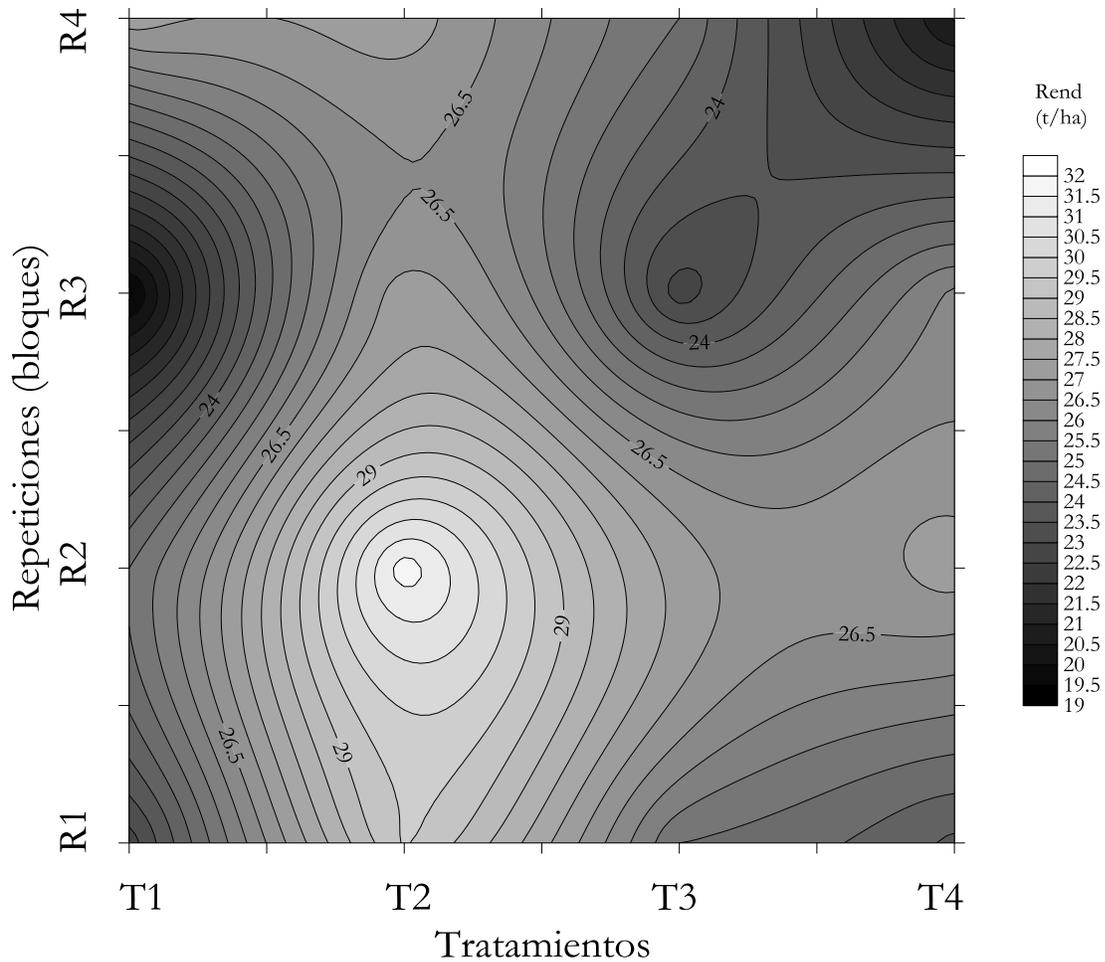


Figura 10. Vista de planta de la representación tridimensional de los rendimientos obtenidos

Una mayor cantidad de fertilizante aplicado no siempre es sinónimo de rendimientos más altos, como sucede con este caso, debe entenderse que, tanto en el suelo como en la parte aérea de las plantas (en la fertilización foliar), y que, como dice Pfeiffer (1995), no sólo la pura relación cuantitativa es lo que importa, sino el conjunto de condiciones vitales.

Pfeiffer (1995) encontró que el rendimiento del trébol disminuía al aplicar dosis crecientes de abonos nitrogenados, de tal forma que el no aplicar abono, es decir, “sin” abono nitrogenado, se cosechaba 3.5 veces más trébol que el que se obtenía con un aporte de 75 kg de nitrógeno puro.

Con estos ejemplos, está claro que todo en la naturaleza se encuentra en un estado de equilibrio y que realizar pequeños cambios o cambios que podrían considerarse drásticos, como el incremento en las dosis de fertilizantes, pueden causar desequilibrios, y por lo tanto, un descenso en el rendimiento, tal y como sucedió con el cultivo de berro (en este caso) o como lo que sucedió con el ejemplo del trébol que plantea Pfeiffer (1995).

5.3 Análisis estadístico de los rendimientos obtenidos

5.3.1 Análisis de varianza (ANDEVA)

En el cuadro 8 se muestra el resumen del análisis de varianza realizado en los rendimientos obtenidos en la evaluación de los programas de fertilización sobre el berro.

Cuadro 8. Cuadro resumen del ANDEVA

FV	GL	SC	CM	FC	FT
Bloques	3	33.84			
Tratamientos	3	68.77	22.92	3.94*	3.86
Error	9	52.42	5.82		
Total	15	155.03			

CV=9.47%

Una vez realizado el análisis de varianza, los resultados indican que existe significancia entre los programas de fertilización evaluados, ya que, a un 5% de significancia, la F Calculada (3.94) resultó ser mayor que la F Tabulada (3.86). Esto conlleva a tomar la decisión de rechazar la H_0 y por lo tanto aceptar la H_a , concluyendo con que al menos uno de los programas de fertilización produce un efecto estadísticamente distinto sobre el rendimiento del cultivo de berro.

El coeficiente de variación del ANDEVA (9.47%) es aceptable, ya que bajo condiciones de campo puede considerarse aceptable hasta un 20% de variación entre las repeticiones (bloques). El coeficiente de variación indica que hubo un manejo adecuado en el ensayo y por ello, la variación entre repeticiones es mínima.

Hasta ahora, el análisis de varianza indica que al menos uno de los tratamientos presenta un efecto, sobre el rendimiento del cultivo de berro, significativamente diferente a los demás, es por ello que se hace necesario realizar un análisis múltiple de medias (POST-ANDEVA) para ratificar cuál de los tratamientos es el que presenta el mejor rendimiento, según los grupos de Tukey.

5.3.2 Análisis POST-ANDEVA (prueba de Tukey)

En el cuadro 9 se muestran las diferencias absolutas entre los rendimientos de berro promedio obtenidos en cada uno de los tratamientos.

Cuadro 9. Diferencias absolutas entre los rendimientos promedio de berro

Tratamiento		T2	T3	T4	T1
	t/ha	28.98	25.00	24.43	23.58
T1	23.58	5.40*	1.42ns	0.85ns	0.00
T4	24.43	4.55ns	0.57ns	0.00	
T3	25.00	3.98ns	0.00		
T2	28.98	0.00			

WP=5.32 t/ha

Con las diferencias absolutas obtenidas en el cuadro 9 y en base al valor comparador (WP), se construye el cuadro 10, donde los tratamientos se clasifican en grupos, o como bien se conocen dentro de esta metodología, los grupos de Tukey.

Cuadro 10. Asignación de los grupos de Tukey

Tratamiento	Rendimiento (t/ha)	Literal	Grupo
T2	28.98	a	a
T3	25.00	a b	ab
T4	24.43	a b	ab
T1	23.58	b	b

Habiendo realizado el análisis múltiple de medias, los grupos de Tukey indican que el T2 es el mejor de los tratamientos, ya que lo que se esperaba en el análisis era identificar el tratamiento que mayor rendimiento presentara, es por ello que el T2 se clasifica como un grupo “a”, al T3 y T4 como tratamientos intermedios “ab” y al T1 como el peor de los tratamientos, clasificándolo en un grupo “b” de Tukey.

Hasta aquí, la prueba de Tukey ha revelado que, estadísticamente, el tratamiento T2 es el que presenta el mejor de los rendimientos. Sin embargo, la naturaleza preliminar de este análisis no presenta información suficiente para constituir una conclusión concreta que permita identificar un tratamiento que, además de presentar los mejores resultados estadísticos, sea el más factible. El análisis estadístico no pone en evidencia los aspectos implícitos (por ejemplo, los costos de producción) dentro del marco de la investigación, sino solamente la variación existente entre los tratamientos evaluados. Debido a esto, se realiza el análisis de tasa marginal de retorno, ya que esta metodología es la que permite evaluar (identificar) el tratamiento que resulta ser más factible desde el punto de vista económico.

5.4 Análisis económico de tasa marginal de retorno (TMR)

Para definir los costos variables en el ensayo, se tomaron en cuenta los costos generados por las cantidades y tipos de abono utilizados, además, se tomó en cuenta el costo de los

jornales involucrados para la cosecha, ya que un mayor rendimiento, involucra mayor cantidad de mano de obra durante la cosecha. Todo esto partiendo de la premisa de los costos variables, que son la suma de esos costos que cambian debido al uso de otra tecnología. En la definición del total de costos variables, es el T2 el que representa el mayor costo variable, por el contrario, el T1 representa el menor costo variable (ver cuadro 11).

