



**CENTRO AGRONÓMICO TROPICAL  
DE INVESTIGACIÓN Y ENSEÑANZA**

**DIVISIÓN DE EDUCACIÓN**

**PROGRAMA DE POSGRADO**

**Análisis beneficio-costo y co-beneficios de la implementación de medidas de adaptación de pequeños productores de maíz (*Zea mays*) en Camotán, Chiquimula, Guatemala**

**Tesis sometida a consideración de la División de Educación y el Programa de Posgrado como requisito para optar por el grado de *Magister Scientiae* en Economía, Desarrollo y Cambio Climático**

**Jesúa Roberto Reyna Méndez**

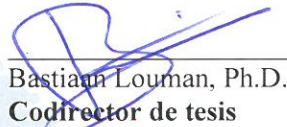
**TURRIALBA, COSTA RICA**

**2018**

Esta tesis ha sido aceptada en su presente forma por la División de Educación y la Escuela de Posgrado del CATIE y aprobada por el Comité Consejero del estudiante, como requisito parcial para optar por el grado de

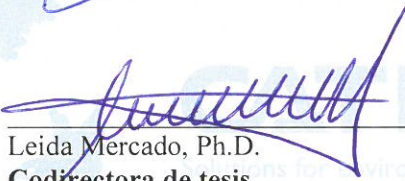
**MAGISTER SCIENTIAE EN ECONOMÍA, DESARROLLO  
Y CAMBIO CLIMÁTICO**

**FIRMANTES:**



---

Bastiaan Louman, Ph.D.  
**Codirector de tesis**




---

Leida Mercado, Ph.D.  
**Codirectora de tesis**



---

Ney Ríos, M.Sc.  
**Miembro Comité Consejero**



---

Isabel A. Gutiérrez-Montes, Ph.D.  
**Decana Escuela de Posgrado**



---

Jesús Roberto Reyna Méndez  
**Candidato**

## **DEDICATORIA**

A Dios por iluminar mi camino, darme serenidad en los momentos difíciles y ser el pilar de mi vida.

A mis padres Haydee Méndez y Roberto Reyna (q.e.p.d.) por su amor, orientación y apoyo incondicional en las decisiones que he tomado hasta hoy.

A mi hermano Pablo Reyna, con quien cuento hoy y el resto de mi vida.



## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad de San Carlos y al pueblo de Guatemala, por haber permitido formarme para ser un profesional de la ingeniería con vocación humana.

Al Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, por haber permitido romper mis paradigmas y ampliar mis horizontes profesionales.

Al Servicio Alemán de Intercambio Académico, por haber confiado en mi capacidad otorgándome el financiamiento para realizar el programa de maestría.

Al Programa Ambiental Mesoamericano, por haber permitido la realización de esta investigación dentro el marco de su programa, su apoyo económico y logístico.

A la Mancomunidad Copán-Chortí, por su disposición y apoyo durante la realización del trabajo de campo.

A las personas de la Libertad, Camotán, por su apoyo y disposición a participar en la investigación y compartir sin recelo su conocimiento y su experiencia.

A Bastiaan Louman, Leida Mercado y Ney Ríos, por su amistad, apoyo, asesoramiento, y acompañamiento en la realización de esta investigación.

A Gabriel Suchini por su amistad, el tiempo, disposición y apoyo durante la realización de la fase de campo.

A Eduardo Corrales y Alejandra Ospina, por su apoyo en la parte estadística de esta investigación.

A mis amigos y amigas Natalia Ruiz, Lourdes Maldonado, Laura Escarraga, Pablo Chacón, José Godoy, Melvin Navarro, Carlos Rodríguez, Sebastián Huacash, Roberto Zúñiga, Paolo Xiu, Carlos Morán, Dorian Carvajal, Camilo Vélez, Dulcinea Salas, Grace Cobos, María Rosa Ugaz, Isis Chaves, Carlos Palacios, Jessica Merecí y Khamila Oreilly, por su amistad y apoyo durante estos dos años de maestría.

A mi padrino Giovanni Tobar, por su amistad, consejo, y apoyo en mi carrera profesional.



## CONTENIDO

DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	v
CONTENIDO .....	vii
LISTA DE FIGURAS.....	x
LISTA DE CUADROS.....	xi
LISTA DE ACRÓNIMOS .....	xiii
1. INTRODUCCIÓN Y SÍNTESIS GENERAL DE LA TESIS.....	1
1.1 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	1
1.2 OBJETIVOS .....	2
1.2.1 Objetivo general .....	2
1.2.2 Objetivos específicos .....	2
1.3 HIPÓTESIS .....	3
1.4 MARCO REFERENCIAL.....	3
1.4.1 Cambio climático .....	3
1.4.2 Adaptación y mitigación al cambio climático .....	5
1.4.3 La agricultura y la seguridad alimentaria y nutricional .....	7
1.4.4 Cultivo de maíz .....	9
1.4.5 Prácticas agrícolas climáticamente inteligentes.....	11
1.4.6 Corredor seco Nor-oriental .....	14
1.4.7 Suelos.....	14
1.4.8 Servicios ecosistémicos .....	15
1.4.9 Análisis beneficio-costo .....	16
1.5 PRINCIPALES RESULTADOS .....	17
1.6 PRINCIPALES CONCLUSIONES.....	17
1.7 LITERATURA CITADA .....	18
2. ARTICULOS CIENTÍFICOS.....	27
2.1 ARTÍCULO I. Efecto de las prácticas promisorias de la agricultura climáticamente inteligentes: árboles dispersos con rastrojos, árboles dispersos y manejo de rastrojos utilizadas en el cultivo de maíz (Zea mays) con tres tipos de fertilización sobre la humedad del suelo en La Libertad, Camotán, Chiquimula .....	27
2.2 Introducción .....	28
2.3 Materiales y métodos.....	30
2.3.1 Localización.....	30
2.3.2 Descripción de los suelos.....	30

2.3.3	Descripción del clima.....	31
2.3.4	Diseño experimental.....	32
2.3.5	Descripción de las prácticas.....	32
2.3.6	Descripción de la siembra.....	34
2.3.7	Descripción de la fertilización.....	34
2.3.8	Parámetros del suelo.....	35
2.3.9	Parámetros de humedad.....	35
2.4	Resultados.....	36
2.4.1	Análisis de parámetros del suelo.....	36
2.4.2	Análisis de porcentaje de humedad.....	38
2.5	Discusión.....	39
2.6	Conclusiones.....	42
2.7	Bibliografía.....	42
3.	ARTÍCULO II. Análisis beneficio-costo de prácticas promisorias de la agricultura climáticamente inteligente: árboles dispersos con rastrojos, árboles dispersos y manejo de rastrojos utilizadas en el cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> ) con tres tipos de fertilización en La Libertad, Camotán, Guatemala.....	51
3.1	Introducción.....	53
3.2	Materiales y métodos.....	56
3.2.1	Localización.....	56
3.2.2	Descripción socioeconómica de las familias.....	56
3.2.3	Diseño experimental.....	57
3.2.4	Rendimiento.....	57
3.2.5	Pilares de la agricultura climáticamente inteligente.....	57
3.2.6	Supuestos para el análisis económico.....	58
3.2.7	Estructura de costos e ingresos.....	59
3.3	Resultados.....	61
3.3.1	Evaluación de las prácticas según los pilares de la agricultura climáticamente inteligente.....	61
3.3.2	Análisis de rendimientos.....	62
3.3.3	Análisis económico.....	65
3.3.4	Análisis B/C, VPN y PRI.....	66
3.3.5	Análisis de sensibilidad.....	66
3.4	Discusión.....	68
3.5	Conclusiones.....	75
3.6	Bibliografía.....	76



4.	CAPÍTULO III. RESULTADOS E INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA .....	83
4.1	Costos e ingresos (quetzales) por medida de adaptación para el cultivo de maíz para un periodo de 10 años en Camotán, Chiquimula, Guatemala .....	83
4.2	Costos e ingresos (quetzales) por medida de adaptación considerando únicamente el ingreso por el cultivo del maíz durante un periodo de 10 años en Camotán, Chiquimula, Guatemala ..	84
4.3	Análisis de prácticas de agricultura climáticamente inteligente con indicadores sociales (productores) en Camotán, Chiquimula, Guatemala .....	86
4.4	Análisis de prácticas agrícolas climáticamente inteligentes con indicadores sociales (profesionales) en Camotán, Chiquimula, Guatemala .....	87
4.5	Prácticas agrícolas climáticamente inteligentes priorizadas con criterios sociales de profesionales y productores en Camotán, Chiquimula, Guatemala .....	88
4.6	Indicadores sociales priorizados para la utilización en la promoción de prácticas climáticamente inteligentes por profesionales y productores en Camotán, Chiquimula, Guatemala .....	89
4.7	Valoración de pilares de la agricultura climáticamente inteligente para cultivos de granos básicos enfocado al corredor seco, Chiquimula, Guatemala .....	90
4.8	Desempeño de prácticas agrícolas climáticamente inteligentes en granos básicos enfocado en el corredor seco nor-oriental, Chiquimula, Guatemala .....	91
4.9	Valoración de cinco criterios de prácticas agrícolas climáticamente inteligentes en cultivo de granos básicos enfocado en el corredor seco nor-oriental, Chiquimula, Guatemala .....	92

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Marco para evaluar los impactos del cambio climático sobre la cantidad y calidad del agua y los sistemas de producción agrícola .....	7
Figura 2.	Etapas fenológicas del cultivo del maíz.....	10
Figura 3.	Proceso de transformación de agricultura tradicional hacia agricultura climáticamente inteligente .....	11
Figura 4.	Mapa de localización de La Libertad, Camotán, Chiquimula, Guatemala.....	30
Figura 5.	Climograma de Camotán, Chiquimula, Guatemala para el periodo 1990-2017 .....	31
Figura 6.	Precipitación anual en milímetros y días de Camotán, Chiquimula, Guatemala durante el periodo 1990-2017 .....	31
Figura 7.	Anomalías anuales de precipitación (%) en Camotán, Chiquimula, Guatemala durante el periodo 1990-2017 .....	32
Figura 8.	Componentes principales de las propiedades físicas y químicas del suelo en cultivos de maíz en Camotán, Chiquimula, Guatemala .....	36
Figura 9.	Porcentaje de humedad del suelo dentro del período de canícula en cultivos de maíz en Camotán, Chiquimula, Guatemala .....	38
Figura 10.	Porcentaje de humedad del suelo fuera del período de canícula en cultivos de maíz en Camotán, Chiquimula, Guatemala.....	39
Figura 11.	Mapa de localización de La Libertad, Camotán, Chiquimula, Guatemala.....	56
Figura 12.	Estructura de costos de las prácticas aplicadas al cultivo de maíz por productores de Camotán, Chiquimula, Guatemala.....	60
Figura 13.	Componente de ingresos de las prácticas aplicadas al cultivo de maíz por productores Camotán, Chiquimula, Guatemala .....	61
Figura 14.	Evaluación de los pilares de las prácticas de agricultura climáticamente inteligente aplicadas en el cultivo de granos básicos en el corredor seco nor-oriental, Chiquimula, Guatemala .....	62
Figura 15.	Rendimientos del cultivo de maíz por tipo de fertilización en Camotán, Chiquimula, Guatemala. ....	62
Figura 16.	Rendimientos del cultivo de maíz por práctica y fertilización en Camotán, Chiquimula, Guatemala .....	63
Figura 17.	Rendimientos del cultivo de maíz por práctica aplicada y con fertilización convencional en el periodo 2012-2017 en Camotán, Chiquimula, Guatemala.....	64
Figura 18.	Rendimientos de maíz por práctica y textura del suelo en cultivos de maíz de Camotán, Chiquimula, Guatemala.....	64
Figura 19.	Variación en el precio del maíz blanco de primera respecto al promedio del período 1998-2017.....	71
Figura 20.	Indicadores sociales de prácticas empleadas en cultivos de granos básicos (productores) en Camotán, Chiquimula, Guatemala .....	86

Figura 21.	Indicadores sociales de prácticas empleadas en cultivos de granos básicos (profesionales) en Camotán, Chiquimula, Guatemala .....	87
Figura 22.	Priorización de prácticas agrícolas climáticamente inteligentes por indicadores sociales en Camotán, Chiquimula, Guatemala .....	88
Figura 23.	Indicadores sociales para las prácticas agrícolas climáticamente inteligentes en cultivos de granos básicos en Camotán, Chiquimula, Guatemala .....	89
Figura 24.	Pilares de prácticas agrícolas climáticamente inteligentes en cultivos de granos básicos en Camotán Chiquimula, Guatemala .....	91
Figura 25.	Valoración de criterios de prácticas agrícolas climáticamente inteligentes en cultivo de granos básicos .....	92

### **LISTA DE CUADROS**

Cuadro 1.	Impactos potenciales y riesgos del cambio climático en América Latina .....	4
Cuadro 2.	Distribución de los hogares agropecuarios según tipología 2000, 2006 y 2011, según la Encuesta Nacional Agropecuaria 2015, Guatemala .....	9
Cuadro 3.	Daños en la producción de maíz por canícula prolongada 2014 y 2015 en Guatemala .....	9
Cuadro 4.	Descripción de las prácticas utilizadas por los productores, Camotán, Chiquimula, Guatemala	33
Cuadro 5.	Características del suelo en cultivos de maíz en Camotán, Chiquimula, Guatemala.....	37
Cuadro 6.	Escenarios para el análisis de sensibilidad económica considerado para la evaluación del rendimiento del cultivo de maíz en Camotán, Chiquimula, Guatemala .....	59
Cuadro 7.	Medias y desviaciones estándar de los rendimientos de cultivos de maíz por práctica y fertilización (lb/ha) en Camotán,Chiquimula, Guatemala.....	65
Cuadro 8.	Relación ingresos y costos de las medidas de adaptación en maíz para 10 años (Q/ha) .....	65
Cuadro 9.	Resultados del análisis económico de las medidas de adaptación en cultivos de maíz en Camotán, Chiquimula, Guatemala .....	66
Cuadro 10.	Análisis de sensibilidad de las medidas de adaptación en cultivos de maíz bajo los escenarios normal, optimista, pesimista y con tasa de descuento alta en Camotán, Chiquimula, Guatemala.....	67
Cuadro 11.	Análisis de sensibilidad de las medidas de adaptación considerando únicamente el ingreso por la producción de maíz bajo los escenarios normal, optimista, pesimista y con tasa de descuento alta.....	68
Cuadro 12.	Meses de reserva de grano de maíz de los productores de La Libertad, Camotán, Chiquimula, Guatemala .....	71
Cuadro 13.	Indicadores económicos para la producción de granos básicos en la región del Trifinio (hectárea) .....	73
Cuadro 14.	Costos (quetzales) por medidas de adaptación en cultivos de maíz para un periodo de 10 años en Camotán, Chiquimula, Guatemala .....	83

Cuadro 15.	Ingresos (quetzales) por medidas de adaptación en cultivos de maíz para un periodo de 10 años en Camotán, Chiquimula, Guatemala.....	83
Cuadro 16.	Diferencia entre ingresos y costos (quetzales) por medidas de adaptación en cultivos de maíz para un periodo de 10 años en Camotán, Chiquimula, Guatemala .....	84
Cuadro 17.	Costos (quetzales) por medidas de adaptación en el cultivo de maíz durante un periodo de 10 años en Camotán, Chiquimula, Guatemala.....	84
Cuadro 18.	Ingresos (quetzales) por medidas de adaptación considerando únicamente el ingreso por el cultivo de maíz durante un periodo de 10 años en Camotán, Chiquimula, Guatemala .....	85
Cuadro 19.	Diferencia entre ingresos y costos (quetzales) por medidas de adaptación considerando únicamente el ingreso por el cultivo de maíz para un periodo de 10 años en Camotán, Chiquimula, Guatemala.....	85
Cuadro 20.	Evaluación de prácticas agrícolas climáticamente inteligentes con indicadores sociales (productores) en Camotán, Chiquimula, Guatemala .....	86
Cuadro 21.	Evaluación de prácticas agrícolas climáticamente inteligentes por indicadores sociales (profesionales) en Camotán, Chiquimula, Guatemala .....	87
Cuadro 22.	Resumen de priorización de prácticas agrícolas climáticamente inteligentes por indicadores sociales en Camotán, Chiquimula, Guatemala.....	88
Cuadro 23.	Ponderación de indicadores sociales señalados por productores y profesionales en Camotán, Chiquimula, Guatemala.....	89
Cuadro 24.	Valoración de pilares de la agricultura climáticamente inteligente para cultivos de granos básicos .....	90

## LISTA DE ACRÓNIMOS

%	Porcentaje
ACI	Agricultura climáticamente inteligente
Acicafoc	Asociación Coordinadora Indígena y Campesina de Agroforestería Comunitaria Centroamericana
ANAVA	Análisis de varianza
B/C	Beneficio/Costo
Banguat	Banco de Guatemala
CATIE	Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza
CCAFS	Programa de Investigación en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria
Cd	Grados Celsius por día
CEPAL	Comisión Económica para América Latina y El Caribe
CGIAR	Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical
Concyt	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GWP	Global Water Partnership
ha	hectáreas
ICTA	Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola
INE	Instituto Nacional de Estadística
IPCC	Panel Intergubernamental de Cambio Climático
kg	kilogramo
MAGA	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación
MAP	Programa Agroambiental Mesoamericano
MCO	Mínimos cuadrados ordinarios
mz	manzana
°C	grados Celsius
PH	Pondos Hydrogennii
PIB	Producto Interno Bruto
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
ppm	partes por millón
PRI	Período de recuperación de inversión
qq	Quintales
R <sup>2</sup>	Coefficiente de determinación
RCP	Trayectorias de concentración representativas
Segeplan	Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, Guatemala
Semarnat	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México
Sesan	Secretaría de Seguridad Alimentaria y Nutricional de la Presidencia de la República, Guatemala
TIR	Tasa interna de retorno

UICN	Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza
UN	Naciones Unidas
UNEP	Programa Ambiental de las Naciones Unidas
Unete	Equipo Técnico de Emergencias de las Naciones Unidas
Unocha	Oficina para la Coordinación de Asuntos Humanitarios
USD	Dólar estadounidense
USDA	Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
VPN	Valor presente neto

## RESUMEN

El cambio climático representa una amenaza y una oportunidad para los pequeños productores que dependen de la agricultura de secano. Por ello, se han multiplicado los esfuerzos que buscan fortalecer sus capacidades y diversificar sus medios de vida para que puedan mejorar su bienestar, adaptarse al cambio climático y contribuir a su mitigación. La presente investigación se llevó a cabo en la comunidad La Libertad, del municipio Camotán, departamento de Chiquimula, Guatemala, y se enmarcó en el Programa Agroambiental Mesoamericano (MAP-Noruega) que fue implementado por el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). El fin de esta investigación fue el de evaluar los beneficios económicos y los co-beneficios derivados de la conservación de suelos por la implementación de tres prácticas promisorias de agricultura climáticamente inteligente en el sistema de granos básicos. Se establecieron nueve parcelas con las siguientes prácticas: árboles dispersos y manejo de rastrojos (AD+MR), árboles dispersos (AD) y manejo de rastrojos (MR). Cada parcela se dividió de acuerdo a tres tipos de fertilización: convencional (FC), que consistió en la aplicación de urea en una dosis reducida (1qq/ha), orgánica (FO), con la aplicación de lombricompost y química (FQ), con las dosis recomendadas por los agroservicios (4 qq de 20-20-0, 4 qq de triple 15 y 4 qq de urea). El cultivo de estudio fue el maíz y se utilizó la variedad mejorada ICTA B-7 resistente a sequías. Se realizó un análisis de componentes principales del cual se determinó que existe una correlación entre los parámetros físicos y químicos con la textura del suelo, más que por la utilización de las diferentes prácticas. Se utilizaron modelos lineales generales y mixtos para evaluar las diferencias en el porcentaje de humedad y en los rendimientos. No se observaron efectos en el porcentaje de humedad del suelo debido a las diferentes prácticas ni a los diferentes tipos de fertilización, posiblemente debido al reducido número de parcelas y al incremento en el volumen de precipitación observado durante el período de canícula; sin embargo, se observó una tendencia hacia un mayor porcentaje de humedad en el suelo de las parcelas que incluían árboles respecto a las que no los incluían. Las parcelas con fertilización química y fertilización orgánica presentaron diferencias en rendimientos sobre la fertilización convencional ( $P=0,03$ ). Sin embargo, no se evidenció diferencias en los rendimientos entre los diferentes tipos de manejo. Se realizó un análisis beneficio/costo (B/C) y se estimó el valor presente neto (VPN) y el período de retorno de la inversión (PRI) de las nueve medidas de adaptación, las cuales incluyen: las diferentes prácticas en combinación con los diferentes tipos de fertilización utilizando semilla mejorada y la media de los rendimientos. Las medidas de árboles dispersos con rastrojos, árboles dispersos y manejo de rastrojos con el tipo de fertilización convencional presentaron la relación B/C más altas con 2,27, 2,03 y 1,75 respectivamente, utilizando una tasa de descuento de 5,38% para un período de 10 años, con los datos extrapolados a 1 ha. Las relaciones B/C más bajas correspondieron a las parcelas con fertilización orgánica debido a los altos costos del lombricompost.