Cuadro 11. Definición de los costos variables (Q/ha)

Tratamiento	Cantidad de fertilizante (kg/ha)	Costo del fertilizante (Q/kg)	Jornales cosecha/ha	Costo por jornal (Q)	Total costos variables (Q/ha)
T1	3	5.5	87	50	4366.5
T2	3	6.6	106	50	5319.8
T3	12	6.6	92	50	4679.2
T4	24	6.6	90	50	4658.4

Nota: Se determinó que una persona utiliza un jornal (8 horas) para cosechar 0.273 t de berro (4 cargas de 150 lb c/u).

El rendimiento ajustado, en este caso, representa una fracción de 0.90 (una tasa de ajuste del 10%) del rendimiento experimental (ver cuadro 12). El rendimiento se ajusta con el objetivo de aproximar este valor al que el productor obtendría al adoptar las nuevas tecnologías, ya que éste no aplicaría la puntualidad y precisión utilizada durante el ensayo (Evans, 2014).

Cuadro 12. Rendimiento experimental y ajustado

Tratamiento	Rendimiento (t/ha)	
	Experimental (RE)	Ajustado (RE*0.90)
T1	23.58	21.22
T2	28.98	26.08
T3	25.00	22.50
T4	24.43	21.99

En el cuadro 13 se presentan los beneficios netos generados en cada uno de los tratamientos estudiados.

Cuadro 13. Definición de los beneficios netos (Q/ha)

Tratamiento	Rendimiento ajustado (t/ha)	Beneficio bruto (BB)	Costos variables (CV)	Beneficio neto (BN)
T1	21.22	81704.70	4366.50	77338.20
T2	26.08	100415.70	5319.80	95095.90
T3	22.50	86625.00	4679.20	81945.80
T4	21.99	84649.95	4658.40	79991.55

El precio del producto es de Q3850/t

El cuadro 13 muestra que, aunque los costos variables del T2 son los de mayor magnitud, también lo es el beneficio neto, sin embargo, hasta este paso no se conoce cuál es el mejor de los tratamientos. El mejor tratamiento se definirá más abajo en el cuadro 15 donde se determinan las TMR y residuos de los tratamientos que resulten ser No Dominados (ver cuadro 14).

Cuadro 14. Análisis de dominancia de los tratamientos

Tratamiento	CV	BN	Observación de cambio	Conclusión de la observación
T1	4366.50	77338.20		No Dominado
T4	4658.40	79991.55	De T1 a T4	No Dominado
T3	4679.20	81945.80	De T4 a T3	No Dominado
T2	5319.80	95095.90	De T3 a T2	No Dominado

En el cuadro 14, todos los tratamientos resultan ser No Dominados, por lo tanto, los cuatro son sometidos al análisis de TMR y residuos que se presenta en el cuadro 15.

Cuadro 15. Determinación de la TMR(%) y los residuos

Tratamiento	BN	CV	Δ BN	Δ CV	TMR(%)	Residuo
T1	77338.20	4366.50				72971.70
T4	79991.55	4658.40	2653.35	291.90	908.99	75333.15
T3	81945.80	4679.20	1954.25	20.80	9395.43	77266.60
T2	95095.90	5319.80	13150.10	640.60	2052.78	89776.10

TAMIR=100%

En el análisis económico de esta investigación, la TMR supera a la TAMIR esperada por los productores, que en este caso se consideró como el 100% (CIMMYT, 1988). Los tratamientos o tecnologías evaluadas son aceptables cuando la TMR iguala o supera a la TAMIR, es por ello que desde allí se puede afirmar que los tratamientos T2, T3 y T4 son factibles para poder ser utilizados en la fertilización del cultivo de berro, sin embargo, no basta tomar una decisión solamente con la condición del valor de la TMR, se debe tomar en cuenta otra consideración, y esta son los residuos, valores que se calculan fácilmente al restar, de los beneficios netos, el costo de oportunidad de los costos variables (COCV⁴)

⁴ COCV=CV(TAMIR/100)

(que en este caso resulta ser el mismo valor de los CV) de los tratamientos que hayan resultado ser No Dominados en el análisis de dominancia.

Tomando en cuenta las consideraciones de TMR y los residuos, se concluye con que el programa de fertilización que resulta ser el más factible es el T2, ya que la TMR es mayor que la TAMIR esperada y porque también es el que mayor valor de residuo presenta. El análisis económico de TMR muestra, y coincide con el análisis estadístico, con que el mejor tratamiento es el T2, donde se utilizó, para la fertilización, lombricompost diluido a razón de 3 kg/ha.

5.5 Diámetros del tallo en el cultivo de berro

En el cuadro 16 y figura 11, se muestran los diámetros de tallo, en milímetros, obtenidos en cada uno de los tratamientos y sus respectivas repeticiones.

Cuadro 16. Diámetros del tallo (mm) en el cultivo de berro

Repeticiones (bloques)	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
R1	3.90	4.70	4.70	5.40
R2	4.50	4.70	5.10	3.90
R3	3.90	5.00	5.00	4.40
R4	3.40	4.60	3.70	4.30
Promedio	3.93	4.75	4.63	4.50

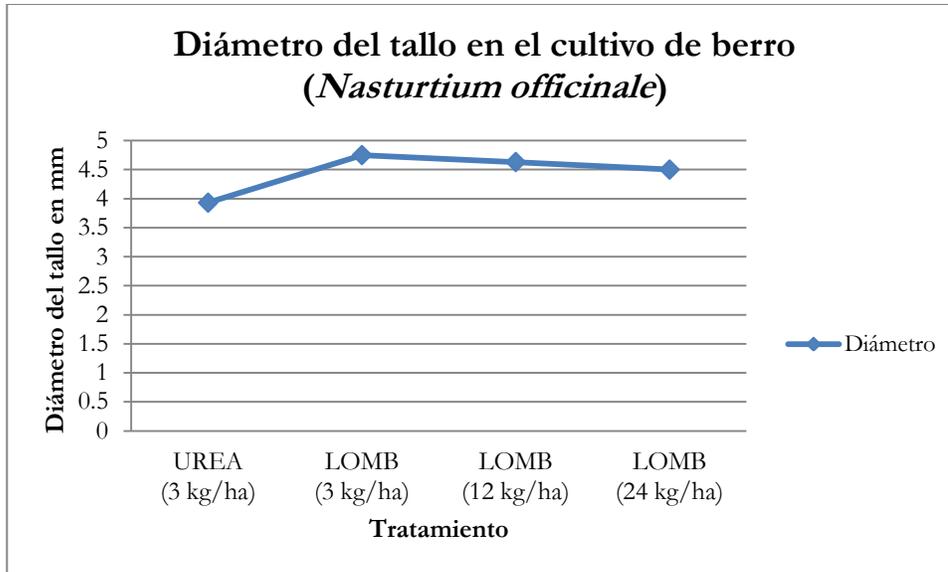


Figura 11. Gráfica del diámetro promedio en tallos de berro (mm)

Además de los rendimientos del cultivo de berro, también se tomaron en cuenta otras variables de respuesta, tales como diámetro promedio en los tallos (mm) y la densidad del cultivo (tallos/m²), que complementan los resultados obtenidos.

La tendencia observada en la variable de respuesta *diámetro del tallo* es la misma que se observa en los datos de rendimientos. En este caso, se observa que a medida que incrementa la concentración de lombricompost, el diámetro disminuye. La evidencia confirma que al igual que en los rendimientos, los menores diámetros se obtuvieron en las unidades experimentales donde se evaluó el T1 (3 kg de urea/ha), también así, los diámetros obtenidos en los tratamientos T2, T3 y T4 donde se aplicó lombricompost (programas de fertilización orgánicos) a razón de 3, 12 y 24 kg/ha respectivamente, sobrepasaron los diámetros obtenidos con el programa de fertilización químico donde se utilizó urea como fertilizante.

Comparando las gráficas de rendimiento y diámetro del tallo, se puede observar una relación semejante entre ambas variables, es decir, que a medida que el rendimiento aumenta, el diámetro también lo hace o viceversa. Los mayores rendimientos se

obtuvieron con los tratamientos orgánicos donde se fertilizó con lombricompost y, aunque menos densos, fueron estos tratamientos donde se obtuvieron también los tallos más gruesos, y empíricamente para el productor, un tallo de mayor grosor significa una mejor calidad y cantidad del producto que se cosecha.

Para poder observar las tendencias entre las variables de respuesta evaluadas, los tratamientos se ordenaron, en base a los rendimientos obtenidos, de menor a mayor (tal y como se muestra en la figura 12 y figura 14), y junto a éstos, los valores de diámetro y densidad de tallos que corresponden a cada tratamiento respectivamente.

En la figura 12 se presenta la tendencia existente entre el rendimiento y el diámetro del tallo.

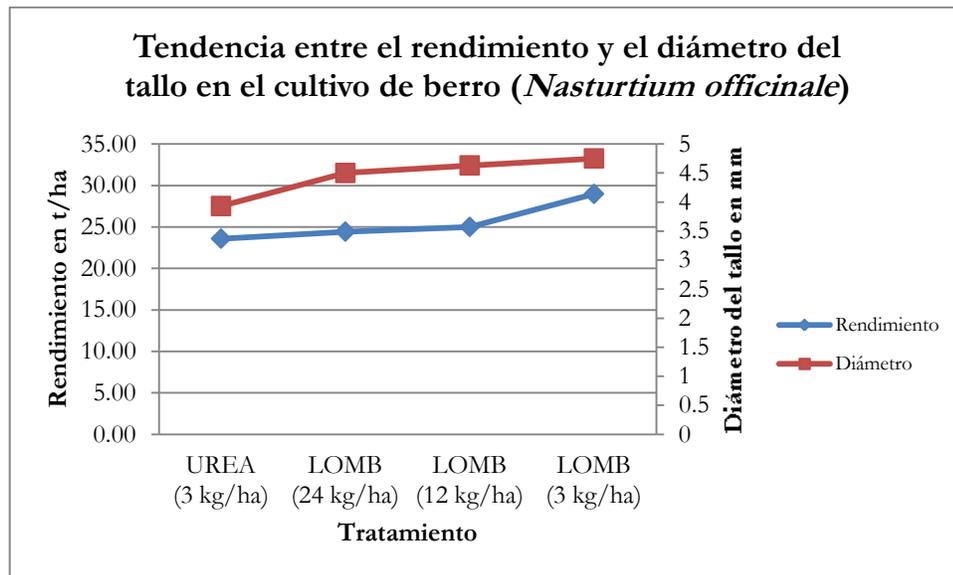


Figura 12. Gráfica de la tendencia entre el rendimiento y el diámetro del tallo en el cultivo de berro

5.5.1 Análisis de correlación entre el diámetro del tallo y el rendimiento del berro

El R (coeficiente de correlación) presentado en el análisis de correlación entre el diámetro del tallo y el rendimiento del cultivo de berro es de $R=0.728$, y demuestra que la relación entre estas dos variables es positiva (directa), es decir, que a medida que el diámetro incrementa, el rendimiento también lo hace o viceversa. La magnitud del coeficiente indica que el grado de asociación entre las dos variables es bastante fuerte, ya que se acerca más al límite superior de R, que es +1. Este análisis permite corroborar la tendencia observada en la figura 12.

En el cuadro 17 se presenta el resumen de datos del análisis de correlación entre el diámetro del tallo y el rendimiento del berro.

Cuadro 17. Análisis de correlación entre el diámetro del tallo y el rendimiento del berro

Tratamiento	Diámetro (mm)	Rendimiento (t/ha)	x^2	y^2	xy
T1	3.93	23.58	15.44	556.02	92.67
T4	4.50	24.43	20.25	596.82	109.94
T3	4.63	25.00	21.44	625.00	115.75
T2	4.75	28.98	22.56	839.84	137.66
Total	17.81	101.99	79.69	2617.68	456.01

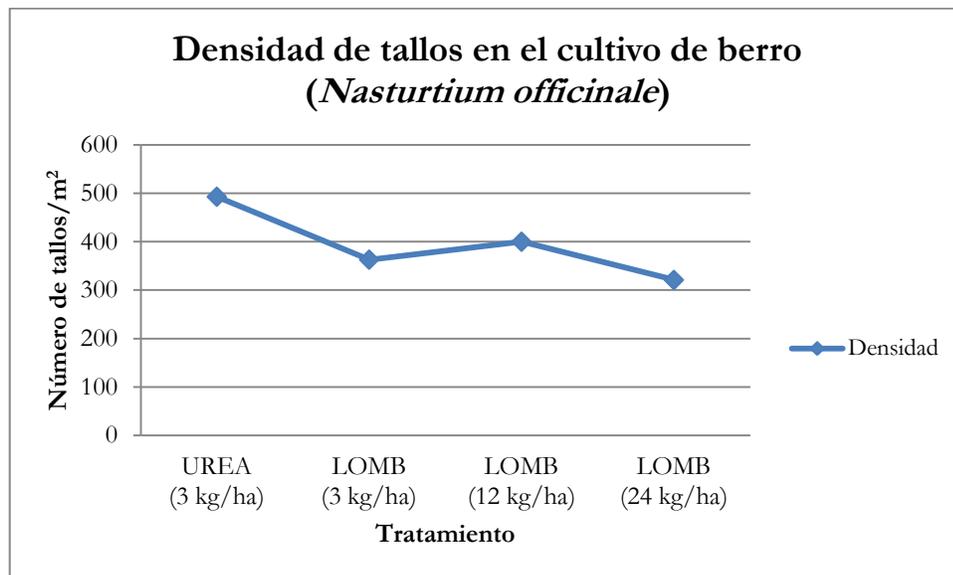
$R=0.728$

5.6 Densidad de tallos en el cultivo de berro

En el cuadro 18 y figura 13, se muestran las densidades de tallo, en tallos/m², obtenidos en cada uno de los tratamientos y sus respectivas repeticiones.

Cuadro 18. Densidades obtenidas en el cultivo de berro (tallos/m²)

Repeticiones (bloques)	Tratamientos			
	T1	T2	T3	T4
R1	524	400	300	220
R2	456	440	400	360
R3	372	312	400	412
R4	620	300	500	292
Promedio	493	363	400	321

Figura 13. Gráfica de la densidad promedio del cultivo de berro (tallos/m²)

La tendencia observada en la variable de respuesta *densidad del cultivo*, refleja resultados distintos, pero no sin relación, a los observados en los rendimientos del cultivo. Se puede apreciar claramente una relación inversa entre el rendimiento y la densidad del cultivo, ya que mientras el rendimiento promedio obtenido en el T1 (3 kg urea/ha) fue el menor entre todos los tratamientos, la densidad de tallos resultó ser la mayor. En lo que concierne a los tratamientos restantes, se observa, en consideraciones generales, que a medida que el rendimiento disminuyó, la densidad de tallos en el cultivo aumentó (ver figura 14).

Las tendencias observadas entre el rendimiento, el diámetro y la densidad, permiten encontrar una lógica que las relaciona entre sí. En términos generales se puede decir que a medida que el rendimiento aumenta, el diámetro de los tallos también lo hace y la densidad de tallos mengua; es decir, que mientras más delgados fueron los tallos, mayor fue la densidad obtenida, y que el rendimiento aumentó a medida que el diámetro lo hizo.

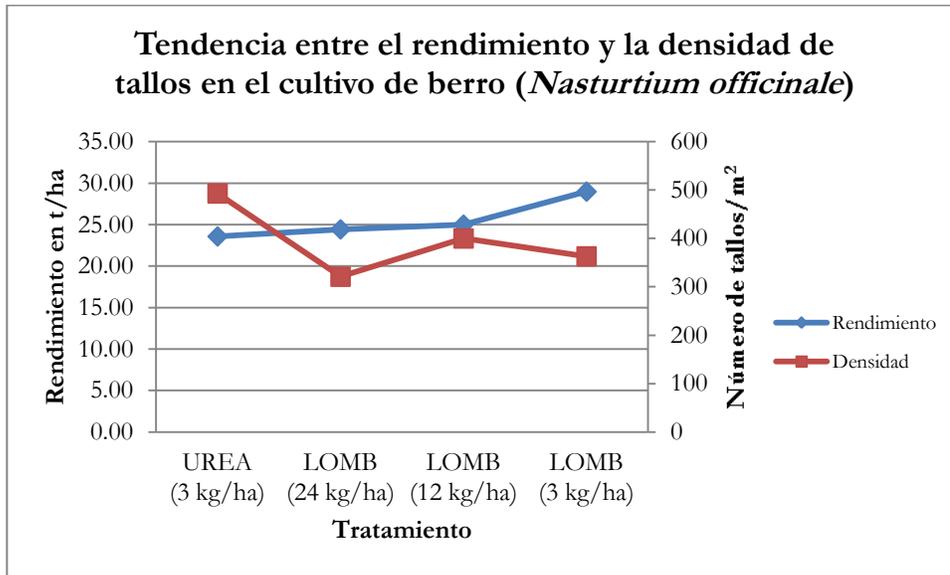


Figura 14. Gráfica de la tendencia entre el rendimiento y la densidad de tallos en el cultivo de berro

Una densidad menor permitió la producción de tallos más vigorosos y pesados (en los tratamientos orgánicos) y por lo tanto un rendimiento mayor, mientras que en el tratamiento químico, donde se obtuvo una mayor densidad de cultivo, los tallos fueron los más delgados y el rendimiento resultó ser el más bajo de todos. Este mismo fenómeno se observa en el trabajo de Niñirola (2010), donde se obtuvo que una mediana densidad en el cultivo de berro presentó un mayor rendimiento que el generado al utilizar una alta densidad.

5.6.1 Análisis de correlación entre la densidad de tallos y el rendimiento del berro

El R (coeficiente de correlación) presentado en el análisis de correlación entre la densidad de tallos y el rendimiento del cultivo de berro es de $R=-0.423$, y demuestra que la relación entre estas dos variables es negativa (inversa), es decir, que a medida que la densidad incrementa, el rendimiento disminuye o viceversa. La magnitud del coeficiente indica que el grado de asociación entre las dos variables es un poco débil, ya que se acerca más a cero, que al límite inferior de R, que es -1. Este análisis permite corroborar la tendencia observada en la figura 14.

En el cuadro 19 se presenta el resumen de datos del análisis de correlación entre la densidad de tallos y el rendimiento del berro.