## ABSTRACT

Climate change represents a threat and an opportunity for small producers who depend on rain-fed agriculture. For this reason, efforts have been multiplied to strengthen their capacities and diversify their livelihoods, so that they can improve their well-being, adapt to climate change and contribute to its mitigation. The present investigation was carried out in the community of La Libertad, municipality of Camotán, department of Chiquimula, Guatemala, and is part of the Mesoamerican Agro-Environmental Program (MAP-Norway) that was implemented by the Tropical Agricultural Research and Higher Education Center (CATIE). The purpose of this research was to evaluate the economic benefits and co-benefits derived from soil conservation through the implementation of three promising practices of climate-smart agriculture in the basic grains system. Nine plots were established with the following practices: scattered trees and maize residues (AD + MR), scattered trees (AD), and maize residues management (MR). Each plot was divided according to three types of fertilization: conventional fertilization (FC), which consisted of the application of urea in a reduced dose (1qq / ha), organic fertilization (FO), with the application of vermicompost, and chemical fertilization (FQ), with the doses recommended by the agro-services (4 qq of 20-20-0, 4 qq of triple 15, and 4 qq of urea). The study crop was maize and the improved variety ICTA B-7 drought resistant was used. A Principal Component Analysis was carried out, that determined there is a correlation between physical and chemical parameters with the texture of the soil, rather than by the use of different practices. Generalized linear mixed models were used to evaluate the differences in moisture percentage and maize yields. No effects were observed in the soil moisture percentage due to the different practices, nor to the different types of fertilization, possibly due to the reduced number of plots and the increase in the volume of precipitation observed during the period of heat, however, there was a tendency towards a greater percentage of soil moisture in the plots that included trees with respect to those that did not include them. The plots with chemical fertilization and organic fertilization presented differences in yields over conventional fertilization ( $P=0.03$ ), however, no differences in the yields between the different types of management were evidenced. A benefit/cost ratio analysis (BCR) was carried out, and the net present value (NPV) and the Payback Period (PB) were estimated using the average of the yields of the nine adaptation measures, which include: the different practices in combination with the different types of fertilization using improved seed. The measures of scattered trees with maize residues, and scattered trees with the conventional type of fertilization, presented the highest B/C with 2.27, 2.03, and 1.75 respectively using a discount rate of 5.38% for a period of 10 years, with the data extrapolated to 1 ha. The lowest B/C corresponded to organic fertilization due to the high costs of the vermicompost.



## CAPÍTULO I

### 1. INTRODUCCIÓN Y SÍNTESIS GENERAL DE LA TESIS

#### 1.1 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El IPCC (2014a) define las variaciones climáticas como los cambios respecto a las medias de las condiciones climáticas observadas en un período de 30 años y los eventos climáticos extremos como aquellos sucesos que tienen una probabilidad baja de ocurrencia, tales como sequías, inundaciones y huracanes. Tales sucesos han sido alterados por el incremento de los gases de efecto invernadero y han provocado que estos fenómenos sean cada vez más frecuentes e intensos desde 1970, afectando especialmente a los países que se encuentran en condiciones de vulnerabilidad, tanto por su ubicación geográfica como por su capacidad adaptativa y de respuesta (UICN y Acicafoc 2009; Cifuentes 2010).

Para Latinoamérica, esta situación representa grandes desafíos para la agricultura, la disponibilidad de agua, el combate a la pobreza, la conservación de la biodiversidad y la salud de los seres humanos (CEPAL 2015).

La agricultura es uno de los sectores más afectados por los cambios en el clima, afectando los ciclos de cultivo debido a las variaciones de precipitación y temperatura, alteraciones fisiológicas de los cultivos, degradación de suelos e incendios (UICN y Acicafoc 2009), lo cual puede variar entre regiones (Altieri *et al.* 2015). Este proceso ha sido evidente en el corredor seco centroamericano con la presencia de sequías, lo que ha llevado a pérdidas de gran magnitud en la producción agropecuaria con un impacto mayor en las familias en condiciones de infrasubsistencia y subsistencia (INE 2015a), afectando su seguridad alimentaria y nutricional (FAO 2010b; Sesan 2014). Los agricultores que se encuentran en estas condiciones, regularmente utilizan variedades criollas de maíz, usan una densidad de cultivo baja y un manejo inadecuado, lo que reduce su productividad (Bolaños 2014) y los hace menos resiliente al cambio climático.

Considerando las necesidades y dificultades actuales y futuras bajo los diferentes escenarios que presenta el IPCC ante el cambio climático, es imperativo realizar los cambios que permitan la transición de un modelo de crecimiento a un modelo de desarrollo sostenible que sea más equitativo y compatible con el medio ambiente (CEPAL 2016). La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura (FAO), el Centro Agronómico de Investigación y Enseñanza (CATIE) a través del Programa Agroambiental Mesoamericano (MAP), y el programa Investigación en Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria (CCAFS) del Consultative Group on International Research (CGIAR, por sus siglas en inglés) y muchas otras instituciones han invertido en el estudio e investigación del enfoque de la agricultura climáticamente inteligente, fundamentada en tres pilares: **productividad**, con el fin de incrementar los rendimientos de los cultivos y diversificar los sistemas productivos de los productores a través de la implementación de prácticas de bajo costo y amigables con el medio ambiente; la **adaptación**, para hacer más resilientes los sistemas productivos a eventos climáticos extremos y la **mitigación**, con la reducción y/o captura de gases de efecto invernadero (GEI) producidos en las actividades agrícolas. De esa forma se busca garantizar la seguridad alimentaria y nutricional (SAN),

promover la adaptación y mitigar los gases de efecto invernadero en el sector agrícola, facilitando la reducción de la pobreza con un enfoque de equidad de género, conservación de servicios ecosistémicos y reducir la vulnerabilidad al cambio climático (FAO 2010a; FAO y MARN 2012; MAP 2013; Lipper *et al.* 2014; CCAFS *et al.* 2015a; CCAFS *et al.* 2015b).

En el territorio del Trifinio, ubicado entre las fronteras de Guatemala, Honduras y El Salvador, los granos básicos, principalmente maíz y frijol, representan la base de la dieta de las familias de pequeños productores, por lo que estos cultivos se encuentran presente en la mayoría de las fincas como cultivos principales y son de gran importancia para la seguridad alimentaria y nutricional. En el marco del estudio "Priorización de inversiones en agricultura climáticamente inteligente (ACI)" del MAP-Noruega, se definieron cuatro sistemas productivos para los cuales se priorizaron prácticas promisorias; de esas prácticas se evaluaron los tres pilares mencionados anteriormente para determinar su nivel de inteligencia climática y se realizó un análisis económico para determinar su rentabilidad. De los cuatro sistemas productivos, en el de granos básicos se priorizaron y evaluaron las prácticas ACI de labranza mínima, leguminosas con maíz, selección de semillas, no quema y manejo de rastrojos, árboles dispersos, barreras viva, y manejo postcosecha (Villarreyña Acuña *et al.* 2016).

En esta investigación se pretende generar información adicional de las prácticas de árboles dispersos, no quema y manejo de rastrojos y determinar el efecto de adicionalidad para los tres pilares de la ACI al utilizar ambas prácticas en cultivos de maíz, determinar su eficiencia económica y demostrar la existencia de un efecto en la retención de la humedad del suelo, debido a que es el principal medio de subsistencia para las familias del territorio, especialmente en el área de Camotán, departamento de Chiquimula, Guatemala. En esta región, aproximadamente el 92% de la población tiene como principal medio de vida la agricultura, se encuentran en condiciones de vulnerabilidad alta por formar parte del corredor seco nor-oriental de Guatemala, caracterizado por la presencia de productores de subsistencia e infrsubsistencia, con poco acceso a capital y que han padecido pérdidas en sus cosechas por sequías, comprometiendo su seguridad alimentaria (FAO 2010b; Sesan 2014).

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo general**

Determinar los beneficios económicos y los co-beneficios en el suelo derivados de la implementación de prácticas promisorias de la agricultura climáticamente inteligente en maíz, utilizando tres tipos de fertilización (convencional, química y orgánica) en la comunidad La Libertad, Municipio Camotán, Departamento de Chiquimula.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Identificar el efecto de las prácticas promisorias de la agricultura climáticamente inteligentes seleccionadas (manejo de rastrojos, árboles dispersos, y árboles dispersos con rastrojos) en

maíz cultivado en suelos con diferentes características físicas y químicas y su relación específica con el parámetro de humedad del suelo en dos tiempos distintos.

- Determinar las diferencias en el rendimiento del maíz producto del uso de las diferentes prácticas promisorias de la agricultura climáticamente inteligente con fertilización convencional, química y orgánica.
- Demostrar la eficiencia económica de las prácticas agrícolas climáticamente inteligentes seleccionadas a través del análisis beneficio-costo.

### **1.3 HIPÓTESIS**

- Las tres prácticas agrícolas tienen diferentes efectos sobre las características y la humedad del suelo.
- El rendimiento del maíz difiere con el empleo de las prácticas de árboles dispersos con rastrojos, árboles dispersos y manejo de rastrojos.
- El rendimiento del maíz difiere con la utilización de fertilización orgánica, fertilización química y fertilización convencional.
- La interacción entre las diferentes prácticas y los diferentes tipos de fertilización tienen un efecto sobre el rendimiento del maíz.
- El uso de prácticas promisorias de la agricultura climáticamente inteligente genera una tasa beneficio/costo mayor a uno.

### **1.4 MARCO REFERENCIAL**

#### **1.4.1 Cambio climático**

El IPCC (2014e) define el cambio climático como la variación del estado del clima persistente durante largos períodos de tiempo, el cual es atribuido directa o indirectamente a causas antropocéntricas (UN 1992), en particular, debido al incremento de las emisiones de gases efecto invernadero (GEI) (IPCC 2014d).

A partir de la revolución industrial, con el modelo de crecimiento dependiente del consumo de combustibles fósiles (UICN y Acicafoc 2009), las variaciones en las condiciones climáticas más evidentes se dan en la temperatura de la superficie y el incremento en el nivel del mar, las cuales están relacionadas con los incrementos de GEI (IPCC 2014d). Estos cambios derivan en eventos climáticos

extremos, como olas de calor, sequías, inundaciones, ciclones e incendios forestales, revelando la vulnerabilidad y exposición a esta variabilidad (IPCC 2014d).

En Latinoamérica, a pesar de que los impactos en la región son heterogéneos (CEPAL 2015), el cambio climático plantea desafíos respecto a la disponibilidad del recurso hídrico, a inundaciones o sequías, a la disminución de producción y la calidad de alimentos y a la propagación de enfermedades (Cuadro 1). Para ello, el Semarnat y PNUMA (2006), IPCC (2014c), FAO (2013b) proponen como estrategia, la adaptación al cambio climático, la cual permite una mejor gestión de riesgo, aporta a la seguridad alimentaria, reduce la vulnerabilidad y aumenta la resiliencia de las poblaciones rurales.

Cuadro 1. Impactos potenciales y riesgos del cambio climático en América Latina

<b>IMPACTOS</b>	<b>RIESGOS CLAVES</b>	<b>FACTORES CLIMÁTICOS</b>
<b>AGRICULTURA</b>	Disminución de la producción y calidad de los alimentos, ingresos más bajos y alza de precios	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperaturas extremas</li> <li>• Precipitación extrema</li> <li>• Concentración de CO<sub>2</sub></li> <li>• Precipitación</li> </ul>
<b>AGUA</b>	Disponibilidad de agua en regiones semiáridas y dependientes del derretimiento de los glaciares, e inundaciones en áreas urbanas relacionadas con precipitación extrema	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tendencia al aumento de la temperatura</li> <li>• Tendencia a la sequía</li> <li>• Cubierta de nieve</li> </ul>
<b>BIODIVERSIDAD Y BOSQUES</b>	Modificación del cambio de uso del suelo, desaparición de bosques, decoloración de los corales y biodiversidad y pérdida de servicios ecosistémicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la deforestación</li> <li>• Concentración de CO<sub>2</sub></li> <li>• Tendencia al aumento de temperatura</li> <li>• Acidificación de los océanos</li> </ul>
<b>SALUD</b>	Propagación de enfermedades transmitidas por vectores en altitud y latitud	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tendencia al aumento de la temperatura</li> <li>• Temperaturas extremas</li> <li>• Precipitación extrema</li> <li>• Precipitación</li> </ul>
<b>TURISMO</b>	Pérdida de infraestructura, alza del nivel del mar y fenómenos extremos en zonas costeras	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alza del nivel del mar</li> <li>• Temperaturas extremas</li> <li>• Precipitación extrema e inundaciones</li> </ul>
<b>POBREZA</b>	Disminución del ingreso, principalmente agrícola, de la población vulnerable y aumento de la desigualdad en los ingresos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperaturas extremas</li> <li>• Tendencia a la sequía</li> <li>• Precipitación</li> </ul>

Fuente: CEPAL (2015)

La región está expuesta al acontecimiento de eventos climáticos extremos como sequías e inundaciones asociadas a la dinámica de los fenómenos del Niño y la Niña que ocasionan desastres y afectan la producción agrícola (CEPAL 2015). En 1998 el Huracán Mitch afectó a casi 1,2 millones de personas con un costo de USD 8,5 mil millones de dólares dejando 17 000 entre muertos y desaparecidos en Centroamérica (Baños 2002); en el mismo año, el huracán George causó 235 muertos y afectó alrededor de 300 000 personas en República Dominicana. En el 2004 el huracán Charley causó un daño de casi USD 18 500 millones; y el huracán Iván, el mismo año, provocó más de 100 muertos

y destruyó 15 000 hogares en Barbados, Trinidad y Tobago, San Vicente y las Granadinas, Granada, Jamaica, Cuba y los Estados Unidos. Asimismo, Katrina y Stan en el 2005 causaron daños representativos en Estados Unidos, Guatemala y El Salvador (Semarnat y PNUMA 2006).

Los impactos del cambio climático en la región centroamericana se centran en el recurso hídrico, los ecosistemas (extinción y desplazamiento de especies), la producción agropecuaria (cambios en ciclo de cultivo, alteraciones fisiológicas y deficiencia de agua por falta de humedad en suelo, erosión, enfermedades, falta de nutrientes, incendios), la sociedad en general reduciendo los avances en el desarrollo humano (salud, nutrición y educación) y especialmente en las comunidades indígenas que dependen de los servicios que proveen los ecosistemas. La temperatura y la cantidad de eventos extremos se han incrementado en la región, la distribución de la precipitación durante la época lluviosa es menor pero más intensa y los días secos han aumentado (UICN y Acicafoc 2009; Cifuentes 2010; Blanco 2014).

Dentro de las áreas más vulnerables, se encuentra el corredor seco centroamericano, caracterizado por ser una ecorregión del bosque tropical seco que inicia en Chiapas, México hasta Guanacaste, Costa Rica. Las sequías son cíclicas en esta área, afectando a los organismos vivos y a las poblaciones humanas, especialmente en el sector agrícola y de recarga hídrica (FAO 2012). En los países del norte del corredor se proyecta, bajo diferentes escenarios, para el año 2100 una disminución de precipitación entre el 5% y 10% y de escorrentía entre 10% y 30% junto a un incremento de la temperatura de 3°C (Blanco 2014); a diferencia de la zona sur de Centroamérica, donde se estima un incremento del 2% en la precipitación (Cifuentes 2010).

En la región del Trifinio correspondiente a Guatemala, Honduras y El Salvador, se detectaron altos índices de pobreza 65-83% y pobreza extrema 36-45%, limitaciones en la disponibilidad de tierra y bajos rendimientos de los cultivos, comprometiendo la seguridad alimentaria y nutricional, particularmente en la población indígena Maya Chortí en Guatemala y Honduras; inequidad de género y de etnia; degradación de los servicios ecosistémicos por deforestación, cultivos en laderas y uso de pesticidas y vulnerabilidad al cambio climático por condiciones climáticas y baja capacidad adaptativa a eventos extremos (MAP 2013).

#### **1.4.2 Adaptación y mitigación al cambio climático**

El IPCC (2014c) define la **adaptación** como el proceso de ajuste de un sistema al clima real y sus efectos, reduciendo los daños al ser humano y facilitando el ajuste de los sistemas naturales a la variabilidad climática y la **mitigación** como la intervención humana orientada a la reducción de las fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) o a la potencialización de los sumideros de GEI. En Centroamérica se están llevando a cabo proyectos basados en la conservación y gestión comunitaria de los ecosistemas y sistemas agrícolas resilientes, utilizando como insumo principal la información climática.

Las medidas de adaptación al cambio climático pueden permitir a los pequeños productores que tienen como principal medio de vida la agricultura de secano a superar la línea de pobreza, puesto que son los más vulnerables a las pérdidas por eventos climáticos (Altieri *et al.* 2015; FAO 2016). Dada esta necesidad, la FAO propuso el enfoque de agricultura climáticamente inteligente con el fin de mejorar la seguridad alimentaria por medio de sistemas agrícolas que afronten el cambio climático, fortalezcan la capacidad adaptativa de los productores y mitiguen o reduzcan las emisiones de GEI en lo posible (FAO 2013a).

Asimismo, el programa MAP-Noruega promovió en el período 2013-2017 la utilización de prácticas agrícolas climáticamente inteligentes ofreciendo asistencia técnica, fortaleciendo capacidades, facilitando diálogos y trabajos participativos con el fin de alcanzar la diversificación de la producción y una mayor resiliencia de las familias en las comunidades rurales y contribuir a la reducción/captura de carbono por medio de la óptima utilización de fertilizantes y la implementación de sistemas agroforestales (MAP 2016).

Algunas de las opciones que pueden implementarse como adaptación al cambio climático son la transferencia tecnológica, acceso al crédito e insumos, organización social y acceso a mercados; y para la mitigación de gases de efecto invernadero, la gestión de la tierra y restauración de suelos, los cuales ofrecen beneficios a largo plazo (IPCC 2014d). Eitzinger *et al.* (2013) proponen cinco vías hacia la adaptación en la agricultura: **intensificación sostenible**, como utilizar el agua de lluvia eficientemente para el desarrollo de las plantas; **diversificación**, para tener otros productos; **expansión sostenible**, refiriéndose a una diversificación de los capitales a nivel de finca; **fortalecimiento de capital humano y social**, a través de la educación y el conocimiento e **ingresos fuera de la finca**, con la creación de empleo en las áreas rurales y urbanas cercanas.

CEPAL (2015), por su parte, propone la combinación o asociaciones de cultivos (*intercropping*) y la diversificación de cultivos y ganadería, un manejo más eficiente del riego, monitoreo y predicción del clima, uso de variedad mejoradas y nuevos cultivos, la utilización de prácticas mejoradas y nuevas tecnologías, ajustes en las fechas de los cultivos y el aprovechamiento de características topográficas para la adaptación al cambio climático. Es importante el fortalecimiento y la promoción de los sistemas productivos y prácticas utilizadas por las poblaciones indígenas, como la milpa, el *Kuxur rum* y el *Quesungual*, los cuales aportan a la adaptación al cambio climático (IPCC 2014c).

Entre la adaptación y la mitigación al cambio climático pueden existir diferentes relaciones: las **complementarias**, en las que se realicen actividad de adaptación o mitigación específicamente, pero que de manera indirecta generan cobeneficios al otro; y las **sinérgicas**, que promueven la adaptación y la mitigación al mismo tiempo, con una gran ventaja sobre las primeras puesto que integran las dos acciones desde la toma de decisiones y la planificación hasta que se implementan, alcanzando un triple beneficio; además, considera sistemas de monitoreo y evaluación para medir los impactos de ambas medidas (Vallejo *et al.* 2016).

### 1.4.3 La agricultura y la seguridad alimentaria y nutricional

La agricultura juega un papel relevante para la seguridad alimentaria y el desarrollo sostenible (IPCC 2014d). Eitzinger *et al.* (2013), indican que para el 2025 la pérdida de maíz en Guatemala, Honduras, El Salvador y Nicaragua será de 350 000 toneladas amenazando alrededor de 100 000 hogares.