Cuadro 19. Análisis de correlación entre la densidad de tallos y el rendimiento del berro

Tratamiento	Densidad (tallos/m ²)	Rendimiento (t/ha)	x ²	y ²	xy
T1	493	23.58	243049.00	556.02	11624.94
T4	321	24.43	103041.00	596.82	7842.03
T3	400	25.00	160000.00	625.00	10000.00
T2	363	28.98	131769.00	839.84	10519.74
Total	1577	101.99	637859.00	2617.68	39986.71

$R=-0.423$

La literatura indica que el nitrógeno es el elemento que permite que las plantas tengan una mejor estructura y tallos más vigorosos, siempre y cuando éste esté a disposición de las plantas y en cantidades suficientes. Los resultados obtenidos en la investigación demuestran, según los datos de rendimiento y diámetro del tallo, que las plantas de berro obtenidas con el tratamiento T1 (donde se aplicó urea a razón de 3 kg/ha) fueron las más delgadas y poco pesadas. La lógica conlleva a pensar que, si se aplicaran cantidades iguales de abono (como en el caso de los tratamientos T1 y T2, donde se aplicaron 3

kg/ha), utilizar urea como abono, cuyo contenido de nitrógeno es de 46%, podría producir mejores resultados que los obtenidos al utilizar lombricompost, cuyo contenido de nitrógeno oscila entre el 2 y 3% (ver cuadro 2 y cuadro 7). Sin embargo, el bajo rendimiento obtenido en el tratamiento T1 no se debe a que no se haya aplicado nitrógeno o que el nitrógeno aplicado a través de la urea no haya cumplido con su función, sino a la inestabilidad del mismo, la inestabilidad que presentan los abonos cuyos nutrientes se han fijado de forma sintética, es decir, los abonos químicos (Pfeiffer, 1995).

El nitrógeno es un elemento muy conocido por su inestabilidad y su pérdida por volatilización en forma de gas amoníaco, según Fenilli *et al.* (2007), las pérdidas pueden ser de hasta un 50% del total de N aplicado, y esto coincide grandemente con lo que señala Pfeiffer (1995) en su libro "*La fertilidad de la tierra*", que las plantas sólo aprovechan un 25% del nitrógeno químico que se les aplica en forma de amoníacos y nitratos (NO_3), por lo que las cantidades a aplicarse deben ser relativamente mayores a las que las plantas necesitan. Todo esto no sucede cuando la aplicación se realiza con abonos orgánicos, en este caso el uso de lombricompost, que es un abono bastante estable, y por consiguiente de nutrientes más estables, donde el nitrógeno es orgánico y la planta lo utiliza lentamente y conforme a sus necesidades durante el crecimiento (Pfeiffer, 1995).

5.7 Análisis de regresión entre la dosis de lombricompost y el rendimiento del berro

Para este análisis se tomaron en cuenta únicamente los tratamientos donde se utilizó lombricompost como abono foliar, ya que este análisis pretende observar e identificar la tendencia existente entre la dosis de lombricompost aplicada y los rendimientos de berro obtenidos (ver cuadro 20). No tendría ninguna aplicación si también se hubiera incluido el T1 donde la fertilización se realizó con urea.

Cuadro 20. Análisis de regresión entre la dosis de lombricompost y el rendimiento del berro

Tratamiento	Lombricompost (kg/ha)	Rendimiento (t/ha)	x^2	y^2	xy
T2	3	28.98	9	839.84	86.94
T3	12	25.00	144	625.00	300.00
T4	24	24.43	576	596.82	586.32
Total	39	78.41	729	2061.67	973.26

$$b_1 = -0.2075; b_0 = 28.834; R = -0.882$$

$$y = 28.834 - 0.2075x$$

En la figura 15 se presenta el gráfico de las dosis de lombricompost y los rendimientos obtenidos en el cultivo de berro, la gráfica permite apreciar de mejor manera los resultados obtenidos con la fertilización orgánica.

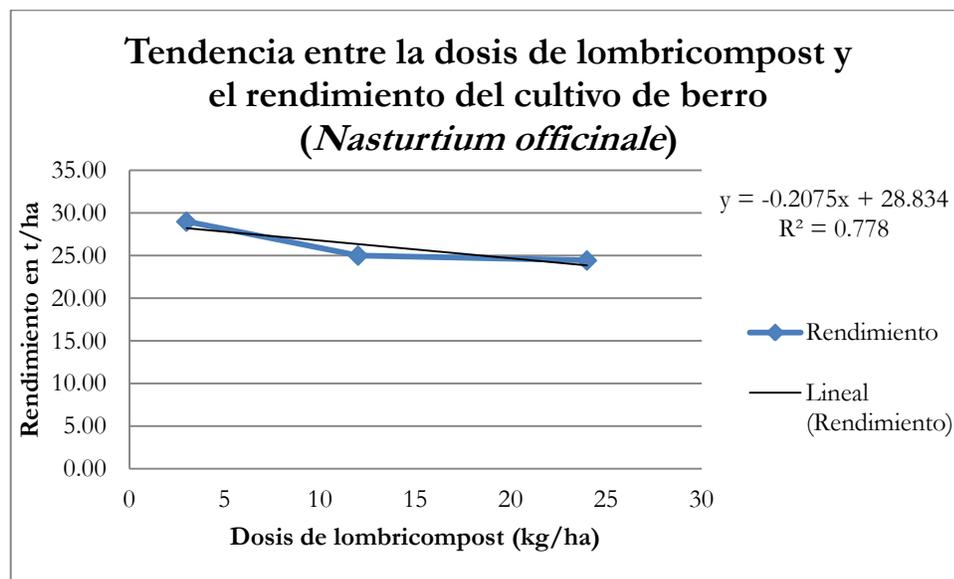


Figura 15. Gráfica de la relación entre la dosis de lombricompost y el rendimiento promedio en el cultivo de berro

La pendiente negativa de la función ($b_1=-0.2075$) indica que por cada kilogramo de lombricompost por hectárea (x), el rendimiento del cultivo de berro (y) disminuyó en 0.2075 t/ha. Esta tendencia pone en evidencia el principio de la ley de rendimientos decrecientes, ya que la aplicación constante de unidades de la variable independiente (dosis de lombricompost), condujo a que los valores de la variable dependiente (rendimiento) fueran cada vez menores (Baltra, 1973).

El R (coeficiente de correlación) obtenido ($R=-0.882$) entre la dosis de lombricompost (kg/ha) y el rendimiento del cultivo de berro (t/ha) demuestra que la relación entre estas dos variables es negativa (inversa), es decir, que a medida que se aplicó una mayor concentración de lombricompost sobre el cultivo de berro, el rendimiento obtenido disminuyó, tal y como se observa en la figura 15.

Mientras tanto, el R^2 (coeficiente de determinación) obtenido ($R^2=0.778$) indica que, a través del modelo ($y=28.834-0.2075x$), cerca del 78% de la variación en los rendimientos del cultivo de berro son explicados por la variable dosis de lombricompost. El R^2 obtenido es bastante aceptable, ya que los valores mínimos aceptables oscilan entre 0.75 y 0.80, por lo que el modelo puede utilizarse para estimar valores de rendimientos, mediante la interpolación, dentro de los rangos de dosificación de lombricompost evaluados, sin embargo, es recomendable no extrapolar datos, ya que una dosis de lombricompost fuera de los rangos evaluados (de 3 a 24 kg/ha) podría revelar, si se evaluara en condiciones reales, rendimientos completamente distintos a los que podrían estimarse si se utilizara esta ecuación.

5.7.1 Análisis de varianza de la regresión lineal

5.7.1.1 Hipótesis del ANDEVA de la regresión lineal

$H_0: b_1=0$

$H_a: b_1 \neq 0$

En el cuadro 21 se presenta el resumen del ANDEVA de la regresión lineal realizada entre la dosis de lombricompost y el rendimiento del cultivo de berro.

Cuadro 21. Cuadro resumen del ANDEVA de la regresión lineal

FV	GL	SC	CM	FC	FT
Regresión	1	9.56	9.56	3.50ns	161.45
Error	1	2.73	2.73		
Total	2	12.29			

$R^2=0.778$

El análisis de varianza de la regresión lineal entre la dosis de lombricompost y los rendimientos obtenidos en el cultivo de berro, muestra que, a un 5% de significancia, la F Calculada (3.50) es menor que la F Tabulada (161.45), esto conlleva a aceptar la H_0 del ANDEVA de la regresión, e indica que la pendiente de la ecuación es igual a cero ($b_1=0$).

Contrastando este resultado con el obtenido en el análisis de regresión lineal, se observa que el valor de b_1 tiende a ser de cero, sin embargo, éste tiene una magnitud de -0.2075, por lo que no se puede afirmar lo que revela el ANDEVA del análisis de regresión, ya que un cambio mínimo en la pendiente de la ecuación, ya sea positivo o negativo (como en este caso), revela que existen cambios al aumentar la dosificación (concentración) del lombricompost aplicado.

Es claro que la decisión de aceptar o rechazar la H_0 del análisis de varianza no depende únicamente de la variación entre los tratamientos, sino que también depende del número de observaciones analizadas; ya que los grados de libertad del error experimental están directamente relacionados con el número de observaciones en estudio. La tabla de F muestra que al disminuir los grados de libertad del error, el valor de F tiende a aumentar (lo que disminuye la probabilidad de rechazar la H_0). En este caso se tiene un número reducido de tratamientos (los tres tratamientos orgánicos T2, T3 y T4), es por ello que el

valor de los grados de libertad del error experimental ($GL=1$) conlleva a que la F Tabulada del ANDEVA incremente en gran magnitud (ver cuadro 21), lo que impide rechazar la H_0 .

6 CONCLUSIONES

1. Los rendimientos de berro obtenidos en el ensayo fueron de 23.58, 28.98, 25.00 y 24.43 t/ha para los tratamientos T1, T2, T3 y T4 respectivamente. Entre el tratamiento de urea (T1) y el tratamiento de lombricompost de menor concentración (T2) existe una diferencia significativa de 5.4 t/ha de berro. Cada uno de los tratamientos orgánicos (T2, T3 y T4) produjeron mayores rendimientos que los obtenidos con el tratamiento químico (T1) por lo que se comprueba que la fertilización orgánica con lombricompost resultó ser más eficaz que la fertilización convencional realizada con urea.
2. El programa de fertilización que produjo mayores rendimientos fue el T2, presentando un rendimiento promedio de berro de 28.98 t/ha que, a la luz del análisis realizado, resulta ser estadísticamente superior al resto de tratamientos evaluados. El ANDEVA reveló diferencias significativas entre los tratamientos y con el análisis múltiple de medias (prueba de Tukey) se catalogó al T2 como el mejor de los cuatro tratamientos evaluados.
3. Según el análisis económico de TMR, es el T2 el programa de fertilización que resulta ser más factible, presentando un rendimiento de berro de 28.98 t/ha, ya que no sólo cumple con la condición de presentar una tasa marginal de retorno (2052.78%) mayor a la TAMIR (100%), sino que presenta el mayor de los residuos (Q89776.10/ha), que resulta de la diferencia entre los beneficios netos y los costos variables de utilizar esta tecnología (tratamiento).

7 RECOMENDACIONES

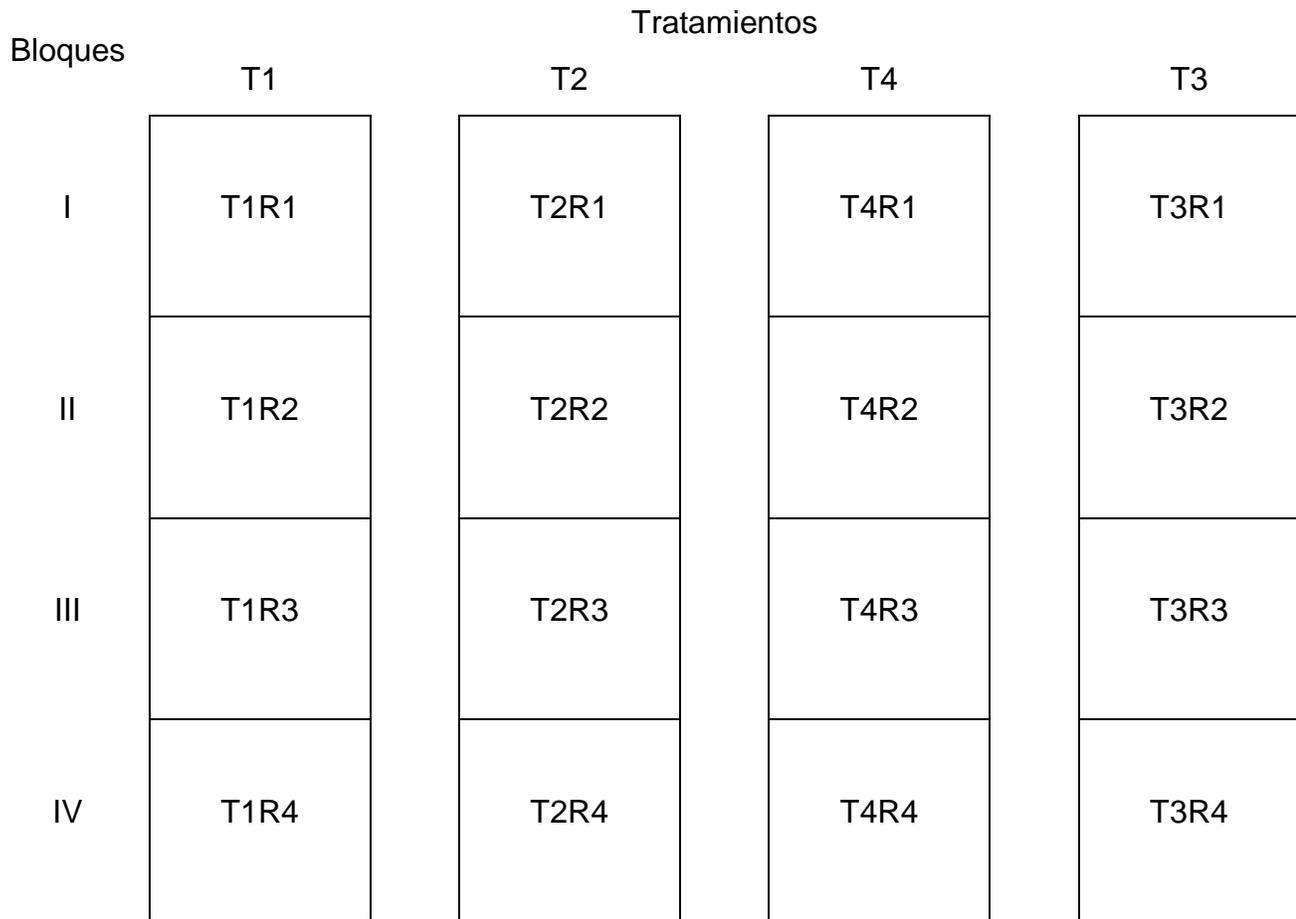
1. Con los resultados de la investigación, se recomienda, para los productores de berro de Santa Cruz Quixayá, realizar una fertilización orgánica en el cultivo de berro, utilizando lombricompost a razón de 3 kg/ha.
2. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en esta investigación, se recomienda realizar otros ensayos y plantear dosis de lombricompost alrededor de la que en esta prueba fue la mejor, es decir, de 3 kg/ha. De esta manera, se podría plantear una investigación con cinco tratamientos, cuyas concentraciones serían: 1, 2, 3, 4 y 5 kg de lombricompost por hectárea. No obstante, es preciso que en ensayos futuros se vuelvan a evaluar las dosis de lombricompost que en este ensayo mostraron menores rendimientos, es decir, 12 y 24 kg/ha.
3. Si bien, los tratamientos T3 y T4 (12 y 24 kg de lombricompost por hectárea) no presentaron los mejores resultados, es preciso no descartarlos, y por el contrario, tomarlos como referencia y probar, al igual que el T2, concentraciones alrededor de estos y verificar si se cumple con la tendencia observada en los resultados de este ensayo. Otros posibles ensayos podrían tener los siguientes tratamientos: 8, 10, 12, 14, y 16 kg/ha, si se toma como base el T3, o bien 18, 21, 24, 27 y 30 kg/ha, si se toma como base el T4.
4. Es recomendable no generalizar los resultados obtenidos en este ensayo, por lo tanto, es aconsejable realizar repeticiones de la investigación y ratificar los resultados obtenidos, o bien, concluir con nuevos resultados que se adapten a la zona donde se haga la evaluación.
5. Se recomienda que previo al establecimiento de ensayos futuros, se realice un análisis de la arena y del agua donde se desarrolla el cultivo de berro, esto para conocer el contenido nutrimental del lugar donde se establecerá la investigación.

6. Es recomendable evaluar, para el método de producción orgánico y convencional, altas concentraciones de los fertilizantes para poder observar efectos de toxicidad, antagonismo y desbalances de nutrientes en el cultivo de berro.
7. Se recomienda que en evaluaciones futuras, se realicen análisis de tejido vegetal, que ayuden a entender la complejidad con que actúan las fertilizaciones foliares sobre el cultivo de berro.
8. Se recomienda que en ensayos futuros puedan evaluarse también otros abonos orgánicos, incluyendo nuevamente el lombricompost; esto para comparar los resultados que puedan proporcionar cada una de las fuentes de nutrientes a utilizar.
9. Es recomendable realizar un análisis microbiológico del lombricompost a utilizar, para verificar la inocuidad con la que éste se aplique en el cultivo.