De acuerdo a Alfaro y Rivera (2008) y CEPAL (2015), el rendimiento en la producción de granos básicos podría reducirse entre un 30% y 40% para el 2080, impactando los ingresos agrícolas de las zonas rurales. Por ello se hace necesaria la implementación de políticas públicas que consideren las realidades rurales para la toma de decisiones, además del uso de irrigación, variedades de semillas mejoradas y cambios en las fechas de siembra como medidas de adaptación para reducir estos impactos (Semarnat y PNUMA 2006; Confalonieri *et al.* 2012; IPCC 2014c).

Actualmente los pequeños productores de granos básicos de maíz y frijol representan el 62% de la población rural en Guatemala, Honduras, El Salvador y Nicaragua, con un aproximado de 2,5 millones de hectáreas dedicadas a este cultivo. La producción es para autoconsumo; solo en caso de que hayan excedentes u otras necesidades, las comercializan (FAO 2012). Lo dramático del caso es que por cada cinco ciclos de cosecha en regiones áridas, tres ciclos sufren pérdidas significativas dejando a los productores en niveles de infrasubsistencia, lo que los obliga a tomar trabajos asalariados y otras actividades (FAO 2015).

La Figura 1 muestra los efectos del cambio climático en el largo plazo en el sector agropecuario debido a la disminución de la cantidad y calidad de agua por la ocurrencia de eventos extremos, evidenciando la necesidad de la utilización de medidas de adaptación y mitigación por parte de este sector (IPCC 2014b).

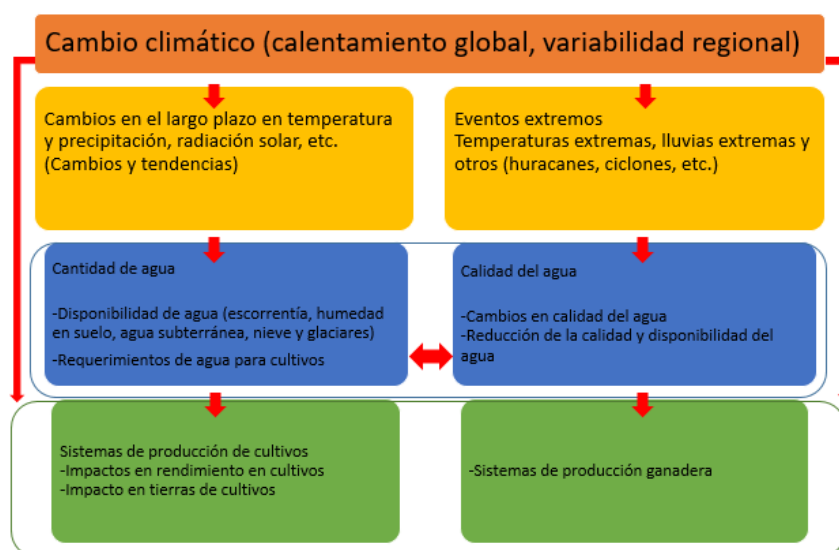


Figura 1. Marco para evaluar los impactos del cambio climático sobre la cantidad y calidad del agua y los sistemas de producción agrícola

Fuente: Adaptado y traducido de Cai *et al.* (2015)

En Guatemala, según el INE (2016) el sector agrícola en el 2016 generó un 37,4% del empleo nacional, contribuyendo con alrededor del 10% del PIB de Guatemala, caracterizado por la producción para exportación y consumo (Banguat 2017). De toda la producción agrícola, el maíz y frijol del país en gran parte es de secano, haciendo vulnerables los cultivos a las variaciones del clima, especialmente en el corredor seco.

El maíz es el grano básico de mayor consumo en Guatemala; es la base de la comida en la mayoría de hogares, aportando a la seguridad alimentaria y economía del hogar (Van Etten y Fuentes 2004; Canet Brenes *et al.* 2014). Según la encuesta nacional agropecuaria del INE (2015a), del muestreo realizado (7 354 100 ha), el 11% del uso de la tierra corresponde a cultivos anuales. A nivel nacional, la superficie de maíz representa el 87,1% de los cultivos anuales (819 227 ha) por sobre el frijol (6%), hortalizas (3,6%), arroz (1%), papa (0,6%) y otros cultivos anuales (1,8%).

En Guatemala, la producción de granos básicos se divide en dos estaciones: de primera, que inicia en abril/mayo para cosechar en agosto/septiembre y la de postrera, de agosto/septiembre para cosechar en noviembre (Bolaños 2014). Los productores se clasifican en: agricultores de infrasubsistencia, subsistencia, excedentarios y comerciales en función de su nivel de producción (FAO 2010b), de los cuales, los más amenazados son los productores de infrasubsistencia que cubren sus necesidades alimentarias de la producción en parcelas pequeñas complementadas con lo que compran en el mercado y los productores de subsistencia que logran abastecerse de lo que producen en sus parcelas (FAO 2010b).

Los agricultores de subsistencia e infrasubsistencia regularmente utilizan variedades criollas de maíz, baja densidad de cultivo, una distribución del cultivo espacial ineficiente, poca aplicación de fertilizantes, control inadecuado de malezas y pérdidas de grano durante la postcosecha, comprometiendo la seguridad alimentaria y nutricional, subsistiendo una familia con una tonelada de grano por año (Bolaños 2014).

Según la Encuesta Nacional Agropecuaria 2015 del total de 3 353 495 hogares, el 30% tiene un productor agropecuario como jefe de familia por lo que cerca de 4 800 000 personas dependen de la producción agropecuaria y forestal para vivir. De estos, el 72,2% vive en condiciones de pobreza y 31,3% en pobreza extrema y la distribución de la actividad económica corresponde a un 54% solo actividades agrícolas, 31% actividades agrícolas y pecuarias, 5,2% actividades agropecuarias y forestales y el 9,8% en otros como se observa en el Cuadro 2 (INE 2015b).

De los principales usos que las familias dan a los cultivos de maíz y frijol están el consumo familiar (50,4%), consumo y venta (31,6%) y consumo y alimentación animal (10,6%). Del total de familias evaluadas para medir los efectos de la canícula prolongada del 2014 y 2015 (754 919) (Cuadro 3), 168 278 fueron afectadas. De estas, solo en Chiquimula fueron afectadas un total de 30 860 familias con una pérdida estimada en Q.98 324 500<sup>1</sup>, afectando su seguridad alimentaria y nutricional (Sesan 2014; INE 2015c).

---

<sup>1</sup> Tipo de cambio Q/USD: 7.63



Cuadro 2. Distribución de los hogares agropecuarios según tipología 2000, 2006 y 2011, según la Encuesta Nacional Agropecuaria 2015, Guatemala

Distribución de los hogares agropecuarios según tipología 2000, 2006 y 2011						
Tipología	2000		2006		2011	
	No. hogares	Porcentaje	No. hogares	Porcentaje	No. hogares	Porcentaje
Sin tierra	190 388	15,4	68 988	6,2	164 097	12,6
Infrasubsistencia	659 922	53,3	69 077	6,2	105 856	8,2
Subsistencia			486 307	43,2	513 395	39,5
Excedentarios	295 854	23,9	210 559	18,7	171 420	13,2
Pequeños comerciales	66 752	5,4	236 904	21,1	228 621	17,6
Grandes comerciales	26 129	2,1	53 075	4,7	115 988	8,9
<b>Total</b>	<b>1 239 045</b>	<b>100,0</b>	<b>1 124 909</b>	<b>100,0</b>	<b>1 299 377</b>	<b>100,0</b>

\*La tipología realizada por Taylor *et al.* (2006), no distingue los hogares agropecuarios según el nivel de infrasubsistencia y subsistencia como lo hace la FAO (2010)

Fuente: INE (2015b)

Cuadro 3. Daños en la producción de maíz por canícula prolongada 2014 y 2015 en Guatemala

NÚMERO DE DEPARTAMENTOS AFECTADOS	2014			2015		
	No. de familias afectadas	Hectáreas afectadas	Estimación pérdida de producción de maíz (qq)	No. de familias afectadas	Hectáreas afectadas	Estimación pérdida de producción de maíz (qq)
<b>22</b>	168 278	529 940	1 890 599	175 387	119 645	1 794 675

Fuente: Segeplan (2015)

En Guatemala, en el 2015, 725 mil hectáreas eran ocupadas por el maíz y 80 mil hectáreas por frijol, lo cual representa el 90,96% del total de la superficie con cultivos anuales. Esta área tuvo una reducción de 90 mil hectáreas respecto al 2014, lo que coincide con las sequías prolongadas y anomalías en los períodos de lluvia que afectó la producción respecto al 2013 con una reducción de 4 millones de quintales (INE 2015b). La producción de maíz registrada en 2014 tuvo una disminución del 15% en el período 2013-2014, con un rendimiento de 3565 qq/ha (INE 2015a).

#### 1.4.4 Cultivo de maíz

El maíz (*Zea mays* L.), pertenece a la familia de las poáceas (gramíneas), tribu Maydeas. Es la única especie cultivada de este género con gran importancia en la economía mundial, siendo el cultivo con mayor producción a nivel mundial (FAO 2017). Hoy se cultiva hasta los 58° de latitud norte en Canadá y en Rusia y hasta los 40° de latitud sur en Argentina y Chile y desde el nivel del mar hasta los 3800 msnm en los Andes (López 2002).

El maíz es un cultivo denso-dependiente; no compensa con mayor producción una cantidad menor de plantas por área; la relación entre densidad de plantas y materia seca es lineal hasta una densidad óptima (45 000 a 50 000 plantas/ha) en seco, limitada por la fertilidad del suelo (Garay *et al.* 2015).

El maíz pasa por diferentes etapas de crecimiento (Figura 2), caracterizadas por cambios cualitativos en sus órganos. La escala fenológica más utilizada es la de Ritchie y Hanway (1992) que utiliza caracteres morfológicos, los cuales pueden separarse en períodos vegetativo y reproductivo. En la Figura 2 se observan las etapas fenológicas del cultivo: etapa de crecimiento de la plántula (VE y V1), crecimiento vegetativo (V2 a Vn), floración y fecundación (VT, R0, R1), hasta el llenado del grano y madurez (R2 a R6) (ICTA 2012). El fotoperíodo crítico oscila entre 11 y 14 horas.

En cuanto a los requerimientos de agua, para el óptimo desarrollo de la planta se requiere al menos una precipitación de 500 a 700 mm distribuidas durante el ciclo del cultivo; además necesita condiciones de temperatura no mayores a 35°C, suelo con textura franca, buena retención de humedad en el suelo, un pH entre 5,5-8 y nutrientes (López 2002).

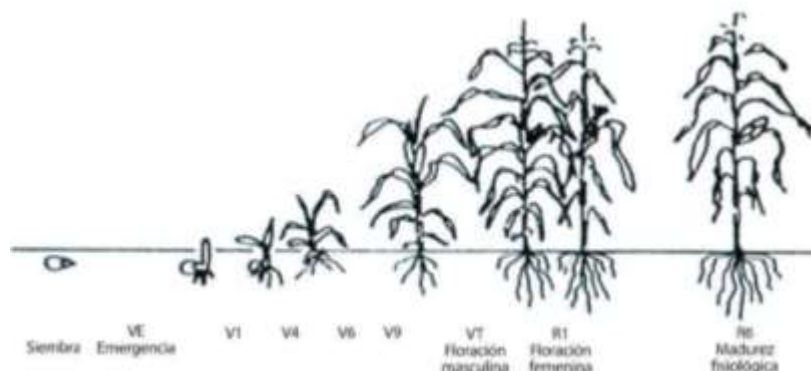


Figura 2. Etapas fenológicas del cultivo del maíz

Fuente: ICTA (2012)

La siembra de maíz en el oriente de Guatemala se efectúa en mayo o junio, después de la preparación del terreno con surcos o sin surcos y con control de maleza. La distancia de siembra entre surcos es de 75 a 80 centímetros, tres granos cada 40 o 45 centímetros, aplicando un tratador como blindaje (gaucho, cruiser, emevin) para controlar gallina ciega, nochero, gusano alambre y conchudo.

Es recomendable obtener los resultados del análisis de suelos un mes antes de la siembra; sin embargo, esta práctica no es muy común por lo que se aplica fertilizante triple 15 o fertimaíz 20-20-0 a los 10 o 15 días después de la siembra (3 qq/mz) y cuando la planta empiece a candelar 45 días después de la siembra, con urea (2 qq/mz), sulfato de amonio (4qq/mz) o fertimaíz refuerzo (3qq/mz) el que se cubre con tierra (ICTA 2014; ICTA 2015), para obtener la cosecha en los meses de noviembre o diciembre (Soto Quan 2012). Para el control de plagas se aplican venenos (Karate, Nomolt, Rienda, Movento, Monarca), para gusanos, sevin o volaton granulado al 2,5% para el cogollero y fungicida a los 30 y 45 días de la siembra (silvacur, nativo, amistar, bravo, atlas) para la mancha de asfalto (ICTA 2014; ICTA 2015).

El rendimiento del grano depende del crecimiento (aumento en número y tamaño de células) y el desarrollo (sucesión de etapas fenológicas), que pueden verse afectadas por deficiencia hídrica o nutricional (Garay *et al.* 2015). Para Below (2008), quien obtuvo rendimientos de hasta 20 t/ha de maíz con densidades de 100 000 plantas/ha, el rendimiento es influenciado por siete factores: el clima, fertilización nitrogenada, variedad, rotación de cultivo, densidad de siembra, siembra directa y reguladores de crecimiento.

### 1.4.5 Prácticas agrícolas climáticamente inteligentes

Las prácticas agrícolas climáticamente inteligentes (ACI), procuran alcanzar tres objetivos clave de manera simultánea: 1) incrementar la productividad con el fin de mejorar los ingresos agrícolas de forma sostenible y garantizar la seguridad alimentaria y nutricional; 2) adaptar y desarrollar resiliencia al cambio climático y 3) reducir o capturar emisiones de gases de efecto invernadero cuando sea posible (FAO 2010a). De la misma manera, contribuye a los objetivos de desarrollo sostenible como: reducir la pobreza, lograr la seguridad alimentaria, potenciar la igualdad de género, promover el uso sostenible de los ecosistemas y combatir el cambio climático (Lipper *et al.* 2018).

Al utilizar recursos como suelo, agua y fertilizante conscientemente, adoptando prácticas y tecnologías de producción sostenibles, los ingresos de los productores pueden incrementarse al mismo tiempo que contribuyen a reducir los gases de efecto invernadero por unidad producida. La importancia de los servicios ecosistémicos provistos por la optimización de los recursos es uno de los principios fundamentales de la ACI (Palombi y Sessa 2013).

En la Figura 3 se observa el proceso de transición de una agricultura tradicional hacia la agricultura climáticamente inteligente, la cual se puede alcanzar utilizando los siguientes criterios: la mejora en la eficiencia en el uso de los recursos, conservar, proteger y mejorar los recursos naturales y los medios de vida rurales y fortalecer la resiliencia de los ecosistemas, las comunidades y las personas para lo cual es necesaria la utilización de mecanismos efectivos y responsables de gobernanza (Lipper *et al.* 2018).

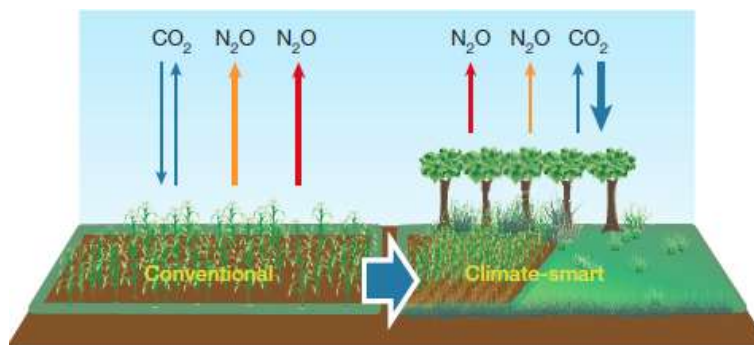


Figura 3. Proceso de transformación de agricultura tradicional hacia agricultura climáticamente inteligente

Fuente: Smith *et al.* (2008)

Es importante resaltar que los efectos de la implementación de prácticas ACI no tiene resultados generalizados en las diferentes regiones. Las condiciones socioeconómicas, edáficas y climáticas son relevantes para decidir qué prácticas podrían contribuir a la seguridad alimentaria y a la adaptación y mitigación del cambio climático, considerando siempre una escala espacial y temporal amplia (Lipper *et al.* 2014). Las prácticas, políticas e instituciones enmarcadas en la ACI no son necesariamente nuevas, pero son utilizadas dentro del contexto de cambio climático, el cual hasta entonces, había sido pasado por alto (Palombi y Sessa 2013; Lipper *et al.* 2018).

Las prácticas promisorias de la agricultura climáticamente inteligente necesitan de mayor investigación y de un esfuerzo adicional para incrementar su implementación. El cambio en los métodos de cultivo no solo favorece el incremento de rendimientos en algunos casos, sino que también permite estabilizarlos, aumentando su resiliencia ante eventos climáticos extremos, favoreciendo la seguridad alimentaria de los productores de subsistencia e infrsubsistencia y contribuyendo a la mitigación de cambio climático (Smith *et al.* 2008).

#### **1.4.5.1 Árboles dispersos o en callejones**

Los árboles en callejones o dispersos con asocio a cultivos anuales requieren de podas periódicamente para reducir la sombra y así poder utilizar el material vegetativo como abono verde y mejorar la fertilidad del suelo. Las familias productoras de tradición maya siembran el maíz en asocio con otros cultivos, usualmente con *Gliricidia sepium* y *Erythrina* spp. luego de podas profundas, permitiendo una mejor producción de maíz. Sin embargo, el potencial de ciclar los nutrientes dependen del estado nutritivo del suelo (Mendieta y Rocha 2007).

La concentración de nutrientes del follaje de *Gliricidia sepium* tiene el potencial de aportar al suelo 3,51% de nitrógeno, 0,21% de fósforo, 2,68% de potasio, 0,45% de calcio y 0,27% de magnesio en relación con la biomasa aplicada (Fuentes 1993), lo cual resulta relevante para la recuperación de suelos degradados.

#### **1.4.5.2 No quema y manejo de rastrojos**

Al no quemar los residuos de la cosecha en el campo, es posible utilizarlos para conservar los suelos; para ello se cortan, pican y dispersan de manera uniforme en el área de cultivo como cobertura, o bien, se pueden incorporar parcialmente al suelo. De esa manera se protege el suelo de la erosión hídrica y eólica y de la radiación solar, permitiendo mantener la vida en el suelo (Villarreyna Acuña *et al.* 2016). Asimismo, al implementar esta práctica se reduce la labranza, evitando el movimiento del suelo durante el período de la cosecha y el establecimiento del cultivo siguiente.

También ayuda a establecer un nuevo equilibrio biológico, favorece la aparición de enemigos naturales del gusano cogollero, además de mejorar la eficiencia en el uso del nitrógeno. Al no labrar la tierra se hace necesario un control manual de hierbas no deseadas (Erenstein 1999), las que de igual forma se ven reducida por la cobertura del rastrojo; asimismo, estos residuos tienen el potencial de aportar por cada tonelada 18,48 lb de nitrógeno, 4,4 lb de fósforo y 36,3 lb de potasio, lo cual favorece la reincorporación de nutrientes al suelo (Kumar y Goh 1999).

#### **1.4.5.3 Práctica convencional**

La quema es una práctica tradicional muy efectiva para la eliminación de hasta el 90% de los residuos; es utilizada para facilitar la siembra y el control de plagas y enfermedades y se potencian por mantener un solo cultivo en las parcelas. Aunque en otros casos, los productores venden o alimentan su ganado con los residuos durante la época seca para limpiar el terreno, facilitando la degradación física y química de los suelos (Erenstein 1999; Bolaños 2014). Este tipo de práctica en cultivos o pastos fue la causante del 39% de los incendios forestales en Guatemala durante el año 2014, por lo que su reducción en la agricultura significaría un aporte a la conservación de los bosques del país (INE 2015c).

#### **1.4.5.4 Fertilizantes**

La cantidad de fertilizantes químicos importados a Guatemala ha tenido un crecimiento constante de 417,6 t en el 2009 a 896,6 t en el 2014, para un valor total de importación acumulado de USD1 814 275 millones provenientes principalmente de China, Rusia y Estados Unidos (INE 2015c).