8 BIBLIOGRAFÍA

1. Araneda, H. 1993. Economía política. Santiago, Chile, Editorial Jurídica de Chile. 633 p.
2. Avalos, C; Palerm, J. 2001. Producción del cultivo de berro y captación de agua en la cuenca del río Cuautla, Morelos, México. Montecillos, Texcoco, México, Colegio de Postgraduados. 23 p.
3. Baltra Cortéz, A. 1973. Teoría económica. México, Editorial Andrés Bello. 509 p.
4. Barbé, L. 1996. El curso de la economía: grandes escuelas, autores y temas del discurso económico. Barcelona, España, Ariel. 639 p.
5. Burstein, Z; Cabezas, C; Náquira, C; Mayta-Tristán, P. 2010. Las zoonosis parasitarias: problema de salud pública en el Perú. Revista Peruana para Medicina Experimental y Salud Pública 27:494-497.
6. Casco, C; Iglesias, M. 2005. Producción de biofertilizantes líquidos a base de lombricompost. Corrientes, Argentina, Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). 4 p.
7. CIMMYT, MX. 1988. From agronomic data farmer recommendations: an economic training manual. México. 79 p.
8. Cuerdo, M; Freire, M. 2008. Introducción a la microeconomía: comportamientos, intercambio y mercados. Madrid, España, ESIC. 295 p.
9. Evans, EA. 2014. Análisis marginal: un procedimiento económico para seleccionar tecnologías o prácticas alternativas (en línea). Florida, US, University of Florida, IFAS Extension EF573. Consultado 13 ene 2016. Disponible en <http://bit.ly/1J3WDC7>
10. Faveri, E; Larbalétrier, A. 2008. Manual del hortelano: las legumbres: caracteres, variedades, cultivo práctico, enemigos y enfermedades, usos y propiedades. Valladolid, España, Maxtor. 143 p.
11. Fenilli, TAB; Reichardt, K; Trivelin, PCO; Favarin, JL. 2007. Volatilization of ammonia derived from fertilizer and its reabsorption by coffee plants. Communications in Soil Science and Plant Analysis 38:1741-1751.
12. Ferraris, G; Couretot, L; Toribio, M. 2009. Pérdidas de nitrógeno por volatilización y su implicancia en el rendimiento del cultivo de maíz: efectos de fuente, dosis y uso de inhibidores (en línea). IPNI, Informaciones Agronómicas no. 43:19-22. Consultado 13 ene 2016. Disponible en <http://bit.ly/1Sjbg7j>

13. Grüner, H; Metz, R; Gil, A; González, A. 2005. Procesos de cocina. Madrid, España, Ediciones Akal. 286 p.
14. Havlin, J; Beaton, D; Tisdale, S; Nelson, W. 1999. Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management. US, Prentice-Hall. 499 p.
15. Leal-Varón, LA; Salamanca-Jiménez, A; Sadeghian-Khalajabad, S. 2007. Pérdidas de nitrógeno por volatilización en cafetales en etapa productiva (en línea). Cenicafé 58(3):216-226. Consultado 13 ene 2016. Disponible en <http://bit.ly/1RNDZQ0>
16. Mateo, J; Novillo, J. 2005. Prontuario de agricultura. Madrid, España, Mundi-Prensa. 942 p.
17. MINAG (Ministerio de Agricultura, Dirección de Economía; PE). 1964. Estudio sobre la producción hortícola y tenencia de tierra en las provincias de Lima y Callao. Lima, Perú, Ed. La Dirección. 51 p.
18. Mosquera, B; Escandón, S; Coral, P; Puente, N. 2010. Abonos orgánicos, protegen el suelo y garantizan alimentación sana. Estados Unidos de América, FONAG. 24 p.
19. Niñirola Campoy, D. 2010. Influencia de la densidad de plantación en la producción y calidad de los cultivos de berro y canónigo en bandejas flotantes para su producción como "baby leaf" (en línea). Researchgate.net/publication/277064137. Consultado 13 mar 2015. Disponible en <http://bit.ly/1MToSVB>
20. Pfeiffer, E. 1995. La fertilidad de la tierra, su conservación y renovación, Agricultura Biológico Dinámica. Buenos Aires, Argentina, Antroposófica. 386 p.
21. Reines, M. 1998. Lombrices de tierra con valor comercial: biología y técnicas de cultivo. Chetumal, Quintana Roo, México, Universidad de Quintana Roo. 65 p.
22. Standley, P; Steyermark, J. 1946. Flora of Guatemala. Chicago, US, Chicago Natural History Museum, Fieldiana: Botany, v. 24, part. 4, 489 p.

9 ANEXOS

Fuente: elaboración propia, 2015

Figura 16A. Distribución de los tratamientos (croquis de campo)

Cuadro 22A. Boleta para la toma de datos
BOLETA PARA LA TOMA DE DATOS
Cultivo de berro (*Nasturtium officinale* R. Brown)

Fecha de siembra _____

Fecha de cosecha _____

Ciclo de cultivo (semanas) _____

Variable respuesta	Repetición	Tratamientos			
		T1	T2	T3	T4
Rendimiento en peso fresco (kg/m ²)	R1				
	R2				
	R3				
	R4				
Densidad (número de tallos/m ²)	R1				
	R2				
	R3				
	R4				
Diámetro promedio de tallos (mm)	R1				
	R2				
	R3				
	R4				

Observaciones

Cuadro 23A. Diámetros obtenidos en los 10 tallos muestreados por unidad experimental

Repeticiones (bloques)	Tratamientos							
	T1		T2		T3		T4	
	Diámetro (mm)							
R1	5	5	7	4	3	3	7	7
	2	4	7	4	4	6	6	8
	4	3	4	3	5	7	7	3
	4	4	6	4	6	3	5	3
	5	3	5	3	4	6	4	4
Promedio	3.90		4.70		4.70		5.40	
R2	3	6	4	4	5	6	5	3
	5	5	4	4	6	5	4	4
	4	4	5	5	5	5	3	7
	6	4	3	7	5	4	4	3
	3	5	7	4	6	4	3	3
Promedio	4.50		4.70		5.10		3.90	
R3	5	3	4	4	6	3	6	4
	4	3	3	6	4	5	3	5
	3	4	7	4	4	6	6	5
	5	3	6	5	4	7	4	4
	5	4	7	4	4	7	4	3
Promedio	3.90		5.00		5.00		4.40	
R4	2	2	3	4	4	3	6	4
	4	3	3	6	3	3	4	4
	5	4	5	4	4	4	3	4
	3	4	6	4	4	2	4	6
	3	4	4	7	4	6	4	4
Promedio	3.40		4.60		3.70		4.30	

Fuente: elaboración propia, 2015



Fuente: propia, 2015

Figura 17A. Fotografía de la distribución del material vegetativo (semilla)



Fuente: propia, 2015

Figura 18A. Fotografía del ensayo a las dos semanas después de la siembra



Fuente: propia, 2015

Figura 19A. Fotografía de las soluciones (tratamientos) utilizadas



Fuente: propia, 2015

Figura 20A. Fotografía de la aplicación de los fertilizantes



Fuente: propia, 2015

Figura 21A. Fotografía del marco metálico utilizado para la cosecha (toma de datos)



Fuente: propia, 2015

Figura 22A. Fotografía de la parcela después de tomadas las muestras de rendimiento



Fuente: propia, 2015

Figura 23A. Fotografía del pesado de las muestras

CAPÍTULO III

SERVICIOS REALIZADOS EN EL COMITÉ CAMPESINO DEL ALTIPLANO (CCDA),
COMUNIDAD DE SANTA CRUZ QUIXAYÁ, SAN LUCAS TOLIMÁN, SOLOLÁ,
GUATEMALA, C.A.

1 INTRODUCCIÓN

El Comité Campesino del Altiplano (CCDA) como promotor de la seguridad y soberanía alimentaria, impulsa proyectos que fortalecen las economías campesinas para el buen vivir de las comunidades a las que da acompañamiento. El CCDA incentiva tres sistemas agroalimentarios principalmente: el sistema milpa (maíz, frijol y cucurbitáceas), el sistema patio (gallinas criollas y hortalizas) y el sistema mixto (tilapia y raíces comestibles).

Los servicios prestados, responden a actividades estrechamente vinculadas a cada uno de los tres sistemas agroalimentarios que promueve la organización. Los servicios de mayor importancia realizados en el CCDA se simplifican en: a) el establecimiento de un banco vivo de semillas (semillero) de yuca (*Manihot esculenta*) y camote (*Ipomoea batatas*) para fortalecer el sistema mixto, b) el establecimiento de un sistema de tutorado para hortalizas bajo condiciones de invernadero para fortalecer el sistema patio y c) la práctica de ensilado agroecológico en semillas de maíz (*Zea mays* L.) para fortalecer el sistema milpa.

La poca disponibilidad de semilla de yuca y camote en el sistema mixto conllevó a realizar un banco vivo de semillas de estos cultivos, para destinar una pequeña área de terreno exclusivamente para la obtención de semilla. La conservación de grano de maíz surgió de la necesidad de abastecer de grano a los socios de la organización en época de escases, cuando el precio por quintal de maíz se eleva, además con el objetivo de implementar una práctica agroecológica para la conservación de granos básicos. Mientras tanto, la actividad de tutorado para hortalizas bajo invernadero se realizó con el objetivo de mejorar la infraestructura de un invernadero destinado a la ejecución de prácticas agrícolas para las familias asociadas al CCDA.

En el presente capítulo se basa en el informe final de servicios prestados en el CCDA durante la realización del Ejercicio Profesional Supervisado. Los servicios realizados fueron un complemento a las actividades destinadas al fortalecimiento de la economía familiar campesina fomentada por la organización, los cuales se describen en el desarrollo de esta sección.