Los requerimientos de nutrientes en lb por cada tonelada de grano en base seca de maíz son 48,4 nitrógeno (N), 8,8 de fósforo (P), 41,8 de potasio (K), 6,6 de calcio (Ca), 6,6 de magnesio (Mg) y 8,8 azufre (S). El maíz presenta ciertos comportamientos con respecto a la deficiencia de nutrientes. Una deficiencia de N se identifica a partir del V6 debido a que las hojas toman una coloración verde claro a amarillento; la de P presenta tonalidades púrpura en hojas y tallo; la de S es similar a la de N, solo que en las hojas superiores y la de zinc (Zn) se manifiesta en un menor crecimiento de las plantas con coloración amarilla (Garay *et al.* 2015). Para las zonas semiáridas de Argentina, con rendimientos de 13 200 a 17 600 lb, el nivel de N es de 220 a 275 lb N/ha. En siembras de secano con dosis de 110 lb N/ha se recomienda fraccionar la dosis de 30% a 50% a la siembra y el resto postergado. No es necesario aplicar más de 22 lb/ha de S, ni más de 3,3 lb de Zn (Garay *et al.* 2015).

La utilización de abonos orgánicos mejora la estructura del suelo, aumenta la capacidad de retención de agua y la disponibilidad de nutrimentos para las plantas (López Mtz *et al.* 2001). El lombricompost con base en broza de café tiene una composición de 3,18% de N, 0,36% de P, 1,55% de potasio (K), 1,57% de calcio (Ca), 0,34% de magnesio (Mg) (Zacarías de Pedro 2015).

## **1.4.6 Corredor seco Nor-oriental**

Las regiones del altiplano central y occidental, las regiones semiáridas y algunas regiones del norte de Guatemala tienen deficiencias en la producción de maíz y frijol regularmente por ser terrenos con pendiente. El corredor seco del oriente es una zona semiárida caracterizada por tener suelos degradados, sequías en la época de lluvia, cultivos en pendientes, incidencia de plagas y enfermedades en los cultivos y bajos rendimientos (FAO 2010b).

### **1.4.6.1 Chiquimula**

Chiquimula, es un departamento de Guatemala que se encuentra en la región III del nor-oriente. Según las proyecciones de población el número de habitantes es aproximadamente de 389 000, de los cuales el 52,2% son mujeres y el 40% es indígena. El 73,4% de las personas vive en el área rural. Para el 2013, el índice de analfabetismo fue de 25,5% concentrado en los municipios de Camotán y Jocotán especialmente. La pobreza general es del 62,7% y la pobreza extrema de 28,3%, especialmente en el área Chortí, presentando niveles bajos de calidad de vida (INE 2013).

### **1.4.6.2 Camotán**

El municipio de Camotán se encuentra en el departamento de Chiquimula, Guatemala, en la región Chortí. Tiene una extensión de 231,19 km<sup>2</sup>; la cabecera departamental se encuentra a 457 msnm a una latitud norte 14°49'13" y longitud oeste 89°22'24". Tiene una población aproximada de 52 000 habitantes distribuidos en un 96% en el área rural y un 4% en el área urbana; del total de habitantes, el 60% es de la etnia Chortí (Segeplan 2010; Concyt *et al.* 2012). El 91% de la población práctica la agricultura como medio de vida.

Se han identificado dos zonas de vida: bosque húmedo subtropical templado (78%) y bosque seco subtropical (22%), con precipitaciones entre los 850 y 2200 mm. La extensión del municipio está conformada por 82% de montañas, 13% de valle y 5% de cerro. La pendiente se encuentra en un rango de 32-64% en el 48% del territorio, 16-32% en el 12%, 8-16% en el 33% y de 0-4% en el 7% del territorio restante. Los suelos se componen principalmente de suelo arcilloso, franco arcilloso, limo arcilloso y pedregoso. La vocación del suelo predominante es para bosques o reservas con manejo apropiado en un 48% del territorio y solo el 7% tiene vocación agrícola; sin embargo, el 24% es usado para plantar maíz, frijol y maicillo (Segeplan 2011a).

## **1.4.7 Suelos**

El suelo es un material que conforma la capa superficial de la tierra, como producto de la desintegración de la roca madre y la intervención de factores vivos en un período de tiempo largo. En él se encuentran materias sólidas en un 45% (materia orgánica y mineral), líquidas en un 25% (agua),

gaseosas en un 25% (aire) y el 5% restante está conformado por materia orgánica. Por las dimensiones de las partículas se clasifican desde arcillosos, limosos y arenosos, de menor a mayor respectivamente (Segeplan 2011a).

Debido a la variación en cuanto a textura, estructura y fertilidad, el elemento más importante para el análisis los suelos es la pendiente, la cual indica la inclinación con relación a la horizontal; para ello se elabora un mapa con pendientes, se separan las áreas homogéneas y se agrupan de acuerdo a los esquemas establecidos por la metodología de USDA por capacidad de uso, que abarca desde la Clase I hasta la Clase VIII; las clases de la I a la IV tiene condiciones para la agricultura, la del V al VII no se pueden cultivar bajo condiciones con manejo normal y la VIII es exclusiva para fines de protección (USDA 2008.; Segeplan 2011a).

Los suelos en la región semiárida son poco profundos y pedregosos (FAO 2010b). Al ser poco profundos y estar en ladera tienen baja fertilidad, exposición a la erosión hídrica y eólica. Además las prácticas destructivas como la tala indiscriminada de los bosques, el sobrepastoreo y las quemadas anuales, los hacen vulnerables a la degradación (Lemus 2013; Bolaños 2014). La erosión de los suelos está relacionada con el tipo de cobertura, grado de pendiente y uso del suelo. En Guatemala se estima que la tasa de erosión en la siembra de cultivos es mayor a 11,4 millones de toneladas al año (INE 2015c).

#### **1.4.8 Servicios ecosistémicos**

Según Reid *et al.* (2005) y el IPCC(2014d) los servicios ecosistémicos son las funciones ecológicas, valoradas monetariamente o no, que proveen servicios de apoyo, de aprovisionamiento, de regulación y culturales. El uso actual de los servicios ecosistémicos de manera no sostenible, conlleva a la reducción de su disponibilidad para las generaciones futuras (WRI 2003).

De los servicios ecosistémicos evaluados por la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio el 60% se están degradando por su gestión insostenible, aumentando la brecha en desigualdad entre la población mundial, y en muchos casos es causante de pobreza y de conflictos sociales, representando un obstáculo para la consecución de los objetivos de desarrollo sostenible (Reid *et al.* 2005).

El modelo de crecimiento económico actual, ha llevado a la degradación de estos servicios, y lo que es peor aún, ha creado la percepción de que no se depende de ellos, cuando en realidad todos los insumos se obtienen de la naturaleza (Gómez-Baggethun y de Groot 2007). Para realizar cambios en los modelos de consumo y educación es necesario que se reconozca el valor socioeconómico y cultura de los servicios ecosistémicos, mediante la cooperación entre entidades públicas, privadas y sociedad civil (Montes y Sala 2007).

De los cuatro tipos de servicios ecosistémicos, los servicios de regulación tienen una gran relevancia respecto al bienestar humano, debido a que estos son percibidos sin necesidad de transformarlos, como la regulación de la calidad del aire, del clima, de la erosión, purificación del agua, polinización, entre otros (Reid *et al.* 2005; Camargo *et al.* 2012). Este servicio puede reflejarse en la composición funcional

del crecimiento de planta: crecimiento rápido, más grande, más eficiente y una producción mayor de biomasa para las plantas adaptadas (Diaz *et al.* 2005). Existen diferentes opciones para conservar y mejorar los servicios específicos, como las buenas prácticas agrícolas (Camargo *et al.* 2012).

#### **1.4.9 Análisis beneficio-costo**

El análisis beneficio-costo (ABC), es una metodología para evaluar los beneficios y costos de un proyecto y así determinar su rentabilidad mediante la utilización adecuada de los recursos, desde el punto de vista económico y de bienestar social. Para realizar un ABC privado, únicamente se necesitan los costos y los ingresos del proyecto; un ABC social, por su parte, debe considerar las externalidades positivas y negativas, asignarles un precio e incluirlas en el análisis. Usualmente se utiliza en la evaluación *ex ante* para seleccionar entre diferentes alternativas de proyecto para compararlas con un escenario sin proyecto y poder tomar decisiones (Ortega 2012).

En el ABC se deben presentar los flujos de beneficios y costos con los supuestos y evidencia empírica detrás de esos números (IEG 2010) para validarlo. Asimismo, es necesario utilizar una tasa de descuento apropiada al tipo de proyecto, el período de tiempo, los precios reales del año base, además de incluir los costos de inversión, de remplazo, valor residual, costos de operación e ingresos (Sartori *et al.* 2014).

El marco metodológico para realizar el análisis consta de las siguientes partes: i) identificar el proyecto y cómo se ejecutará; ii) asegurar su viabilidad financiera (distribución de ingresos y egresos y tasa de descuento), para calcular el valor actual neto; iii) identificar costos y beneficios sociales y estimarlos con los precios sombra que expresan los costos de oportunidad social de manera marginal, los cuales pueden determinarse utilizando métodos de valoración económica como dosis-respuesta o costo de reposición, por dar unos ejemplos (Sartori *et al.* 2014; Ramírez 2016); iv) calcular el valor neto económico expresado a precio constante con la tasa de descuento social, representada por la preferencia social de los beneficios y costos actuales vs los futuros y v) realizar un análisis de sensibilidad sobre escenarios alternativos con diferencias en costos y beneficios (Belli *et al.* 1998; Ortega 2012).

La tasa de descuento está dada por el mayor costo de oportunidad, o descrito de otra manera, el beneficio que podría obtenerse al realizar otra inversión con un riesgo similar. Asimismo, considera la idea del valor a través del tiempo debido a que puede invertirse en un depósito sin riesgo ganando intereses. Este puede calcularse con las tasas que pagan los bonos de estado o la tasa de interés de créditos comerciales o bien, con las pérdidas de la mejor alternativa para limitar el valor máximo de la tasa de descuento (Sartori *et al.* 2014).

Este análisis es considerado como un instrumento de apoyo para la toma de decisiones, considerando la dificultad de la estimación y la valoración monetaria de las externalidades (Ortega 2012). Estas externalidades son muy difíciles de evaluar; al menos, deben identificarse los términos físicos para hacer un acercamiento cualitativo para considerar la toma de decisiones, por ejemplo, reducción de emisiones, contaminación del suelo y del agua, degradación de ecosistemas, deterioro de paisaje, etc. (Belli *et al.* 1998; Sartori *et al.* 2014).



## 1.5 PRINCIPALES RESULTADOS

El análisis de componentes principales no determinó un efecto de las prácticas promisorias de la agricultura climáticamente inteligente en maíz en la comunidad La libertad, municipio de Camotán, departamento Chiquimula, sobre las características físicas y químicas del suelo. Los parámetros presentan correlaciones con la textura del suelo. Los suelos franco-arcillosos presentan mayor correlación positiva con el porcentaje de materia orgánica, punto de marchitez permanente, capacidad de campo, calcio, y magnesio, y porcentajes de humedad con una tendencia a diferir entre las prácticas. Los suelos francos presentan mayor correlación con la densidad relativa y densidad aparente, espacio poroso total, potasio, zinc, manganeso, hierro, cobre y con los rendimientos. La humedad en el suelo presentó una correlación negativa con los rendimientos, debido posiblemente a que el período de canícula durante la época de lluvia fue reducido.

El análisis utilizando modelos lineales generales y mixtos a un nivel de confianza del 5%, no presentó un efecto del empleo de las prácticas promisorias de la agricultura climáticamente inteligente, ni de los tipos de fertilización con el porcentaje de humedad en el suelo en el período de canícula, ni posterior a él. Sin embargo, las medias sugieren que, para los suelos francos, las parcelas con árboles dispersos y rastrojos presentaron mayores porcentajes de humedad que las parcelas con árboles dispersos y las parcelas con manejo de rastrojos; y para los suelos franco-arcillosos, los mayores porcentajes de humedad los obtuvieron las parcelas con árboles dispersos sobre las parcelas con manejo de rastrojos y las parcelas con árboles dispersos y rastrojos.

Las prácticas de árboles dispersos con rastrojos, árboles dispersos, y manejo de rastrojos con la fertilización convencional (*status quo*) y química presentaron un valor  $B/C > 1$  para un período de 10 años en un área de 1 ha. Las tasas  $B/C$  fueron 2,42, 2,03 y 1,75 para la fertilización convencional y 1,51, 1,81 y 1,46 para la fertilización química, respectivamente. El período de retorno de la inversión para la práctica *status quo* se recupera el primer año, a diferencia de las prácticas con fertilización química que es de cuatro, dos y tres años respectivamente. Las prácticas con fertilización orgánica presentaron una relación  $B/C < 1$ , debido a los altos costos del lombricompost con 0,52, 0,57, y 0,52 respectivamente, lo que no las hace rentables para los productores. Las medidas de adaptación en la práctica *status quo* mantienen una relación  $B/C > 1$  incluso para el escenario pesimista.

## 1.6 PRINCIPALES CONCLUSIONES

El empleo de prácticas promisorias de la agricultura climáticamente inteligente en maíz no presentó una correlación clara con los parámetros físicos y químicos del suelo. Se observó una posible diferencia entre las prácticas en los suelos franco-arcillosos; sin embargo, es necesario utilizar un mayor número de muestras para captar la variabilidad de los datos. Asimismo, el contar con los datos sobre las condiciones iniciales del suelo al momento de la implementación de estas prácticas, podría contribuir a demostrar si hay cambios en los parámetros.

A pesar de que los valores promedios de la humedad del suelo de las parcelas que empleaban las prácticas de árboles dispersos y rastrojos y árboles dispersos fueron mayores que las de manejo de rastrojos, no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas por lo que se sugiere replicar el experimento con un mayor número de repeticiones para las prácticas utilizadas considerando la textura del suelo para verificar este efecto.

El análisis de los indicadores económicos B/C, VPN y PRI demostraron que las prácticas de árboles dispersos con rastrojos, árboles dispersos y manejo de rastrojos con el tipo de fertilización convencional (*status quo*) son más rentables en comparación con las prácticas con fertilización orgánica y química. Además, resultaron ser más resilientes a los escenarios propuestos para el análisis de sensibilidad puesto que todas mantienen una relación B/C > 1. La práctica de árboles dispersos con rastrojos resultó ser la mejor opción para los productores de subsistencia.

## 1.7 LITERATURA CITADA

- Alfaro, W; Rivera, L. 2008. Cambio Climático en Mesoamérica: Temas para la Creación de Capacidades y la Reducción de la vulnerabilidad. (en línea). s.l., IDRC; DFID-UK. Consultado 09 feb. 2016. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/306216571\\_Cambio\\_Climatico\\_en\\_Mesoamerica\\_Temas\\_para\\_la\\_Creacion\\_de\\_Capacidades\\_y\\_la\\_Reducion\\_de\\_la\\_Vulnerabilidad](https://www.researchgate.net/publication/306216571_Cambio_Climatico_en_Mesoamerica_Temas_para_la_Creacion_de_Capacidades_y_la_Reducion_de_la_Vulnerabilidad)
- Altieri, MA; Nicholls, CI; Henao, A; Lana, MA. 2015. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for sustainable development* 35(3):869-890.
- Banguat (Banco de Guatemala). 2017. Producto interno bruto trimestrial. Tercer trimestre 2016 (en línea). Guatemala. Consultado 18 ene. 2017. Disponible en [https://www.banguat.gob.gt/cuentasnac/Tomo\\_II\\_3T-2016.pdf](https://www.banguat.gob.gt/cuentasnac/Tomo_II_3T-2016.pdf)
- Baños, C. 2002. El desastre del huracán Mitch en Centroamérica (en línea). *In* Ayala Carcedo, F; Cantos, J (eds.). (Riesgos Naturales). s.l., Ariel, Editors. p. 797-800. Consultado 10 nov. 2017. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/272165868\\_El\\_desastre\\_del\\_huracan\\_Mitch\\_en\\_Centroamerica](https://www.researchgate.net/publication/272165868_El_desastre_del_huracan_Mitch_en_Centroamerica)
- Below, FE. 2008. The seven wonders of the corn yield world. *In*. Illinois Crop Protection Technology Conference. (2008. Illinois, United States of America). University of Illinois. Resúmenes. Illinois, United States of America.. p. 86.
- Belli, P; Anderson, J; Barnum, H; Dixon, J; Tan, J. 1998. Handbook on Economic Analysis of Investment Operations (en línea). Washington DC, United State of America, World Bank. Consultado 10 dic. 2017. Disponible en <http://siteresources.worldbank.org/INTCDD/Resources/HandbookEA.pdf>
- Blanco, P. 2014. América Central será más seca y caliente en 2050 *Crisol*, Suplemento de Ciencia y Tecnología(275):1.
- Bolaños, J. 2014. Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1993-1995. México, DF, CIMMYT.

- Cai, X; Zhang, X; Noël, PH; Shafiee-Jood, M. 2015. Impacts of climate change on agricultural water management: a review. Wiley Periodicals, Inc. v 2:439-455.
- Camargo, ESC; Carreño, JAF; Barón, EMP. 2012. Los servicios ecosistémicos de regulación: tendencias e impacto en el bienestar humano. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 3(1):77.
- Canet Brenes, G; Portilla Rodríguez, M; Zúñiga Molina, U; Taylor-Dormond, M; Torres, M; Trejos, R; Díaz-Bonilla, E; Ezeta, F; Friend, L-O; Ganoza, V. 2014. Las cadenas de valor de maíz blanco y frijol en Centroamérica: Actores, problemas y acciones para su competitividad. San José, Costa Rica, IICA. 127 p.
- CCAFS (Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria); CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical); MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación). 2015a. Agricultura Sostenible Adaptada al Clima (ASAC): Alternativas para el Corredor Seco en Guatemala. Cali, Colombia.
- CCAFS (Cambio Climático, Agricultura y Seguridad Alimentaria); CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical); MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación). 2015b. Marco de Priorización de Agricultura Sostenible Adaptada al Clima. Priorizando Inversiones en Agricultura Sostenible adaptada al clima en Guatemala. Cali, Colombia. 77 p.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina). 2015. La economía del cambio climático en América Latina y el Caribe. Paradojas y desafíos del desarrollo sostenible (en línea). Santiago de Chile, Chile. Consultado 10 dic. 2016. Disponible en [http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37310/S1420656\\_es.pdf;jsessionid=E10716B604823C40B8AFBA545D4ADE75?sequence=4](http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/37310/S1420656_es.pdf;jsessionid=E10716B604823C40B8AFBA545D4ADE75?sequence=4)
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina). 2016. Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Una oportunidad para América Latina y el Caribe (en línea). Santiago de Chile, Chile. Consultado 10 dic. 2016. Disponible en <http://www.sela.org/media/2262361/agenda-2030-y-los-objetivos-de-desarrollo-sostenible.pdf>
- Cifuentes, M. 2010. ABC of Climate Change in Mesoamerica. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 71 p. (Technical Series. Technical Report No. 383).
- Concyt (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología); Senacyt (Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología); Fonacyt (Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología); Cunori (Centro Universitario de Oriente); ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas); Aproderch (Asociación para el Desarrollo Empresarial de la Región Chortí). 2012. Programa de gestión tecnológica para la región Chortí, tecnoregión Chiquimula. Chiquimula, Guatemala. 147 p.
- Confalonieri, R; Donatelli, M; Bregaglio, FN; Tubiello, D; Nash, J; Soliman, A; Fernandes, ECM. 2012. Change and Agriculture in Latin America, 2020-2050: Projected Impacts and Response to Adaptation Strategies (en línea). Washington, DC., United States of America, World Bank. Consultado 10 dic. 2017. Disponible en <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/12582>
- Diaz, S; Tilman, D; Fargione, J; Chapin III, FS; Dirzo, R; Kitzberger, T. 2005. Biodiversity regulation of ecosystem services. In Ceballos, G; Lavorel, S; Orians, G; Pacala, S; Supriatna, J (eds.). Trends and Conditions. Washington DC, United States of America, Island Press. p. 297-329.

- Eitzinger, A; Läderach, P; Sonder, K; Schmidt, A; Sain, G; Beebe, S; Rodríguez, B; Fisher, M; Hicks, P; Navarrete-Frías, C; Nowak, A. 2013. Tortillas on the Roaster: Central America's Maize–Bean Systems and the Changing Climate. (en línea). Cali, Colombia, CIAT (Policy Brief No. 6). Consultado 12 dic. 2017. Disponible en <https://cgspace.cgiar.org/rest/bitstreams/47117/retrieve>
- Erenstein, O. 1999. La conservación de residuos en los sistemas de producción de maíz en Ciudad Guzmán y San Gabriel, Jalisco. Mexico, D.F., Cimmyt.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2010a. Climate-Smart agriculture: policies, practice and financing for food security, adaptation and migration (en línea). Roma, Italia. Consultado 21 ene. 2017. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/013/i1881e/i1881e00.htm>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2010b. Informe Especial. Misión FAO/PMA de evaluación de cosecha y seguridad alimentaria en Guatemala (en línea). Roma, Italia. Consultado 18 ene. 2017. Disponible en [http://documents.wfp.org/stellent/groups/public/documents/ena/wfp216586.pdf?\\_ga=1.183376165.221815970.1485215979](http://documents.wfp.org/stellent/groups/public/documents/ena/wfp216586.pdf?_ga=1.183376165.221815970.1485215979)
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2012. Estudio de caracterización del Corredor Seco Centroamericano (en línea). Roma, Italia. Consultado 09 dic. 2016. Disponible en <http://www.desaprender.org/fileSendAction/fcType/5/fcOid/409157408221772181/fodoid/409157408221772180/ACF%20FAO%202012-Estudio-de-caracterizacion-del-Corredor-Seco-Centroamericano-CA-4.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura); MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales). 2012. Programa de agricultura familiar para el fortalecimiento de la economía campesina (PAFFEC 2012 - 2015) (en línea). Guatemala. Consultado 15 ene. 2017. Disponible en [http://web.maga.gob.gt/wp-content/uploads/pdf/home/programa\\_agricultura.pdf](http://web.maga.gob.gt/wp-content/uploads/pdf/home/programa_agricultura.pdf)
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2013a. Climate-Smart Agriculture Sourcebook (en línea). Roma, Italia. Consultado 10 ene. 2017. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/018/i3325e/i3325e00.htm>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2013b. Marco Estratégico Regional para la gestión de riesgos climáticos en el sector agrícola del Corredor Seco Centroamericano (en línea). Roma, Italia. Consultado 09 dic. 2016. Disponible en [https://coin.fao.org/coin-static/cms/media/14/13590441298720/marco\\_estratgico\\_corredor\\_seco.pdf](https://coin.fao.org/coin-static/cms/media/14/13590441298720/marco_estratgico_corredor_seco.pdf)
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2015. Programa de fortalecimiento de la resiliencia en el Corredor Seco Centroamericano (en línea). Roma, Consultado 10 dic. 2017. Disponible en <http://www.fao.org/emergencias/recursos/documentos/recursos-detalle/es/c/330169/>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2016. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Resumen (en línea). Roma, Italia. Consultado 09 dic. 2016. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i6132s.pdf>

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2017. FAOSTAT, Crops (en línea). Consultado 28 dic. 2017. Disponible en <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Fuentes, J. 1993. Potencial de tres leguminosas para el cultivo en callejones en terrenos en ladera. Tesis Lic. Tegucigalpa, Honduras, Zamorano. 72 p.
- Garay, JA; Colazo, JC; Thornton, R; Rivarola, RA; Bernasconi, HO; Verges, MA; Montiel, EO. 2015. El cultivo de maíz en San Luis (en línea). *In* Garay, JA; Colazo, JC (eds.). s.l., Inta Ediciones. (Información Técnica 188). Consultado 10 ene. 2017. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/281273477\\_El\\_cultivo\\_de\\_maiz\\_en\\_San\\_Luis](https://www.researchgate.net/publication/281273477_El_cultivo_de_maiz_en_San_Luis)
- Gómez-Baggethun, E; de Groot, R. 2007. Capital natural y funciones de los ecosistemas: explorando las bases ecológicas de la economía. *Revista Ecosistemas* 16(3):4-14.
- ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas). 2012. Aspectos generales y guía para el manejo agronómico del maíz en Guatemala (en línea). Guatemala. Consultado 25 ene. 2017. Disponible en <http://www.icta.gob.gt/publicaciones%202015/Documentos%20pag.%20web%20da%20eta%20pa/Granos%20Basicos/Maiz/Manuales/2013/Aspectos%20generales%20y%20guia%20para%20el%20manejo%20del%20maiz.pdf>
- ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas). 2014. Recomendaciones técnicas para el cultivo de maíz para zonas de producción comprendidas entre 0 a 1400 msnm (en línea). Guatemala. Consultado 25 ene. 2017. Disponible en <http://www.icta.gob.gt/publicaciones%202015/Documentos%20pag.%20web%20da%20eta%20pa/nuevos/Recomendaciones%20tecnicas%20de%20maiz%20ICTA.pdf>
- ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas). 2015. Recomendaciones técnicas para el cultivo de maíz en el oriente de Guatemala (en línea). Guatemala. Consultado 24 ene. 2017. Disponible en <http://www.icta.gob.gt/publicaciones%202015/Documentos%20pag.%20web%20da%20eta%20pa/nuevos/Recomendaciones%20tecnicas%20para%20el%20cultivo%20de%20maiz%20en%20el%20oriente%20de%20Guatemala%202015.pdf>
- IEG (Independent Evaluation Group). 2010. Cost-Benefit Analysis in World Bank Projects (en línea). Washington, DC. United States of America, World Bank. (Fast Track Brief). Consultado 12 dic. 2017. Disponible en <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/10481/570370BRI0Box31esk1to1desk106129110.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- INE (Instituto Nacional de Estadística, Guatemala). 2013. Caracterización departamental. Chiquimula 2013 (en línea). Guatemala, Consultado 09 dic. 2016. Disponible en <https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2015/07/20/8TWL4VjsnV7DqR0iZLliPbep0pBWEpQ.pdf>
- INE (Instituto Nacional de Estadística, Guatemala). 2015a. República de Guatemala: Encuesta Nacional Agropecuaria 2014 (en línea). Guatemala. Consultado 19 ene. 2017. Disponible en <http://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2015/10/16/iQH6CPCSZUC1uOPe8fRZPen2qvS5DWsO.pdf>

- INE (Instituto Nacional de Estadística, Guatemala). 2015b. Encuesta Nacional Agropecuaria. Superficie cultivada y producción (en línea). Guatemala. Consultado 09 dic. 2016. Disponible en <https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2016/10/04/PqrbKvoTCXA0f3A1TR7rlwL7R545pAZ4.pdf>
- INE (Instituto Nacional de Estadística, Guatemala). 2015c. Compendio Estadístico Ambiental 2014 (en línea). Guatemala. Consultado 11 dic. 2017. Disponible en <https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2015/12/18/umjNRzBvEh3f5AVv9JrMBjUFDEbT636U.pdf>
- INE (Instituto Nacional de Estadística, Guatemala). 2016. Encuesta Nacional de Empleo e Ingresos (en línea). Guatemala, Consultado 09 dic. 2016. Disponible en <https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2016/09/22/PKdhtXMmr18n2L9K88eMlGn7CcctT9Rw.pdf>
- IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). 2014a. El Quinto Reporte de Evaluación del IPCC ¿Qué implica para Latinoamérica? (en línea). Ginebra, Suiza. Consultado 08 mar. 2016. Disponible en <http://cdkn.org/wp-content/uploads/2014/12/INFORME-del-IPCC-Que-implica-para-Latinoamerica-CDKN.pdf>
- IPC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). 2014b. Cambio Climático 2013 Bases Físicas (en línea). Ginebra, Suiza. Consultado 10 oct. 2017. Disponible en [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5\\_SummaryVolume\\_FINAL\\_SPANISH.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL_SPANISH.pdf)
- IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). 2014c. Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad - Resumen para responsables de políticas. Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (en línea). Ginebra, Suiza. Consultado 6 ago. 2016. Disponible en [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5\\_wgII\\_spm\\_es.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/ar5_wgII_spm_es.pdf)
- IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). 2014d. Cambio climático 2014 Informe de síntesis (en línea). Ginebra, Suiza. Consultado 10 dic. 2016. Disponible en [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full\\_es.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full_es.pdf)
- IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). 2014e. Anexo II. Glosario (en línea). Ginebra, Suiza. Consultado 10 dic. 2016. Disponible en [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5\\_SYR\\_glossary\\_ES.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_glossary_ES.pdf)
- Kumar, K; Goh, K. 1999. Crop residues and management practices: effects on soil quality, soil nitrogen dynamics, crop yield, and nitrogen recovery *Advances in agronomy* 68:197-319.
- Lemus, M. 2013. Evaluación de los sistemas agroforestales conformados por árboles dispersos con cultivos agrícolas, en el municipio de San Juan Ermita, Departamento de Chiquimula, Guatemala. (en línea). Tesis. Ing. Agr. en Sistemas de Producción. Chiquimula, Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. 159 p. Consultado 09 dic. 2016. Disponible en <http://infoambiental.org/index.php/docs/tesis/details/42/66/tesis-evaluaci%C3%B3n-de-los-sistemas-agroforestales-conformados-por-arboles-dispersos-con-cultivos-agr%C3%ADcolas,-en-el-municipio-de-san-juan-ermita,-departamento-de-chiquimula,-guatemala-mario-augusto-lemus-guerra>



- Lipper, L; Thornton, P; Campbell, BM; Baedeker, T; Braimoh, A; Bwalya, M; Caron, P; Cattaneo, A; Garrity, D; Henry, K; Hottle, R; Jackson, L; Jarvis, A; Kossam, F; Mann, W; McCarthy, N; Meybeck, A; Neufeldt, H; Remington, T; Sen, PT; Sessa, R; Shula, R; Tibu, A; Torquebiau, EF. 2014. Climate-smart agriculture for food security (Perspective). *Nature Climate Change* 4:1068-1072. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1038/nclimate2437>
- Lipper, L; McCarthy, N; Zilberman, D; Asfaw, S; Branca, G. 2018. *Climate Smart Agriculture: Building Resilience to Climate Change*. Roma, Italia, Springer.
- López, M. 2002. El cultivo del maíz en Guatemala, una guía para su manejo agronómico. Guatemala, ICTA. 45 p.
- López Mtz, JD; Díaz Estrada, A; Martínez Rubin, E; Valdez Cepeda, RD. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra latinoamericana* 19(4):293-299.
- MAP (Programa Agroambiental Mesoamericano). 2013. *Desarrollo rural sostenible en dos territoriosclimáticamente inteligentes de Centroamérica*. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 57 p.
- MAP (Programa Agroambiental Mesoamericano). 2016. *Informe Anual 2015. Resumen. Atendiendo las necesidades de miles de familias rurales centroamericanas, a través del enfoque de territorios climáticamente inteligentes (TCI)*. Turrialba, Costa Rica, CATIE. 34 p.
- Mendieta, M; Rocha, L. 2007. *Sistemas agroforestales (en línea)*. Managua, Nicaragua, Universidad Nacional Agraria. Consultado 09 dic. 2016. Disponible en [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/training\\_material/docs/1\\_RENF08M538.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/training_material/docs/1_RENF08M538.pdf)
- Montes, C; Sala, O. 2007. La Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Las relaciones entre el funcionamiento de los ecosistemas y el bienestar humano. *Revista Ecosistemas* 16(3):137-147.
- Ortega, B. 2012. *Análisis Coste-Beneficio (en línea)*. s.l., Instituto Econospérides. Consultado 10 dic. 2017. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5583839>
- Palombi, L; Sessa, R. 2013. *Climate-smart agriculture: sourcebook*. Rome, Italy, FAO. 557 p.
- Ramírez, J. 2016. *Análisis Costo–Beneficio de Prácticas ASAC en la Cuenca del Río Palacé*. Calí, Colombia, CIAT.
- Reid, WV; Mooney, H; Cropper, A; Capistrano, A; Carpenter, S; Chopra, K; Dasgupta, P; Dietz, T; Kumar, A; Rashid, D. 2005. *Evaluación de los ecosistemas del milenio. Informe de Síntesis*. (Manuscrito no publicado).
- Ritchie, SW; Hanway, JJ. 1992. *How a corn plant develops*. Ames, Iowa, Iowa State University of Science and Technology. 48 p.
- Sartori, D; Catalano, G; Genco, M; Pancotti, C; Sirtori, E; Vignetti, S; Del Bo, C. 2014. *Guide to Cost-benefit Analysis of Investment Projects. Economic Appraisal Tool for Cohesion Policy 2014-2020*. Italy, European Commission, Directorate-General for Regional and Urban policy.
- Segeplan (Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, Guatemala). 2010. *Plan de desarrollo, Camotán, Chiquimula*. Guatemala. 149 p.

- Segeplan (Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, Guatemala). 2011a. Municipio de Camotán. Caracterización y Diagnóstico. Ordenamiento Territorial (en línea). Guatemala (Informe Final). Consultado 09 dic. 2016. Disponible en [http://sintet.net/index.php?option=com\\_sobi2&sobi2Task=sobi2Details&catid=166&sobi2Id=963&Itemid=](http://sintet.net/index.php?option=com_sobi2&sobi2Task=sobi2Details&catid=166&sobi2Id=963&Itemid=)
- Segeplan (Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia, Guatemala). 2015. Informe anual de la Política de Desarrollo Social y Población 2015. Guatemala, Editorial Serviprensa. 270 p.
- Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México); PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 2006. El cambio climático en América Latina y el Caribe (en línea). México. Consultado 10 dic. 2016. Disponible en [www.oei.es/historico/decada/ElcambioClimatico\\_r.pdf](http://www.oei.es/historico/decada/ElcambioClimatico_r.pdf)
- Sesan (Secretaría de Seguridad Alimentaria y Nutricional de la Presidencia de la República, Guatemala). 2014. Informe evaluación de daños ocasionados por canícula 2014 (en línea). Guatemala. Consultado 20 ene. 2017. Disponible en [http://sintet.net/index.php?option=com\\_sobi2&sobi2Task=sobi2Details&catid=1&sobi2Id=1149&Itemid=](http://sintet.net/index.php?option=com_sobi2&sobi2Task=sobi2Details&catid=1&sobi2Id=1149&Itemid=)
- Smith, P; Martino, D; Cai, Z; Gwary, D; Janzen, H; Kumar, P; McCarl, B; Ogle, S; O'Mara, F; Rice, C. 2008. Greenhouse gas mitigation in agriculture Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Biological Sciences 363(1492):789-813.
- Soto Quan, S. 2012. Organización empresarial (producción de maíz) y proyecto: producción de sandía. Tesis. Licenciatura en Economía. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. 162 p.
- UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza); Acicafoc (Asociación Coordinadora Indígena y Campesina de Agroforestería Comunitaria Centroamericana). 2009. ABC Cambio Climático (en línea). San José, Costa Rica. Consultado 18 abr. 2016. Disponible en <https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2009-092.pdf>
- UN (Naciones Unidas). 1992. Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático (en línea). Nueva York, Estados Unidos. Consultado 10 dic. 2016. Disponible en <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- USDA (United States Department of Agriculture). 2008. Clasificación de tierras por capacidad de uso. Metodología del USDA (Land capability classification). Tobías, H; Salguero, M (trads.). Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. 37 p.
- Vallejo, C; Chacón, M; Cifuentes, M. 2016. Sinergias entre adaptación y mitigación del cambio climático (SAM) en los sectores agrícola y forestal. Concepto y propuesta de acción. Turrialba, Costa Rica, CATIE.
- Van Etten, J; Fuentes, MR. 2004. La crisis del maíz en Guatemala: las importaciones de maíz y la agricultura familiar. Anuario de Estudios Centroamericanos 30(1/2):51-66. Disponible en <http://www.jstor.org/stable/25661376>
- Villarreyña Acuña, R; Cerda Bustillos, R; Echeverría, J; Padilla, D; Suchini, JG; Posada, E; Moscoso, C; Mercado, L. 2016. Priorización de inversiones en Agricultura Climáticamente Inteligente (ACI):



Prácticas agropecuarias de huertos caseros, granos básicos, sistemas agroforestales y pasturas priorizadas en el territorio Trifinio. Turrialba, Costa Rica, CATIE.

WRI (World Resources Institute). 2003. Ecosistemas y Bienestar Humano: Marco para la Evaluación. Wittig, F (trad.). Washington, DC, United States of America. 31 p.

Zacarías de Pedro, OR. 2015. Efecto de la lombriz coqueta roja (*Eisenia foetida*, Lumbricidae) sobre la calidad nutricional de seis sustratos; Chajul, Quiché (2002) Estudio de Caso. Tesis. Lic. Agronomía. Quetzaltenango, Guatemala, Universidad Rafael Landívar. 59 p.



## 2. ARTICULOS CIENTÍFICOS

### 2.1 ARTÍCULO I. Efecto de las prácticas promisorias de la agricultura climáticamente inteligentes: árboles dispersos con rastrojos, árboles dispersos y manejo de rastrojos utilizadas en el cultivo de maíz (*Zea mays*) con tres tipos de fertilización sobre la humedad del suelo en La Libertad, Camotán, Chiquimula

#### Resumen

Con el objeto de evaluar los efectos benéficos de nueve prácticas promisorias de la agricultura climáticamente inteligente utilizadas en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*), sobre las características físico-químicas del suelo y su relación con el porcentaje de humedad del suelo en período de canícula, se llevó a cabo esta investigación en la comunidad de La Libertad, Municipio Camotán, Departamento de Chiquimula, territorio Trifinio, en el Marco del Programa Agroambiental Mesoamericano (MAP) del CATIE, el cual fue financiado por la embajada de Noruega. En dicha comunidad, entre el 2013 y 2017 se brindó capacitación técnica a los productores para la utilización de estas prácticas. El diseño del experimento fue en bloques al azar con parcelas divididas. Las prácticas o manejos<sup>2</sup> evaluados fueron: i) Árboles dispersos con manejo de rastrojos (AD+MR); ii) árboles dispersos (AD); y iii) manejo de rastrojos (MR). Estas prácticas se dividieron, de acuerdo a la fertilización aplicada, en tres tipos: a) convencional (FC); b) orgánica (FO) y c) química (FQ). La información sobre los parámetros del suelo se obtuvo siete días antes de la siembra. La canícula dio inicio el 7 de julio del 2017 y los porcentajes de humedad se obtuvieron el 26 de julio y 8 de agosto de 2017, a una profundidad de 20 cm. Los resultados indican que, después de cuatro años documentados de utilización de las prácticas, existe una correlación entre los parámetros físicos y químicos con la textura del suelo, más que con la utilización de las prácticas. No se encontró un efecto en la humedad del suelo de la interacción, las prácticas y la fertilización ( $P=0,059$ ) y ( $P=0,129$ ) en los dos tiempos considerados. Desde otra perspectiva, los suelos franco-arcillosos presentaron una humedad mayor que los suelos francos en los dos muestreos (79% y 49%), con una mayor retención de humedad en las parcelas que incorporaron árboles en comparación con las que no.

#### Palabras Clave

Árboles dispersos, manejo de rastrojos, humedad de suelo, agricultura climáticamente inteligente, *Zea mays*, corredor seco centroamericano, suelos.

---

<sup>2</sup> Los términos práctica y manejo se utilizaron indistintamente para describir las parcelas principales.

## Abstract

This research was carried out in order to evaluate the beneficial effects of nine climate-smart agricultural practices used in maize (*Zea mays L.*) on the physical-chemical characteristics of the soil and its relationship with the soil moisture percentage during the period of heat, in the community of La Libertad, Camotán Municipality, Department of Chiquimula, of the Trifinio territory, within the framework of MAP's Mesoamerican Agro-Environmental Program of CATIE, financed by the Norwegian embassy. Technical training was provided to producers in the community to use these practices between 2013 and 2017. The design of the experiment was Randomized Complete Block Design with Subsamples. The practices evaluated were: i) Scattered trees with maize residues (AD+MR), ii) Scattered trees (AD), and iii) maize residues management (MR) divided into three types of fertilization: a) conventional (FC), b) organic (FO) and c) chemical (FQ). Soil parameters were obtained seven days before sowing. The heat wave started on July 7, 2017 and the humidity percentages were obtained on July 26 and August 8 2017, at a 20 cm depth. The results indicate that, after four documented years of use of the practices, there is a correlation between physical and chemical parameters with the texture of the soil, rather than by the use of practices. For soil moisture there is no effect of the interaction between practices and fertilization ( $P=0.059$ ) and ( $P=0.129$ ) in both times. From another perspective, the loam-clayey soils presented 79% and 49% higher humidity than the loam soils in the two samplings, with a higher humidity retention in the plots that incorporate trees compared with those that do not.

## Key words

Scattered trees, maize residues management, soil moisture, Climate-smart agriculture, *Zea mays*, Central America Dry Corridor, soils.

## 2.2 Introducción

El municipio de Camotán, Chiquimula, se ubica en el llamado corredor seco centroamericano, que corresponde al bosque tropical seco. Es afectado por períodos recurrentes de sequía en condiciones de alta vulnerabilidad (FAO 2015; Lizarazo *et al.* 2016). Efectos climáticos extremos como este, afecta las condiciones y los medios de vida de las comunidades (Kang *et al.* 2009; Eckstein *et al.* 2017). La época lluviosa inicia a finales de abril e inicios de mayo; es interrumpida por períodos de precipitación reducida entre julio y agosto conocidos como "canícula" o "veranillo", con un segundo pico de baja precipitación en octubre (Alfaro 2007). En el año 2017, el número de días con lluvias superó la media de los últimos 17 años por 18 días (Figura 7) y los 1522 mm de precipitación anual en un 30% (Figura 7), a pesar de estar en condiciones neutrales ENSO (NOAA 2017).