2 SERVICIO 1. ESTABLECIMIENTO DE UN BANCO VIVO DE SEMILLAS (SEMILLERO) DE YUCA (*Manihot esculenta*) Y CAMOTE (*Ipomoea batatas*)

2.1 Objetivos

1. Establecer un banco vivo de semillas de los cultivos de yuca y camote, en la comunidad de Santa Cruz Quixayá, San Lucas Tolimán, Sololá.
2. Tener semilla de yuca y camote a disposición para el grupo de mujeres que conforman el sistema mixto en la comunidad de Santa Cruz Quixayá, San Lucas Tolimán, Sololá.

2.2 Metas

1. La principal meta de establecer un banco vivo de semillas es mantener la disponibilidad, para las familias que integran el sistema mixto, de semilla (vástagos y estolones) de yuca y camote durante todo el año.
2. Otra de las metas es poder dar un manejo cíclico a la pequeña área de cultivo destinada exclusivamente a la obtención de semilla de los cultivos de yuca y camote, para poder garantizar la disponibilidad de semilla en todo momento.

2.3 Metodología

El semillero se estableció en el terreno de doña Alberta Sicán, una de las socias del sistema mixto, para posteriormente llevar la semilla producida a cada una de las parcelas de las demás socias. Las principales actividades realizadas fueron las siguientes:

2.3.1 Limpieza y preparación del terreno

La primera fase del establecimiento del semillero se basó en la limpieza y preparación del terreno. Esta consistió en la eliminación de malezas, en primer lugar, y posteriormente la construcción de dos camellones de suelo, de 18 m de largo cada uno, en los que se incorporó parte de los residuos de maleza a manera de preparar dos túmulos de suelo suelto, apto para el desarrollo de las estructuras subterráneas de los cultivos.

2.3.2 Siembra

Una vez contruidos los dos camellones, se procedió a realizar la siembra de los esquejes de yuca y camote. Los vástagos de yuca y los estolones de camote (ambos con una longitud de 30 cm aproximadamente) se sembraron en surco separados, es decir, un surco para cada cultivo, y se dispusieron a una distancia de 40 cm entre cada esqueje, en una hilera simple.

En cada uno de los surcos se sembraron 44 vástagos de yuca y 44 estolones de camote respectivamente.

2.3.3 Rotulación de los surcos

La rotulación de los surcos se realizó con el objetivo de identificar cada uno de los cultivos establecidos en el banco de semillas. Para esta actividad se colocaron dos rótulos, uno para cada uno de los cultivos, la información de los rótulos constó en el nombre común y científico de cada cultivo, así como la fecha de siembra (ver figuras 33 y 34).

2.3.4 Manejo de los cultivos

El manejo de los cultivos quedó a cargo de las mujeres que conforman el grupo de productoras del sistema mixto de Santa Cruz Quixayá. Las principales actividades realizadas para el manejo del cultivo fueron: el riego (durante la época seca) y la eliminación de las malezas que pudieran crecer dentro de los surcos.

2.4 Recursos

- 2 surcos de 18 m cada uno
- 44 vástagos de yuca
- 44 estolones de camote
- Piochas y azadones
- Cámara fotográfica

2.5 Resultados

El banco vivo de semillas se estableció con dos surcos de cultivo, un surco de yuca y otro de camote, cada surco tuvo una longitud de 18 m. En uno de los surcos se sembraron 44 vástagos de yuca y en el otro 44 estolones de camote.

Según la FAO (2014), los bancos de semillas comunitarios ayudan a preservar las semillas de las variedades mejor adaptadas a la región donde se establecen. El establecimiento del banco vivo o semillero de yuca y camote se realizó con esta misma finalidad, es decir, dar el manejo a una pequeña área de estos cultivos y así poder preservar y tener la disponibilidad de semillas cuando éstas sean necesarias.

Las plantas se propagaron de forma asexual o vegetativa, ya que esta manera de reproducción es bastante sencilla y porque ofrece ventajas como la de ser más eficiente

cuando la reproducción sexual no es el método más viable o eficaz, propagar especies con semillas que presentan problemas de germinación o almacenamiento, cultivos que son de ciclo largo, aprovechar las características genéticas favorables, obtener plantaciones uniformes, entre otras (Rojas *et al.*, 2004).

En la figura 24 se observa el trabajo realizado por las socias del sistema mixto al finalizar el establecimiento del banco de semillas.



Figura 24. Fotografía tomada al finalizar de establecer el semillero de yuca y camote

2.6 Evaluación

Después de tres meses de haber establecido el semillero de yuca y camote, se observó el apareamiento de nuevos tallos en los cultivos. El desarrollo de nuevos tallos fue mucho más rápido en el cultivo de camote, mientras que el desarrollo de tallos en las plantas de yuca fue más lentamente.

El banco de semillas cumplió con la función de abastecer de semilla a las socias del sistema mixto, debido a la abundancia de tallos desarrollados por las plantas madre de yuca y camote. Hasta este momento el grupo de mujeres asociadas al sistema mixto dio uso al semillero, tomando una cantidad suficiente de semillas para poder llevarlas a sus propias parcelas.

3 SERVICIO 2. ESTABLECIMIENTO DE UN SISTEMA DE TUTORADO PARA HORTALIZAS BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO.

3.1 Objetivos

1. Establecer un sistema de tutorado para la producción de hortalizas bajo condiciones de invernadero en la comunidad Pacamán, Santiago Atitlán, Sololá.
2. Implementar el proceso de tutorado para la producción de los cultivos de pepino y tomate bajo condiciones de invernadero en la comunidad Pacamán, Santiago Atitlán, Sololá.

3.2 Metas

1. Instalar un sistema de tutorado para la producción de hortalizas bajo invernadero, que contribuya con la implementación de nuevas tecnologías en el área agrícola del CCDA para que los procesos productivos sean cada vez más eficientes y eficaces.
2. Promover la tecnología de producción de hortalizas bajo invernadero haciendo uso de la práctica de tutorado a manera de transferir tecnologías y fortalecer los conocimientos de las personas que conforman el grupo de la escuela de formación agrícola que fomenta el CCDA.

3.3 Metodología

La instalación del sistema de tutorado consistió en una serie de pasos sencillos de realizar. La metodología utilizada para la instalación de este sistema fue la que se describe a continuación:

3.3.1 Ahoyado

El ahoyado se realizó con una pala dúplex, perforando a una profundidad de 60 cm. El invernadero disponía de seis surcos. En cada surco se construyeron cinco agujeros, por consiguiente, dentro del invernadero se elaboraron 30 agujeros en total.

3.3.2 Preparación e inserción de los trozos de gravilea (*Grevillea robusta*)

Se utilizaron trozos de gravilea con un grosor promedio de 10 cm y una longitud de aproximadamente 3 m. La parte inferior de cada trozo (la que se insertó en el terreno) fue recubierta por una capa de nylon, esto para reducir el deterioro de éste. En la parte superior de cada trozo se insertó un clavo de 4 pulgadas, para poder sostener el eje principal (eje horizontal) del tutor.

3.3.3 Colocación del eje principal de rafia y las guías verticales

El eje principal del tutor, para cada surco, se construyó con una trenza de rafia con una longitud de aproximadamente 23 m. La figura 39 muestra el trenzado que se hizo en la rafia para construir un eje principal resistente.

Las guías verticales consistieron en pequeños segmentos de rafia simple (sin ser trenzada) que se colocaron sobre el eje principal separadas a una distancia de 40 cm, equivalente al distanciamiento entre plantas dentro de cada surco.

3.3.4 Tutorado de las plántulas de pepino (*Cucumis sativus*) y tomate (*Solanum lycopersicum*)

Una vez instalado el sistema de tutorado, se procedió a “tutorar” cada una de las plantas de pepino y tomate que yacían sembradas dentro del invernadero.

3.4 Recursos

- 30 trozos de gravilea
- Rafia
- Martillo y clavos
- Nylon
- Pala dúplex
- Cámara fotográfica

3.5 Resultados

La instalación del sistema de tutorado incluyó los seis surcos construidos dentro del invernadero, cada uno de 20 m de longitud. La fase inicial incluyó la producción de pepino y tomate.

El sistema de tutorado, no solamente mejora la estética de los cultivos dentro del invernadero, sino que tiene la ventaja de favorecer el rendimiento de los mismos. El estudio realizado por Olalde *et al.* (2014) acerca del sistema de tutorado sobre el rendimiento del cultivo de pepino, demostró que el cultivo tutorado con rafia puede ser una alternativa para obtener altos rendimientos.

En la figura 25 se muestra como quedó el sistema de tutorado dentro del invernadero al finalizar la instalación, además, muestra el resultado final de las plantas de pepino tutoradas.



Figura 25. Fotografía de las plantas de pepino tutoradas con el sistema instalado

3.6 Evaluación

El sistema de tutorado instalado se utilizó y resultó eficaz para sostener las plantas de los cultivos de pepino y tomate que fueron producidos bajo condiciones de invernadero.

Después de haber instalado el sistema de tutorado, se atendió la visita de un grupo de personas procedentes de San Pedro La Laguna, Sololá, quienes pudieron observar el funcionamiento y la simplicidad del sistema, lo que, según ellos, fue una buena e innovadora forma para producir, ya que no la habían visto antes. Esto permitió evaluar que

el trabajo realizado sirvió para compartir nuevas tecnologías con los grupos de personas quienes aprenden a través de las visitas que realizan a las instalaciones del CCDA.