Los suelos en la región semiárida son poco profundos, pedregosos y predominantemente ácidos (FAO 2010a). Al estar en ladera, están expuestos a la erosión hídrica y eólica, haciéndolos menos fértiles y afectando la producción de cultivos, especialmente por la disponibilidad limitada de agua y el bajo contenido de materia orgánica (2,26%) (Altieri *et al.* 2015; Bartolón y Sánchez Bellón 2016), y son aún más vulnerables a la erosión, acidificación, contaminación química y salinización por el empleo de

prácticas como la tala de los bosques, el sobrepastoreo y las quemadas anuales (Semarnat y PNUMA 2006; Lemus 2013; Bolaños 2014). Todos estos problemas resultan de mucho interés para la sostenibilidad de la agricultura (Akinnifesi *et al.* 2006; Antúnez B. *et al.* 2015)

La erosión e infertilidad de los suelos puede causar su agotamiento comprometiendo la producción agrícola y afectando la seguridad alimentaria de los productores. Este efecto puede reducirse mediante la adopción de prácticas de conservación y manejo de suelos, rotación de cultivos y abonos verdes (Zea *et al.* 1997; Ekasingh *et al.* 2004; Morton 2007; Shiferaw *et al.* 2014).

Roco Fuentes *et al.* (2012) señalan que los parámetros como la edad y capacitación del productor y el tamaño del terreno tienen una relación positiva con la adopción de este tipo de medidas para la conservación de la humedad en el suelo y una mejora en los ciclos de los nutrientes, ambos fundamentales para garantizar la productividad de los cultivos. Rosenstock *et al.* (2014) por su parte, recomienda considerar variables socioeconómicas y del terreno para ejecutar un proyecto de transferencia de tecnologías.

Con el enfoque de agricultura climáticamente inteligente (ACI) se pretende incrementar la productividad, contribuir a la adaptación de los sistemas productivos y a la mitigación del cambio climático reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero, utilizando prácticas que mejoren la calidad del suelo, el uso racional del agua, contribuyan al control de plagas y enfermedades, fortalezcan los ecosistemas y recursos genéticos, además de mejorar los procesos de cosecha y cadenas de valor (FAO 2010b). El empleo de las prácticas de árboles y rastrojos, árboles dispersos y manejo de rastrojos, las cuales fueron evaluadas y promovidas por MAP-Noruega en la zona, puede contribuir a reducir el riesgo de un déficit de humedad del suelo en los períodos de floración y formación del fruto, que suelen coincidir con la canícula, afectando el rendimiento de los cultivos (Thierfelder *et al.* 2013; Chicas *et al.* 2014; Shiferaw *et al.* 2014).

Las prácticas de árboles con rastrojos y manejo de rastrojo contribuyen a la reducción de la labranza hasta en un 25%, y con un mínimo del 30% de residuos de cultivos, mejora la textura, la temperatura y la humedad del suelo, incrementando la productividad y promoviendo la sostenibilidad en zonas con escasez de agua (Erenstein 1999; Richards *et al.* 2014).

La capacidad de absorción, retención y disposición de agua para las plantas es una función fundamental del suelo (Santos *et al.* 2006), propiedades que son conservadas con la diversidad y complejidad de los sistemas tradicionales indígenas como el kuxur rum, cuya eficiencia es comprobada con la existencia de millones de hectáreas bajo estos sistemas (Altieri *et al.* 2015), lo cual resalta la importancia de rescatar y estudiar las prácticas que emplean diversas culturas.

## 2.3 Materiales y métodos

### 2.3.1 Localización

La investigación se realizó en la comunidad La Libertad, en el municipio de Camotán, departamento de Chiquimula, Guatemala. Las parcelas se ubicaron dentro de las coordenadas 14°87'09 a 14°88'27 latitud norte y -89°26'02 a -89°27'42 longitud oeste (Figura 4), con una altitud que varía entre 560 msnm hasta 698 msnm, con pendientes entre 3-55%.

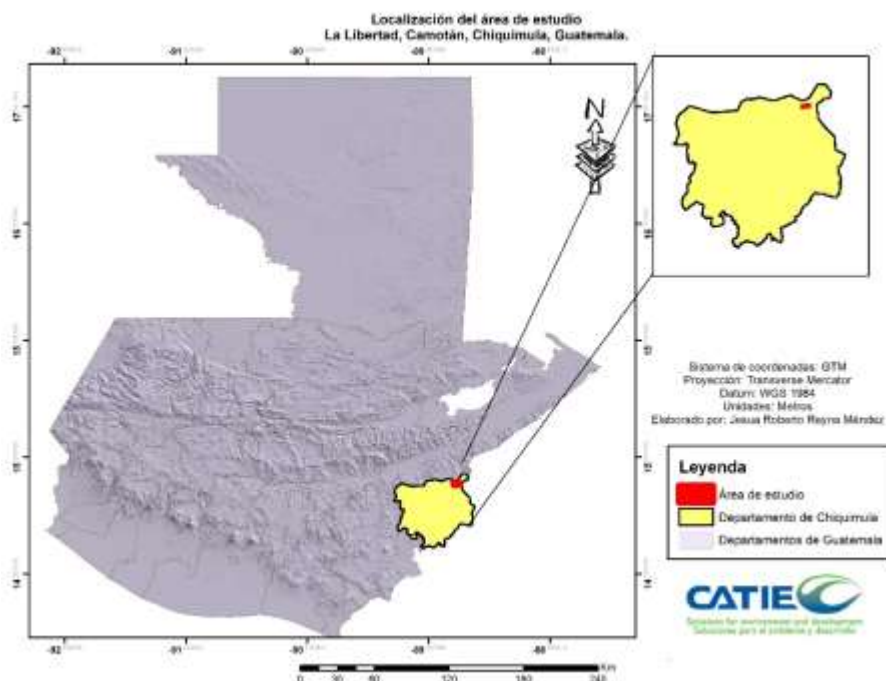


Figura 4. Mapa de localización de La Libertad, Camotán, Chiquimula, Guatemala

### 2.3.2 Descripción de los suelos

El origen de los suelos de la zona son rocas ígneas y metamórficas del período paleozoico constituidas por esquistos, cuarcitas, pizarras, migmatitas y filitas y del período terciario constituidas de piroclastos. Los suelos son del orden entisoles y suborden orthents, derivados de materiales aluviónicos y residuales, de textura moderadamente gruesa a fina, los cuales tienen poca profundidad y son pedregosos, pobres en materia orgánica, con un potencial de fertilidad bajo y con características físicas que limitan su aprovechamiento agrícola debido a su tendencia a la erosión. Poseen un relieve ondulado, accidentado y escarpado, con pendientes fuertes que limitan su formación. La capacidad de uso del suelo de la zona es VII, con vocación forestal y de pastoreo limitado (OEA 1978; USDA 1999; MAGA-UPGR 2005; Chacón 2014).

### 2.3.3 Descripción del clima

La zona de vida corresponde al bosque seco subtropical (Bs T), según Holdridge (1966), obtenida a partir de los datos provenientes del periodo 1990-2016 de la estación meteorológica de Camotán, Chiquimula, perteneciente al Insivumeh, con temperaturas promedio máxima, mínima y media de 36,1 °C, 18,3 °C, y 25,9°C respectivamente y una precipitación media anual de 1135,2 mm (Figura 5). La estación se ubica en las coordenadas 14°49'14 latitud norte y 89°22'22 longitud oeste, a una altura de 450 msnm y a 13 km del área de estudio. En la Figura 6 se observa el comportamiento de la precipitación en mm y días; los años con menor cantidad de días de precipitación corresponden a una menor precipitación.

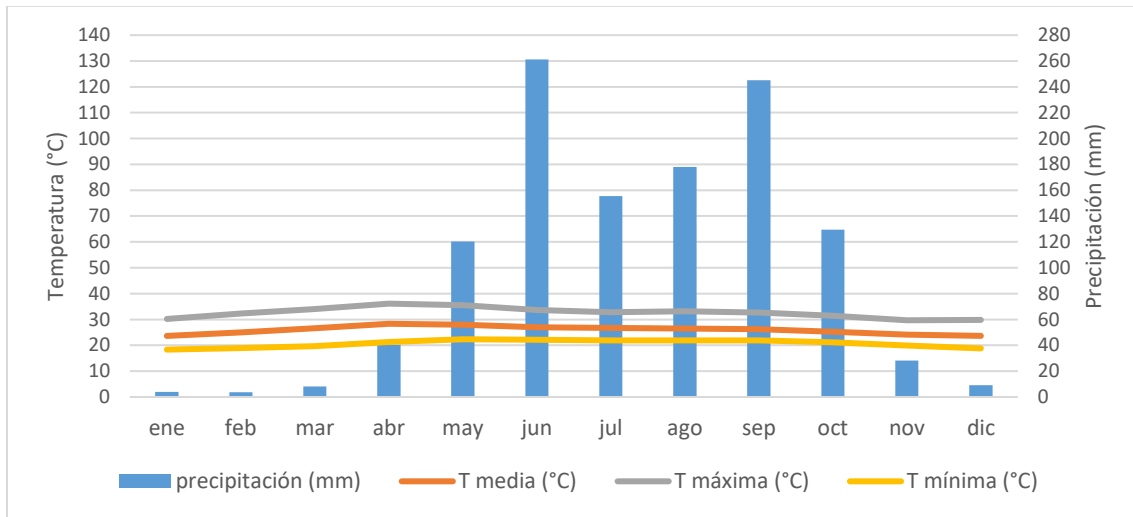


Figura 5. Climograma de Camotán, Chiquimula, Guatemala para el periodo 1990-2017  
Fuente: elaborado con datos del Insivumeh

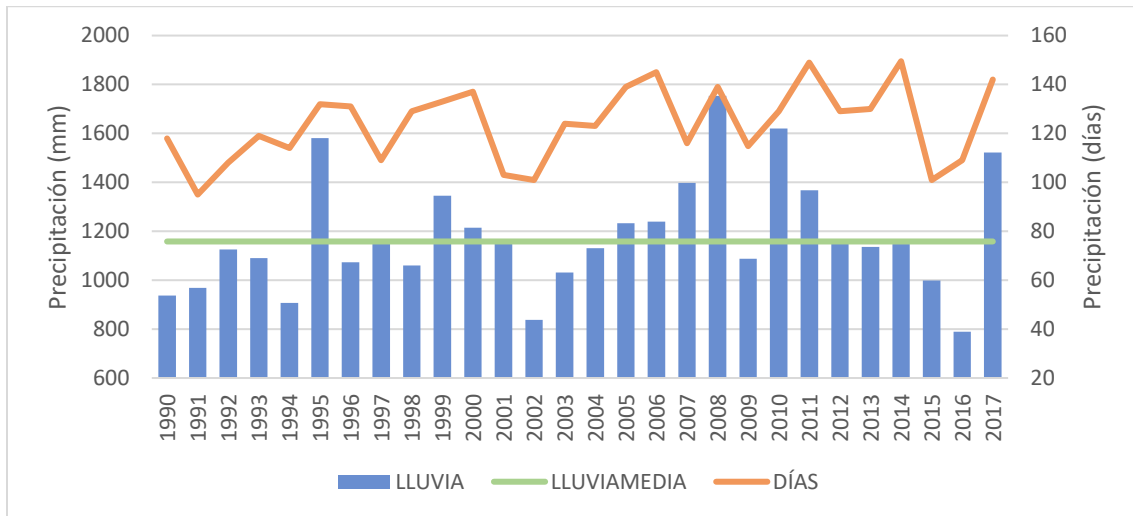
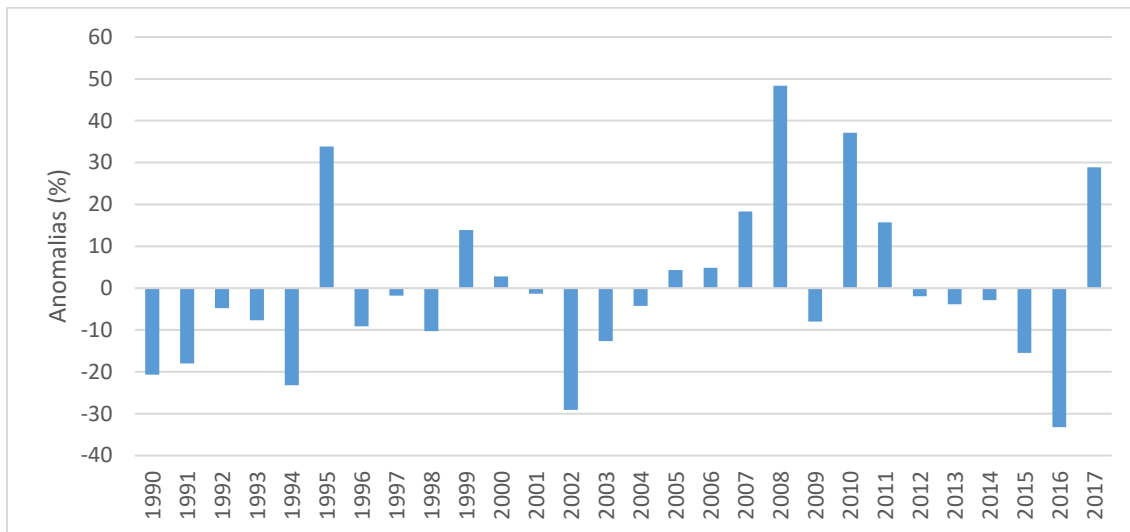


Figura 6. Precipitación anual en milímetros y días de Camotán, Chiquimula, Guatemala durante el periodo 1990-2017  
Fuente: elaborado con datos del Insivumeh

En la Figura 7 se observa el comportamiento de la precipitación respecto a la media del periodo 1990-2017 en porcentaje (1181,40 mm). Se evidencia la tendencia de una reducción de la precipitación cada 12 años y un incremento durante el 2017, lo que explica las diferencias en los rendimientos del cultivo de maíz para la zona.



**Figura 7.** Anomalías anuales de precipitación (%) en Camotán, Chiquimula, Guatemala durante el periodo 1990-2017

Fuente: elaborado con datos del Insivumeh

### 2.3.4 Diseño experimental

El experimento se diseñó en bloques completamente al azar con parcelas divididas, donde las parcelas fueron: i) manejo de rastrojos y árboles dispersos, ii) árboles dispersos y iii) manejo de rastrojos. Las parcelas fueron divididas de acuerdo a la aplicación de tres tipos de fertilización: a) convencional (FC), b) fertilización orgánica (FO) y c) fertilización química (FQ), con tres repeticiones cada una. Se consideró como bloque cada parcela para eliminar el efecto del productor.

Las parcelas fueron de 20x20 m (1 tarea); se consideraron cinco surcos para las subparcelas con fertilización convencional y ocho surcos con fertilización química y fertilización orgánica, con un tamaño de 5x20 m y 7,5x20 m respectivamente. Se consideró un surco en los extremos de las subparcelas para eliminar el efecto de borde.

### 2.3.5 Descripción de las prácticas

En el Cuadro 4 se describen las prácticas que fueron empleadas por los productores para el experimento, con el nombre correspondiente a las prácticas promisorias de la agricultura climáticamente inteligente, el nombre local con su respectiva descripción, las actividades para el mantenimiento de la práctica, los subproductos que se obtienen, los cobeneficios en adaptación y mitigación y la cantidad de árboles en las parcelas de 20x20 m.



Cuadro 4. Descripción de las prácticas utilizadas por los productores, Camotán, Chiquimula, Guatemala

<b>Nombre ACI</b>	<b>Árboles dispersos + manejo de rastrojos</b>	<b>Árboles dispersos</b>	<b>Manejo de rastrojos</b>
<b>Nombre local</b>	Kuxur rum	Kuxur rum con pastoreo	Manejo de rastrojos
<b>Descripción ACI</b>	Consiste en la siembra de árboles maderables y de especies leguminosas de manera dispersa y utilizar eficientemente los rastrojos de cultivos o de la vegetación existente en el campo con el fin de conservar el suelo.	Consiste en la siembra de árboles maderables y de especies leguminosas de manera dispersa y utilizar los rastrojos para la alimentación animal.	Consiste en el uso eficiente de los rastrojos de cultivos (restos de cosecha) o de la vegetación existente en el campo con fines de conservar el suelo. El material vegetal se corta, se pica y se dispersa en el campo para cubrir el suelo. Sirve como cobertura de suelo.
<b>Actividades para mantenimiento de la práctica</b>	Se podan los árboles más grandes y se eliminan los más pequeños. Las hojas y las ramas más delgadas se colocan sobre el terreno formando hileras; el resto es utilizado como leña. El rastrojo de la cosecha anterior se deja en la parcela como cobertura y se ubica en hileras sobre el terreno previo a la siembra.	Se podan los árboles más grandes y se eliminan los más pequeños. Las hojas y las ramas más delgadas se colocan sobre el terreno formando hileras, el resto es utilizado como leña. Los rastrojos de la cosecha anterior son pastoreados por ganado menor durante la época seca hasta agotarlo.	El rastrojo de la cosecha anterior se deja en la parcela como cobertura; previo a la siembra se ubica en hileras sobre el terreno donde se realiza la siembra.
<b>Subproductos</b>	Leña para preparación de alimentos  Tusa o envoltura de la mazorca para la elaboración de alimentos.	Leña para preparación de alimentos  Tusa o envoltura de la mazorca para la elaboración de alimentos.  Restos de los cultivos como alimento animal.	Tusa o envoltura de la mazorca para la elaboración de alimentos.
<b>Cobeneficios (adaptación y mitigación)</b>	Regulación de microclima en la parcela Protección contra vientos fuertes Conservación de humedad en el suelo Reciclaje de nutrientes Mejora estructura del suelo Reducción de erosión hídrica y eólica Reducción de emisiones por minimizar la labranza y la aplicación de fertilizantes y cero quemas Captura de carbono Incremento de la biodiversidad	Regulación de microclima en la parcela Protección contra vientos fuertes Conservación de humedad en el suelo Reciclaje de nutrientes Reducción de erosión hídrica y eólica Reducción de emisiones por minimizar la labranza y la aplicación de fertilizantes, y cero quemas Captura de carbono Incremento de la biodiversidad	Conservación de humedad en el suelo Reciclaje de nutrientes Reducción de erosión hídrica y eólica Reducción de emisiones por minimizar la labranza y la aplicación de fertilizantes y cero quemas Incremento de la biodiversidad
<b>Cantidad de árboles en la parcela</b>	19	12	3

### **2.3.6 Descripción de la siembra**

La siembra se realizó de manera manual entre el 15 y 17 de mayo de 2017; se utilizó la variedad mejorada de maíz ICTA B-7 debido a su toleración a sequías. Asimismo, las semillas fueron tratadas con el regulador de crecimiento "Vigor" para tener una germinación más homogénea y con el insecticida "Marshall" para evitar su pérdida durante la etapa de germinación. Se hicieron surcos cada 0,8 m y se depositaron dos semillas cada 0,45 m, según las recomendaciones técnicas del Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícola (ICTA) de Guatemala (ICTA 2014), para una densidad de 2222 por tarea (tamaño de la parcela) y de 52 000 plantas/ha.

Esta densidad de siembra es similar a la reportada por Setimela *et al.* (2017), quienes utilizaron un equivalente 53 333 plantas/ha con maíz tolerante a sequías en una zona semi-árida de África. Es importante resaltar que los productores no dejan una sola planta por postura, lo cual se recomienda para reducir la intracompetencia y no afectar el rendimiento, contrariamente a lo indicado por Mupangwa *et al.* (2007) quienes, a pesar de utilizar tres semillas por postura, seleccionan las más vigorosa para dejarla en la postura, evaluando una densidad teórica de 37 000 plantas/ha.

### **2.3.7 Descripción de la fertilización**

Los tres tipos de fertilización se describen a continuación:

a) La fertilización convencional se realizó mediante una aplicación de urea cuando las hojas de las plantas se tornaron amarillas, entre los 30 y 45 días desde la siembra; equivalente al uso de 1 qq de urea granulada por ha, la cual utilizan los productores de la zona debido a la limitada disponibilidad de dinero en efectivo y los altos costos de los fertilizantes.

b) La fertilización orgánica, que consistió en la aplicación de lombricompost de café siete días antes de la siembra, en surcos a 20 cm de profundidad cubiertos por la misma tierra, y a los 45 días de la siembra sobre cada postura con un equivalente a 394 qq/ha, con el fin de determinar si los beneficios de su aplicación podrían reemplazar la utilización de fertilizantes químicos e incentivar a los productores a que realicen su propio compostaje.

c) La fertilización química, que consistió en la aplicación de un equivalente de 4 qq/ha de fertilizante 20-20-0 a los 15 días de la siembra, 4 qq/ha de 15-15-15 a los 30 días y 4 qq/ha de urea granulada a los 45 días. Las aplicaciones se hicieron a 5 cm de la planta con la ayuda de un chuzo, según las recomendaciones de los distribuidores de fertilizantes para producir maíz en la zona en condiciones óptimas de lluvias.

### **2.3.8 Parámetros del suelo**

Para la obtención de los parámetros fisicoquímicos del suelo de las parcelas, se realizó un muestreo compuesto del 17 al 28 de abril del 2017, el mismo día que se delimitaron las parcelas. Se obtuvieron cinco submuestras con una pala en "X", a una profundidad de 15 cm. Las submuestras fueron mezcladas en un costal, para obtener de esta forma nueve muestras compuestas de 2,2 lb. La misma fue almacenada en bolsas *ziploc* y enviadas al laboratorio de suelos del Centro Universitario de Oriente de la Universidad de San Carlos de Guatemala donde se analizaron. Para determinar las correlaciones se realizó el análisis de componentes principales utilizando el *software* estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.* 2017).

### **2.3.9 Parámetros de humedad**

Para la obtención del contenido de humedad del suelo se realizaron dos muestreos, los días 26 de julio y 8 de agosto de 2017, a los 20 de iniciada y a los 11 días de finalizada la canícula, con el objetivo de determinar el comportamiento de la humedad del suelo según las prácticas utilizadas. De la misma manera como se obtuvieron las muestras de los parámetros fisicoquímicos, se tomaron cinco submuestras en "X" por cada subparcela, obteniéndose 27 muestras compuestas. Estas muestras fueron divididas en dos para realizar el análisis de humedad volumétrica en el laboratorio de suelos de Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Para el muestreo del 26 de julio de 2017 se tomaron las muestras por tipo de fertilización: fertilización convencional, orgánica y química al mismo tiempo por cada parcela, iniciando a las 07:16 hrs y terminando a las 11:42 hrs, en nueve tiempos distintos con el fin de determinar si existían diferencias en el porcentaje de humedad según el tipo de fertilizante; se consideró el tiempo desde la toma de la primera muestra como covariable.

Para el muestreo del 8 de agosto de 2017 se tomaron las muestras por el tipo de manejo: árboles dispersos y rastrojos, árboles dispersos y manejo de rastrojos al mismo tiempo, iniciando a las 08:38 hrs y terminando a las 10:02 hrs, en tres tiempos distintos para determinar si existían diferencias en el porcentaje de humedad según la práctica empleada.

Se utilizó modelos lineales generalizados y mixtos, con la parcela como variable aleatoria, el manejo y la fertilización y su interacción como variable fija y el tiempo del muestreo del 26 de julio 2017 como covariable, utilizando el *software* estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.* 2017).

## 2.4 Resultados

### 2.4.1 Análisis de parámetros del suelo

En la Figura 8 se observa el análisis de componentes principales. Los dos primeros ejes explicaron el 64,1% de la varianza. No se observan correlaciones entre los parámetros fisicoquímicos del suelo y las prácticas empleadas por los productores; sin embargo, las correlaciones con la textura del suelo son evidentes. Los suelos franco-arcillosos presentaron mayor correlación positiva con el porcentaje de materia orgánica (MO), punto de marchitez permanente (PMP%), capacidad de campo (CC%), calcio (Ca), magnesio (Mg) y el porcentaje de humedad. Por su parte, los suelos francos presentaron mayor correlación positiva con la densidad real (Dr), densidad aparente (Da), espacio poroso total (EPT%), potasio (K), zinc (Zn), manganeso (Mn), hierro (Fe), cobre (Cu) y los rendimientos con fertilización orgánica y química.

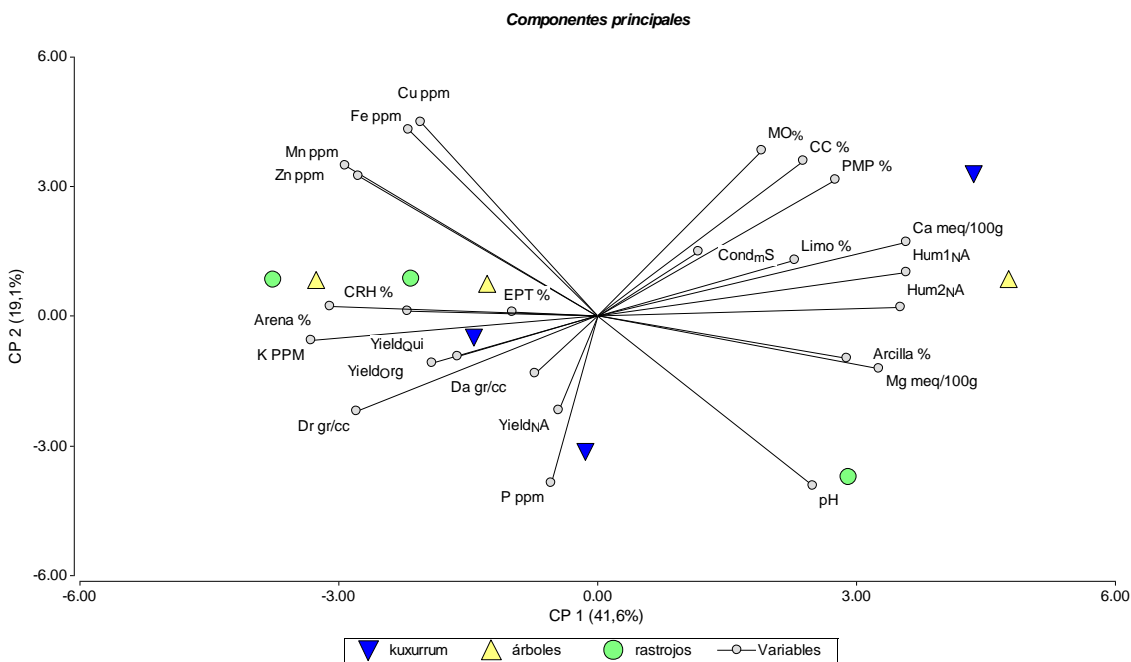


Figura 8. Componentes principales de las propiedades físicas y químicas del suelo en cultivos de maíz en Camotán, Chiquimula, Guatemala

Los micronutrientes Zn, Mn, Fe y Cu tuvieron una correlación negativa con el pH. La MO tuvo una correlación positiva con la CC% y PMP%, pero negativa con la Dr y la Da. Los porcentajes de humedad tienen una correlación positiva con el porcentaje de arcilla y limo, más una correlación negativa con el porcentaje de arena.

Los rendimientos tienen una correlación negativa con el porcentaje de humedad. Los rendimientos con fertilización convencional presentan una correlación negativa con el P. Las prácticas empleadas en suelos franco-arcillosos presentaron un comportamiento diferente que en los suelos francos; sin embargo, se necesitan más repeticiones para poder tener conclusiones más sólidas al respecto.

En el Cuadro 5 se presentan los valores medios, mínimos y máximos de los parámetros fisicoquímicos del suelo para cada una de las prácticas. Los suelos son predominantemente ácidos, el contenido de macronutrientes es variable: el P, a pesar de no presentar diferencias estadísticas, presentó valores bajos en las parcelas con árboles dispersos, medios en árboles dispersos y rastrojos, y altos en rastrojos, posiblemente debido a la incorporación de este nutriente por medio de los rastrojos del maíz; para el K se presentaron valores bajos en los suelos arcillosos; sin embargo, las medias están dentro de los rangos adecuados. Los micronutrientes (Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn), se encuentran en concentraciones adecuadas y altas. Los parámetros físicos se obtuvieron con muestras alteradas, lo cual no refleja las características exactas en campo; sin embargo, se presentan como referencia.

**Cuadro 5. Características del suelo en cultivos de maíz en Camotán, Chiquimula, Guatemala**

Variable	Árboles con rastrojos			Árboles			Rastrojos					
	n	Media	Mín.	Máx.	n	Media	Mín.	Máx.	n	Media	Mín.	Máx.
Cond (mS)	3	0,52	0,39	0,65	3	0,34	0,25	0,51	3	0,46	0,35	0,66
pH	3	5,65	5,29	6,35	3	5,66	5,1	6,25	3	5,45	4,65	6,6
P (ppm)	3	31,17 <sup>ab</sup>	8,86	48,56	3	9,11 <sup>a</sup>	6,58	10,5	3	54,35 <sup>b</sup>	22,55	79,86
K (ppm)	3	134,84	49,98	186,54	3	125,89	55,9	170,08	3	167,35	83,88	250,99
Ca (meq/100 g)	3	13,37	3,1	30,01	3	14,24	3,06	33,16	3	7,02	3,11	14,2
Mg (meq/100 g)	3	2,05	1,76	2,56	3	1,59	1,18	1,96	3	1,88	1,43	2,66
Fe (ppm)	3	49,97	42,6	54,8	3	52,47	48,2	58,6	3	52,57	39,5	62,5
Cu (ppm)	3	4,03	3	4,9	3	4,23	3,5	4,8	3	4,4	2,8	5,6
Mn (ppm)	3	51,87	42,5	58,6	3	54,17	42	62,5	3	55,57	38,5	66,2
Zn (ppm)	3	4,93	3,5	5,8	3	5,37	3,8	6,9	3	5,97	4	7,1
EPT %	3	43,73	41,4	46,9	3	51,43	43,6	62,3	3	44,9	42,4	46,7
Da (gr/cc)	3	1,19	1,05	1,33	3	1,06	0,84	1,23	3	1,25	1,17	1,3
Dr (gr/cc)	3	2,12	1,84	2,27	3	2,19	2,17	2,23	3	2,28	2,17	2,44
CC (%)	3	16,92	13,66	21,19	3	18,09	13,06	23,98	3	14,47	12,25	16,24
PMP (%)	3	11,37	8,81	16,36	3	11,84	7,62	18,69	3	7,56	6,1	8,68
CRH (%)	3	5,65	4,84	6,96	3	6,26	5,29	8,05	3	6,91	6,15	7,56
MO (%)	3	3,27*	1,44	6,33	3	3,28*	1,58	4,82	3	2,25	1,99	2,48
Arcilla (%)	3	28,59	20,85	37,73	3	27,18	16,63	37,73	3	31,4	22,96	48,28
Limo (%)	3	29,54	25,32	35,87	3	26,73	21,1	33,76	3	32,35	29,54	35,87
Arena (%)	3	41,87	26,4	51,72	3	46,09	28,51	58,05	3	36,25	20,07	47,5

\* El porcentaje de MO según (Bartolón y Sánchez Bellón) en la región de Chiquimula es de 2,25%

No se presentaron diferencias estadísticas significativas con la prueba LSD Fisher al 5% de confianza

## 2.4.2 Análisis de porcentaje de humedad

En el modelo lineal general y mixto usado para modelar el porcentaje de humedad del muestreo del 26 de julio, no se observó un efecto sobre el porcentaje de humedad de las diferentes prácticas, ni de los tipos de fertilización, ni de la interacción entre las prácticas y las fertilizaciones. Se consideró el efecto de la covariable tiempo de la toma de las muestras (min1), debido a que tiene una correlación negativa con el porcentaje de humedad en el suelo.

Para el modelo lineal general y mixto del muestreo del 8 de agosto, no se observó un efecto sobre el porcentaje de humedad de los diferentes tipos de manejo, ni de los tipos de fertilización, ni de su interacción. Para este caso no se consideró el efecto de la covariable tiempo de la toma de la muestra por no ser significativo.

En las figuras 9 y 10 se observa que, a pesar de que los valores promedio sugieren un mayor porcentaje de humedad de suelo en las parcelas con árboles dispersos, sobre las parcelas con árboles dispersos y rastrojos, y las parcelas manejadas con rastrojos en suelos franco arcillosos; a diferencia de las parcelas que tienen árboles dispersos y rastrojos, sobre las parcelas con árboles dispersos y con manejo de rastrojos en los suelos francos, no se presentan diferencias estadísticamente significativas.

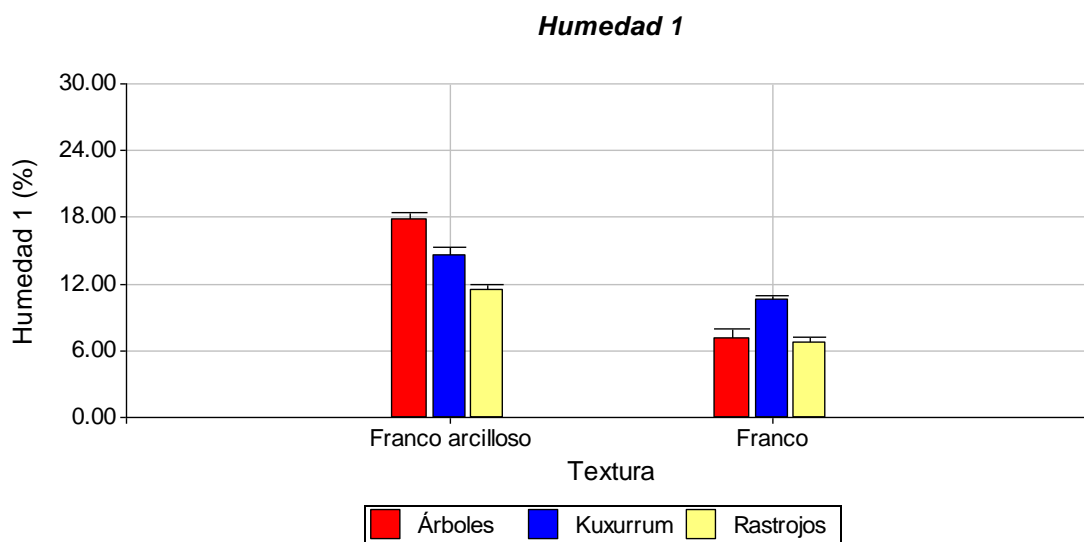
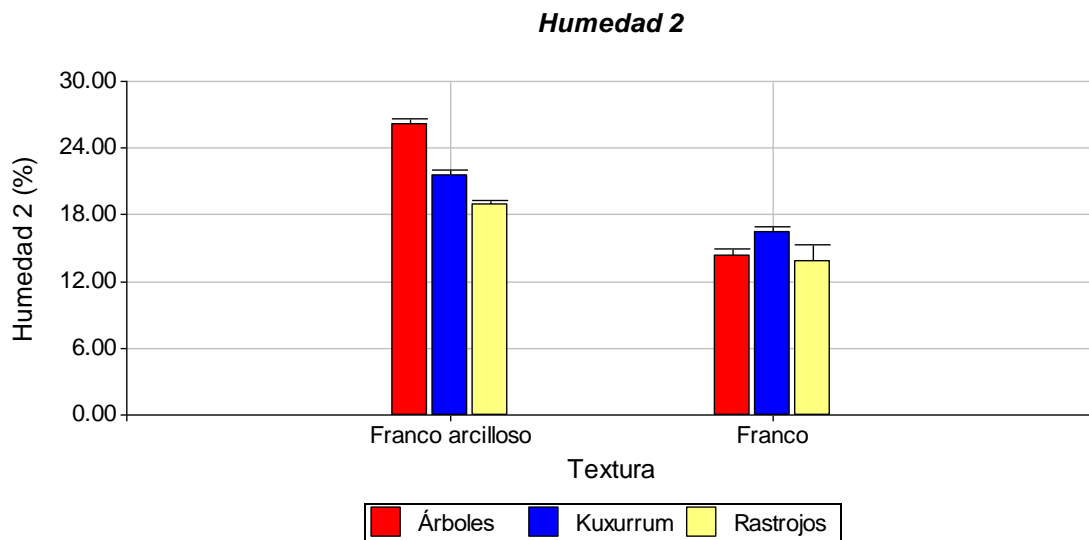


Figura 9. Porcentaje de humedad del suelo dentro del período de canícula en cultivos de maíz en Camotá, Chiquimula, Guatemala

El porcentaje de humedad en el suelo fue menor para el período de canícula que fuera de ella (figuras 9 y 10), lo que era de esperar debido a la reducción de lluvias, con una tendencia natural de los suelos franco-arcillosos sobre los suelos francos a retener más humedad.



**Figura 10.** Porcentaje de humedad del suelo fuera del período de canícula en cultivos de maíz en Camotá, Chiquimula, Guatemala

## 2.5 Discusión

Los parámetros físicos de las nueve parcelas no presentaron ninguna correlación con las prácticas empleadas en el terreno con cuatro años de antigüedad, posiblemente debido al tiempo de evaluación o la cantidad de repeticiones. La textura del suelo presentó correlaciones con los parámetros físicos y químicos del suelo, independientemente de las prácticas, según se observa en la Figura 7. Sin embargo, Fuentes (1993) realizó un estudio en el que determinó que la especie *Gliricidia sepium* realiza un aporte significativo de nutrientes y materia orgánica al suelo, por lo que se esperaba encontrar cierta correlación entre estos parámetros y las prácticas.

Las parcelas con prácticas de árboles dispersos con rastrojos, árboles dispersos y manejo de rastrojos con mayor porcentaje de arena tienen menos diferencias en los parámetros físicos y los rendimientos, además de tener una correlación positiva con los rendimientos y negativa con los porcentajes de humedad que, según se esperaba, tuvieron una relación positiva entre ellas debido a que las pérdidas de cosechas de los últimos años han sido por la extensión de la canícula (OXFAM 2012; Lizarazo *et al.* 2016). Las parcelas con mayor porcentaje de limo-arcilla se encuentran correlacionadas positivamente con los porcentajes de humedad (Moreno Lucas y Martín Aranda 1978), ya que tienen una mayor capacidad de retención de humedad que los suelos con más porcentaje de arena, tal como Chicas *et al.* (2014) reportaron en los suelos de Chiquimula.

En los suelos franco-arcillosos, la parcela con árboles dispersos y rastrojos tuvo una correlación positiva con la MO, CC% y PMP%, mientras que la parcela con árboles dispersos con la cantidad de Ca y Mg y el porcentaje de humedad y la parcela con manejo de rastrojos con el pH del suelo. Sin embargo, como no se tienen repeticiones de las prácticas para esta textura, se hace necesaria una mayor cantidad de muestras para confirmar estas correlaciones.

En el caso de los suelos francos, las parcelas obtuvieron los rendimientos más altos independiente de las prácticas empleadas y, dado que el rendimiento presenta una correlación negativa con el porcentaje de humedad en el suelo durante el periodo de canícula y fuera de ella, sugiere que durante el 2017 no se presentó un déficit de precipitación, lo que pudo afectar negativamente los rendimientos de los suelos franco-arcillosos. Rusinamhodzi *et al.* (2011) indican que los suelos arcillosos son más favorables para los cultivos en zonas con baja precipitación por su capacidad de retención de humedad en el suelo; sin embargo, el análisis de componentes principales no correlacionó estas variables posiblemente debido a que los rendimientos de maíz en suelos de texturas más finas pueden ser afectados en condiciones de mucha lluvia, a pesar de ser el tipo de suelo más adecuado para el maíz (Ekasingh *et al.* 2004).

La cantidad de materia orgánica obtenida en las parcelas con las prácticas ACI (3,27%), es mayor al 2,12% reportado por Bartolón y Sánchez Bellón (2016), en el departamento de Chiquimula. Debido al abandono de la práctica de roza y quema, a incorporar la poda de los árboles y los residuos de los cultivos sobre el terreno se obtuvieron incrementos en la cantidad de MO similares a los reportados por Gamboa *et al.* (2008) en Honduras.

Las parcelas de árboles dispersos, que tienen el pastoreo como parte del manejo, presentan las menores concentraciones de P, posiblemente debido a que el rastrojo del maíz aporta este elemento al suelo y lo deja disponible para el siguiente período. Para el K, las parcelas con manejo de rastrojos presentan las concentraciones más altas posiblemente debido a que en las parcelas que tienen árboles utilizan este elemento. Sin embargo, en comparación con un manejo convencional, según Morón (2004), estas prácticas favorecen el flujo de nutrientes en el suelo.

Los suelos de la comunidad La Libertad son predominantemente ácidos por su origen (Bartolón y Sánchez Bellón 2016), aunque también puede ser debido a la descomposición de la materia orgánica aportada por la incorporación de las podas y los rastrojos en las parcelas, según indica CIA (2014). La acidez del suelo favorece la acumulación de aluminio e hidrógeno, reduciendo la CIC, lo cual debe corregirse como sugiere Caires *et al.* (1999) para no afectar negativamente los rendimientos.