4 SERVICIO 3. PRÁCTICA DE ENSILADO AGROECOLÓGICO EN SEMILLAS DE MAÍZ (*Zea mays* L.)

4.1 Objetivos

1. Ensilar grano de maíz mediante la práctica agroecológica de las candelas de parafina en la comunidad Pacamán, Santiago Atitlán, Sololá.
2. Determinar el contenido de humedad en las muestras tomadas de los lotes de maíz a ensilar.

4.2 Metas

1. Establecer una metodología sencilla y práctica para la conservación de granos de maíz, mediante una técnica agroecológica que sirva como una alternativa ante el uso de productos tóxicos a base de fosforo de aluminio, ya que estos afectan la calidad nutricional de los granos ensilados, por lo que constituye una fuente tóxica que atenta contra la salud de los usuarios (MAG, 1997).
2. Tener disponibilidad de maíz durante la época seca y poder abastecer a los socios del CCDA cuando la oferta de éste sea demasiada escasa y cuando el precio por quintal aumente, tratando ayudar a los socios a manera de proveerles un producto a un costo razonable, teniendo un margen de ganancia mínimo que ayude a las actividades operativas del granero.

4.3 Metodología

La metodología de conservación de semillas se realizó según la práctica agroecológica de las candelitas de parafina propuesta por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA, 2014).

4.3.1 Secado de los granos de maíz

El secado de grano se realizó bajo el sol, monitoreando el contenido de humedad regularmente para determinar cuando el grano llegase a un contenido de humedad entre 11% y 14%.

4.3.2 Determinación del contenido de humedad

El contenido de humedad dentro de la semilla de maíz ensilada, se determinó con un aparato medidor de humedad llamado *Moisture Tester G600* (ver figura 26). Para utilizar el aparato se seleccionó el nombre del grano que se deseaba analizar, luego se colocó una cantidad de maíz de aproximadamente 0.25 lb que posteriormente se introdujo dentro de la cámara del aparato. Una vez realizado este procedimiento, la máquina proyectó los datos de humedad y temperatura de la muestras. Este procedimiento realizó unas dos veces con el objetivo de obtener un dato más representativo.

4.3.3 Limpieza y llenado de los silos

La limpieza de los silos se realizó con el objetivo de eliminar residuos de polvo y otros residuos que pudieran estar presentes. Una vez realizado esto, se procedió a introducir el grano disponible en cada uno de los silos a utilizar. Mientras más lleno quedara el silo, mejor sería su conservación, ya que la cámara de oxígeno que las candelas deberían de

consumir sería menor; aunque en este caso, sólo se introdujo la cantidad de maíz disponible, es decir, que los silos no se llenaron en su totalidad.

4.3.4 Colocación de las candelas y sellado de los silos

La colocación de candelas es un paso sencillo y consta en introducir unos tres trozos de candela, de una longitud de aproximadamente 10 cm, adheridos a un recipiente metálico o de porcelana, ya que materiales plásticos podrían correr el riesgo de fundirse (derretirse) en el proceso. Los trozos de candelas se encendieron antes de sellar los silos, ya que la función de éstas fue la de consumir la cámara de oxígeno contenida dentro del silo, y con esto evitar el crecimiento y desarrollo de plagas dentro del grano almacenado.

Nota: Cada lote de maíz se almacenó en silos separados, debido a la diferencias en cuanto al contenido de humedad y calidades en el grano.

4.4 Recursos

- Silos de acero inoxidable
- Semilla de maíz
- Detector de contenido de humedad en semillas
- Candelas de parafina
- Cerillos (fósforos)
- Tape sellador
- Cámara fotográfica

4.5 Resultados

Los contenidos de humedad se tomaron en lotes separados, según la calidad del maíz (maíz de primera o maíz mulco⁵) y el tiempo en que estos lotes estuvieron bajo condiciones de secado. Los resultados se muestran en el cuadro 24.

Cuadro 24. Contenido de humedad en las muestras de maíz a ensilado

Muestra	Calidad	Contenido de humedad (%)			Cantidad/lote (qq)
		R1	R2	Promedio	
1	Primera	12.6	12.6	12.6	4.0
2	Primera	13.3	13.7	13.5	11.0
3	Primera	14.7	14.4	14.6	9.5
4	Mulco	14.1	13.7	13.9	5.5
				Total	30.0

Según la SAGARPA (2014), un contenido de humedad adecuado para el almacenamiento de granos debe ser menor al 12%. Los contenidos de humedad en las muestras de los lotes de maíz ensilados no se alejan a los contenidos adecuados que recomienda la literatura.

⁵ El maíz mulco es el grano más pequeño y de menor calidad.

En la figura 26 se presenta la lectura de una de las muestras de maíz mientras se determinaba el contenido de humedad.



Figura 26. Fotografía de la lectura del contenido de humedad en una muestra de maíz

La cantidad total de maíz almacenado con la práctica agroecológica de las candelitas de parafina fue de 30 quintales, incluyendo las diferentes calidades que aparecen en el cuadro 24; maíz de primera con diferentes contenidos de humedad y maíz mulco.

La figura 27 muestra uno de los lotes de maíz antes de sellar el silo donde se almacenó, justo en el momento cuando se colocaban las candelas de parafina encendidas.



Figura 27. Fotografía de las candelas colocadas en la superficie del maíz almacenado

4.6 Evaluación

Después de haber ensilado el maíz, se realizó un monitoreo semanal con el objetivo de verificar la sanidad del grano, es decir, determinar la presencia o ausencia de plagas en los granos almacenados tales como: gorgojo del maíz, palomillas o el desarrollo de algunos mohos que atacan los granos.

Los muestreos semanales indicaron que la calidad del maíz se conservó tal como cuando se ensiló, por lo tanto la práctica agroecológica de las candelitas de parafina resultó ser eficaz para la conservación intacta del maíz almacenado.

El maíz ensilado se guardó únicamente durante un mes, debido a que tuvo que comercializarse, pero al final de este período no se encontraron problemas de gorgojos, palomillas o mohos, por lo que se comprobó la efectividad del método utilizado.

La práctica de ensilado agroecológico de maíz se realizó como un ensayo preliminar y se ejecutó para demostrar el procedimiento a un pequeño grupo de personas. Los productores pueden replicarlo en sus casas o terrenos siempre y cuando cuenten con un silo metálico para el efecto.

5 BIBLIOGRAFÍA

1. FAO, IT. 2014. Bancos de semillas comunitarias, escuelas de campo y de vida para jóvenes agricultores. Roma, Italia. 30 p.
2. IICA, NI. 2014. Uso de candelitas para almacenar granos en silos sin usar pesticidas (en línea). Nicaragua. Consultado 22 oct 2015. Disponible en <http://bit.ly/29E7PYH>
3. MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, San Salvador, SV). 1997. Guía para el manejo adecuado de plaguicidas y primeros auxilios en caso de intoxicaciones. San Salvador, El Salvador. 43 p.
4. Olalde, V; Mastache, Á; Carreño, E; Martínez, J; Ramírez, M. 2014. El sistema de tutorado y poda sobre el rendimiento de pepino en ambiente protegido. Guerrero, México, Colegio Superior Agropecuario del Estado de Guerrero. 6 p.
5. Rojas, S; García, J; Alarcón, M. 2004. Propagación asexual de plantas. Bogotá, Colombia, Editorial Produmedios. 56 p.
6. SAGARPA (Secretaría General de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, MX). 2014. Almacenamiento y conservación de granos y semillas: secado. Texcoco, México. 8 p.

6 ANEXOS



Fuente: propia, 2015

Figura 28A. Fotografía de la semilla de yuca utilizada para el semillero



Fuente: propia, 2015

Figura 29A. Fotografía de la semilla de camote utilizada para el semillero



Fuente: propia, 2015

Figura 30A. Fotografía de la limpieza del terreno donde se estableció el semillero



Fuente: propia, 2015

Figura 31A. Fotografía de la preparación de los surcos para el semillero de yuca y camote



Fuente: propia, 2015

Figura 32A. Fotografía de la siembra de los vástagos de yuca



Fuente: propia, 2015

Figura 33A. Fotografía del rótulo elaborado para el semillero de yuca



Fuente: propia, 2015

Figura 34A. Fotografía del rótulo elaborado para el semillero de camote



Fuente: propia, 2015

Figura 35A. Fotografía de los materiales utilizados para el sistema de tutorado



Fuente: propia, 2015

Figura 36A. Fotografía de la construcción de los agujeros para el sistema de tutorado



Fuente: propia, 2015

Figura 37A. Fotografía al colocar la capa protectora de nylon sobre los trozos de gravilea



Fuente: propia, 2015

Figura 38A. Fotografía de la inserción de los trozos de gravilea dentro de los agujeros



Fuente: propia, 2015

Figura 39A. Fotografía del trenzado del eje principal de rafia



Fuente: propia, 2015

Figura 40A. Fotografía del eje principal de rafia trenzada



Fuente: propia, 2015

Figura 41A. Fotografía al introducir la muestra de maíz en el medidor de humedad



Fuente: propia, 2015

Figura 42A. Fotografía del proceso de llenado del silo



Fuente: propia, 2015

Figura 43A. Fotografía al encender las candelas de parafina



Fuente: propia, 2015

Figura 44A. Fotografía del sellado de la tapa superior del silo metálico utilizado