Debe considerarse que los suelos arcillosos tienen una CIC mayor a los suelos francos (Powlson *et al.* 2011), por lo que el proceso de acidificación sería más rápido en suelos menos arcillosos, lo que explicaría porque los suelos franco-arcillosos de La Libertad son menos ácidos que los francos. Lin (2007), Beedy *et al.* (2010) y Barreto *et al.* (2012b), sugieren que las parcelas con árboles mantienen los niveles de CIC en los suelos, lo que contribuiría a una corrección de la acidez; sin embargo, esto es contrario a lo que indica Morón (2001), debido a que el aporte de la *Gliricidia sepium* al suelo incrementa su nivel de acidez. Estas diferencias y el no contar con datos del pH previo a la utilización de las prácticas, limita la capacidad para confirmar si estas prácticas reducen, mantienen o elevan los niveles de acidez en la zona de estudio.

No se pudo observar diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de la humedad del suelo para cada práctica, posiblemente debido a que el período de canícula fue menos intenso que en otros años y que el número de repeticiones por cada manejo no fue suficiente; sin embargo,



investigaciones como las de Fernández *et al.* (2005) y Ayarza y Welchez (2004) que evaluaron el sistema Quesungual en Honduras, encontraron un incremento de un 3% hasta 20% y de 8% hasta 29% en el porcentaje de humedad del suelo en un periodo de seis años.

En la Figura 10 se observa un comportamiento particular de las prácticas según la textura del suelo, independientemente si la medición se realizó en período de canícula y fuera de ella. Para los suelos franco-arcillosos, las parcelas con árboles dispersos conservaron un mayor porcentaje de humedad, seguido por las parcelas de árboles dispersos y rastrojos sobre las parcelas con manejo de rastrojos. Esto podría deberse a que los árboles regulan el microclima de la parcela, reduciendo la evapotranspiración y el comportamiento del agua en el suelo como lo reportó Lin (2007), en sistemas agroforestales con café. Lo interesante es observar que en las parcelas con árboles dispersos con rastrojos no parece existir un efecto de adicionalidad en la retención de la humedad del suelo, como lo indica Verhulst *et al.* (2011) en su estudio en México, donde encontró diferencias en la capacidad de retención de humedad en los suelos con rastrojos y sin rastrojo, al igual que Rusinamhodzi *et al.* (2011) y Altieri *et al.* (2015).

Para el caso de los suelos francos, el comportamiento de la humedad del suelo tiende a ser diferente para las prácticas, pero es similar en la época dentro y fuera de la canícula. Las parcelas que utilizan la práctica de árboles dispersos con rastrojos son las que obtienen los mayores porcentajes de humedad, por sobre las parcelas con árboles dispersos y con manejo de rastrojos, las cuales parecen ser muy similares en este tipo de suelo. Este comportamiento podría representar el efecto sinérgico de ambas prácticas para la retención de humedad en el suelo y mostrar la necesidad de utilizar un mayor número de repeticiones para evaluar el efecto en la retención de humedad del suelo para las prácticas de árboles dispersos y la de manejo de rastrojos en suelos francos.. Los estudios de Fernández *et al.* (2005), Gamboa *et al.* (2009), y Gómez (2014) sobre el sistema kuxur rum o Quesungual no han considerado que la humedad en el suelo puede tener un comportamiento distinto según la textura de suelo.

La literatura indica que la utilización de residuos orgánicos como los restos de cultivos y las podas de los árboles incrementan la materia orgánica, lo que favorece la retención de humedad en el suelo y mejora los rendimientos del maíz de secano en zonas semiáridas (Nvirenda *et al.* 2004; Fernández *et al.* 2005; FAO 2010b; Smith 2012; Gómez 2014; Altieri *et al.* 2015; Antúnez B. *et al.* 2015), por lo que la implementación de estas prácticas es recomendable considerando un manejo cuidadoso de las podas de los árboles, que juegan un rol importante en la reducción de la competencia por agua y nutrientes con los cultivos principales, al calendarizarlas para maximizar los beneficios de las prácticas que incluyen árboles en las parcelas (Barreto *et al.* 2012a), aunque Makumba *et al.* (2009) sugieren que por la distribución espacial de las raíces, la especie *Gliricidia sepium* no presenta una competencia importante con el cultivo de maíz.

Esta información proporcionada por el presente estudio puede ser utilizada para una mejor toma de decisiones en la realización de investigaciones futuras y proyectos de desarrollo, aumentando el impacto positivo en los productores de zonas vulnerables y en condiciones de infrasubsistencia, haciendo más resilientes los sistemas productivos a las sequías que limitan la disponibilidad de agua en el suelo afectando los rendimientos, como en años anteriores.

El hecho de que el año 2017 presentara una mayor cantidad y mejor distribución de las lluvias, no permite realizar conclusiones respecto a si en las condiciones de canícula extendida se observaría esta tendencia, por lo que se sugiere realizar estas mediciones en un período de tiempo mayor para poder capturar la variación climática de la zona y determinar si el comportamiento de la humedad cambia durante el tiempo en el que se implementan las prácticas.

## 2.6 Conclusiones

El tiempo de evaluación fue una limitante para determinar el comportamiento de las variables de interés, así que no se evidencia una correlación clara de las prácticas promisorias de la agricultura climáticamente inteligente con los parámetros físicos y químicos del suelo. Se observó una posible diferencia entre las prácticas en los suelos franco-arcillosos posiblemente debido al corto periodo de evaluación, por lo que se hace necesario utilizar un mayor número de muestras para captar la variabilidad de los datos. Asimismo, el contar con información sobre las condiciones iniciales del suelo al momento de la implementación de estas prácticas, podría contribuir a demostrar si hay cambios en los parámetros evaluados.

Asimismo, a pesar de que los valores promedios de la humedad del suelo de las parcelas que empleaban las prácticas de árboles dispersos con rastrojos y árboles dispersos fueron mayores que las de manejo de rastrojos, no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas, por lo que se sugiere replicar el experimento con un mayor número de repeticiones para las prácticas utilizadas considerando la textura del suelo para verificar este efecto.

## 2.7 Bibliografía

- Akinnifesi, F; Makumba, W; Kwesiga, F. 2006. Sustainable maize production using *Gliricidia*/maize intercropping in southern Malawi. *Experimental Agriculture* 42(4):441-457.
- Alfaro, EJ. 2007. Uso del análisis de correlación canónica para la predicción de la precipitación pluvial en Centroamérica. (en línea). *Ingeniería y Competitividad* 9(2):33-48. Consultado 14 dic. 2017 Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/2913/291323491004.pdf>
- Altieri, MA; Nicholls, CI; Henao, A; Lana, MA. 2015. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for sustainable development* 35(3):869-890.
- Antúnez B., A; Vidal S., M; Felmer E., S; González Y, M; (eds). 2015. Riego por Pulsos en Maíz Grano (en línea). Rengo, Chile, Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 114 p. (Boletín INIA N° 312). Consultado 27 dic. 2017. Disponible en <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR40307.pdf>
- Ayarza, MA; Welchez, LA. 2004. Drivers affecting the development and sustainability of the Quesungual slash and mulch agroforestry system (QSMAS) on Hillsides of Honduras Comprehensive Assessment Bright Spots Project Final Report, ed. Noble, A:187-201.

- Barreto, AC; Chaer, GM; Fernandes, MF. 2012a. Hedgerow pruning frequency effects on soil quality and maize productivity in alley cropping with *Gliricidia sepium* in Northeastern Brazil Soil and Tillage Research 120:112-120.
- Barreto, AC; Chaer, GM; Fernandes, MF. 2012b. Hedgerow pruning frequency effects on soil quality and maize productivity in alley cropping with *Gliricidia sepium* in Northeastern Brazil. Soil and Tillage Research 120:112-120.
- Bartolón, C; Sánchez Bellón, Á. 2016. Caracterización edafológica y geoquímica de la región de Chiquimula, República de Guatemala. CA Solos e Água: fontes (esgotáveis) de vida e de desenvolvimento:61.
- Beedy, T; Snapp, S; Akinnifesi, F; Sileshi, G. 2010. Impact of *Gliricidia sepium* intercropping on soil organic matter fractions in a maize-based cropping system Agriculture, ecosystems & environment 138(3):139-146.
- Bolaños, J. 2014. Síntesis de Resultados Experimentales del PRM 1993-1995. México, DF, CIMMYT.
- Caires, EF; Fonseca, AF; Mendes, J; Chueiri, WA; Madruga, EF. 1999. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto (en línea). Revista Brasileira de Ciência do Solo 23(2):315-327. Consultado 28 dic. 2017. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180218287017>
- CIA (Centro de Investigaciones Agronómicas). 2014. Acidez de suelos y uso de enmiendas (en línea). San José, Costa Rica, (Serie de Notas Técnicas #1). Consultado 27 dic. 2017. Disponible en [http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Nota%20t%C3%A9cnica%201-2014 Acidez%20de%20suelos%20y%20uso%20de%20enmiendas.pdf](http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Nota%20t%C3%A9cnica%201-2014%20Acidez%20de%20suelos%20y%20uso%20de%20enmiendas.pdf)
- Chacón, P. 2014. Clasificación taxonómica de suelos en los valles de los municipios de Esquipulas, Ipala y Chiquimula, del departamento Chiquimula, Guatemala (en línea). Tesis Lic. Chiquimula, USAC. 89 p. Consultado 8 nov. 2017. Disponible en [http://cunori.edu.gt/descargas/Trabajo\\_de\\_graduacion\\_Ing.\\_Agronomo\\_Pablo\\_Chacon.pdf](http://cunori.edu.gt/descargas/Trabajo_de_graduacion_Ing._Agronomo_Pablo_Chacon.pdf)
- Chicas, R; Vanegas, E; García, N. 2014. Determinación indirecta de la capacidad de retención de humedad en suelos de la subcuenca del río Torjá, Chiquimula, Guatemala. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias 23(1):41-46.
- Di Rienzo, J; Casanoves, F; Balzarini, M; Gonzalez, L; Tablada, M; Robledo, W. 2017. InfoStat (en línea). Córdoba, Argentina, Universidad Nacional de Córdoba. Consultado 10 oct. 2017. Disponible en <http://www.infostat.com.ar/index.php?mod=page&id=15>
- Eckstein, D; Künzel, V; Schäfer, L. 2017. Global Climate Risk Index 2018 Who Suffers Most From Extreme Weather Events? Weather-related Loss Events in 2016 and 1997 to 2016 (en línea). Chapman-Rose, J; Baum, D; Fuhrmann, H; Kier, G ed. Bonn, Consultado 26 dic. 2017. Disponible en <https://germanwatch.org/en/download/20432.pdf>
- Ekasingh, B; Gypmantasiri, P; Thong Ngam, K; Krudloya, P. 2004. Maize in Thailand: production systems, constraints, and research priorities. México, DF., Cimmyt.

- Erenstein, O. 1999. La conservación de residuos en los sistemas de producción de maíz en Ciudad Guzmán y San Gabriel, Jalisco. Mexico, D.F., Cimmyt.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2010a. Informe Especial. Misión FAO/PMA de evaluación de cosecha y seguridad alimentaria en Guatemala (en línea). Roma, Italia. Consultado 18 ene. 2017. Disponible en [http://documents.wfp.org/stellent/groups/public/documents/ena/wfp216586.pdf?\\_ga=1.183376165.221815970.1485215979](http://documents.wfp.org/stellent/groups/public/documents/ena/wfp216586.pdf?_ga=1.183376165.221815970.1485215979)
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2010b. Climate-Smart agriculture: policies, practice and financing for food security, adaptation and migration (en línea). Roma, Italia. Consultado 21 ene. 2017. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/013/i1881e/i1881e00.htm>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2015. Programa de fortalecimiento de la resiliencia ante el riesgo de desastres en el Corredor Seco Centroamericano (en línea). Roma, Italia, Consultado 09 dic. 2016. Disponible en [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/emergencies/docs/Corredor\\_Seco\\_Breve\\_ES.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/emergencies/docs/Corredor_Seco_Breve_ES.pdf)
- Fernández, L; Navarro, E; Argueta, R; Flores, G. 2005. El sistema agroforestal Quesungual: Una opción para el manejo de suelos en zonas secas de ladera. Roma, Italia, FAO.
- Fuentes, J. 1993. Potencial de tres leguminosas para el cultivo en callejones en terrenos en ladera. Tesis Lic. Tegucigalpa, Honduras, Zamorano. 72 p.
- Gamboa, H; Gómez, W; Ibrahim, M. 2008. Sistema agroforestal Quesungual: una buena práctica de adaptación al cambio climático. In Sepúlveda L., CJ; Ibrahim, M (eds.). Políticas y sistemas de incentivos para el fomento y adopción de buenas prácticas agrícolas como una medida de adaptación al cambio climático en América Central. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 47-68.
- GIEWS, (Global Information and Early Warning System). 2015. Central America: Drought Update (en línea). Roma, Italia, Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i4926e.pdf>
- Gobbi, JA; Casasola, F. 2003. Comportamiento financiero de la inversión en sistemas silvopastoriles en fincas ganaderas de Esparza, Costa Rica. Agroforesteria en las Americas 10(39-40):52-60.
- Gómez, W. 2014. El Sistema Agroforestal Quesungual en El Salvador: Estudio de caso. Multequina 23(1):55-63.
- Haule, C; Kanyama-Phiri, G; Nyirenda, M; Mafongoya, P; Kwapata, M. 2003. Maize and biomass production, and soil fertility improvement under Sesbania sesban improved fallows in Kasungu district, central Malawi. Malawi Journal of Agricultural Sciences 2(1):21-33.
- Holdridge, LR. 1966. The life zone system. Adansonia 6(2):199-203.
- Holt-Giménez, E. 2002. Measuring farmers' agroecological resistance after Hurricane Mitch in Nicaragua: a case study in participatory, sustainable land management impact monitoring. Agriculture, Ecosystems & Environment 93(1):87-105.
- Ikerra, ST; Maghembe, JA; Smithson, PC; Buresh, RJ. 1999. Soil nitrogen dynamics and relationships with maize yields in a *Gliricidia*-maize intercrop in Malawi. Plant and Soil 211(2):155-164.

- INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria). 2000. Tecnología de producción de cultivos y pasturas bajo riego. Uruguay, La Estanzuela. 85 p. (Serie Actividades de Difusión).
- Khatun, K. 2011. Reconciling timber provision with carbon sequestration opportunities in the tropical forests of Central America. *Environmental Science & Policy* 14(8):1091-1102.
- Kometter, R. 2012. Valorización de Servicios Ambientales en Comunidades en El Área de Influencia del Proyecto Probosques en Quetzaltenango – Totonicapán Y San Marcos (en línea). Guatemala, HELVETAS Swiss Intercooperation. Consultado 13 ene. 2018. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/317009647\\_VALORIZACION\\_DE\\_SERVICIOS\\_AMBIENTALES\\_EN\\_COMUNIDADES\\_EN\\_EL AREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO PROBOSQUES EN QUETZALTENANGO - TOTONICAPAN Y SAN MARCOS GUATEMALA](https://www.researchgate.net/publication/317009647_VALORIZACION_DE_SERVICIOS_AMBIENTALES_EN_COMUNIDADES_EN_EL AREA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO PROBOSQUES EN QUETZALTENANGO - TOTONICAPAN Y SAN MARCOS GUATEMALA)
- Kooijman, A; Jongejans, J; Sevink, J. 2005. Parent material effects on Mediterranean woodland ecosystems in NE Spain. *Catena* 59(1):55-68.
- Kumar, K; Goh, K. 1999. Crop residues and management practices: effects on soil quality, soil nitrogen dynamics, crop yield, and nitrogen recovery. *Advances in Agronomy* 68:197-319.
- Lipper, L; Thornton, P; Campbell, BM; Baedeker, T; Braimoh, A; Bwalya, M; Caron, P; Cattaneo, A; Garrity, D; Henry, K; Hottle, R; Jackson, L; Jarvis, A; Kossam, F; Mann, W; McCarthy, N; Meybeck, A; Neufeldt, H; Remington, T; Sen, PT; Sessa, R; Shula, R; Tibu, A; Torquebiau, EF. 2014. Climate-smart agriculture for food security (Perspective). *Nature Climate Change* 4:1068-1072. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1038/nclimate2437>
- Lipper, L; McCarthy, N; Zilberman, D; Asfaw, S; Branca, G. 2018. *Climate Smart Agriculture: Building Resilience to Climate Change*. Roma, Italia, Springer.
- Lizarazo, M; Corner-Dolloff, C; Nowak, A; Loboguerrero, AM; Rojas, E; Mejia, M; Sain, G; Martínez Barón, D; Andrieu, N; Howland, F. 2016. Informe final: Priorizando inversiones en agricultura sostenible adaptada al clima en Guatemala. CCAFS (ed.). Guatemala. 77 p.
- López Mtz, JD; Díaz Estrada, A; Martínez Rubin, E; Valdez Cepeda, RD. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra Latinoamericana* 19(4):293-299.
- MAGA (Ministeria de Agricultura, Ganadería y Alimentación). 2017. Precios Mensuales De Diversos Productos Agrícolas En Guatemala (en línea). Guatemala. Consultado 30 dic 2017. Disponible en <http://web.maga.gob.gt/diplan/datos-abiertos/>
- Makumba, W; Janssen, B; Oenema, O; Akinnifesi, FK. 2006. Influence of time of application on the performance of *Gliricidia* prunings as a source of N for maize. *Experimental Agriculture* 42(1):51-63.
- Makumba, W; Akinnifesi, FK; Janssen, BH. 2009. Spatial rooting patterns of *Gliricidia*, pigeon pea and maize intercrops and effect on profile soil N and P distribution in southern Malawi. *African Journal of Agricultural Research* 4(4):278-288.
- McCarthy, N; Lipper, L; Zilberman, D. 2018. Economics of Climate Smart Agriculture: An Overview. *In* Lipper, L; McCarthy, N; Zilberman, D; Asfaw, S; Branca, G (eds.). Cham, Springer. p. 31-47.

(Natural Resource Management and Policy Volume 52). Disponible en [https://doi.org/10.1007/978-3-319-61194-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-61194-5_3)

- Morón, A. 2001. El rol de los rastrojos en la fertilidad del suelo. Montevideo, Uruguay, INIA.
- Morton, JF. 2007. The impact of climate change on smallholder and subsistence agriculture (en línea). PNAS 104(50):19680-19685. Consultado 20 dic. 2017 Disponible en <http://www.pnas.org/content/104/50/19680.full.pdf>
- Naumann, G; Barbosa, P; Garrote, L; Iglesias, A; Vogt, J. 2014. Exploring drought vulnerability in Africa: an indicator based analysis to be used in early warning systems. Hydrology and Earth System Sciences 18(5):1591-1604.
- Nvirenda, M; Kanyama-Phiri, G; Mangisoni, J; Böhringer, A; Haule, C. 2004. Economics of maize-based improved fallow agro-forestry systems for smallholder farmers in Central Malawi. Bunda Journal of Agriculture, Environmental Science and Technology 2(1):49-57.
- OXFAM (Oxford Committee for Famine Relief). 2012. Evaluación rápida: Impacto de la sequía meteorológica de 2012 en la seguridad alimentaria nutricional en el corredor seco de Guatemala (en línea). Guatemala. Consultado 26 dic. 2017. Disponible en [https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/Situation\\_Report\\_157.pdf](https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/Situation_Report_157.pdf)
- Palombi, L; Sessa, R. 2013. Climate-smart agriculture: sourcebook. Rome, Italy, FAO. 557 p.
- Paustian, K; Lehmann, J; Ogle, S; Reay, D; Robertson, GP; Smith, P. 2016. Climate-smart soils. Nature 532(7597):49-57.
- Perdomo, C; Barbazán, M. s.f. Nitrogeno (en línea). Uruguay. Consultado 28 dic. 2017. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/fertilidad/publica/Tomo%20N.pdf>
- Reid, WV; Mooney, H; Cropper, A; Capistrano, A; Carpenter, S; Chopra, K; Dasgupta, P; Dietz, T; Kumar, A; Rashid, D. 2005. Evaluación de los ecosistemas del milenio. Informe de Síntesis. (Manuscrito no publicado).
- Richards, M; Sapkota, TB; Stirling, C; Thierfelder, C; Verhulst, N; Friedrich, T; Kienzle, J. 2014. Conservation agriculture: Implementation guidance for policymakers and investors. Copenhagen, Denmark, CCAFS.
- Roco Fuentes, L; Engler Palma, A; Jara-Rojas, R. 2012. Factores que influyen en la adopción de tecnologías de conservación de suelos en el secano interior de Chile Central. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias 44(2):31-45. Consultado 27 dic. 2017. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382837651021>
- RODALE, I. 2012. The Farming system trial: celebrating 30 years (en línea). Pennsylvania, United States of America, Consultado 30 dic. 2017. Disponible en <http://rodaleinstitute.org/assets/FSTbookletFINAL.pdf>
- Rosenstock, TS. 2014. Science to Support Climate-smart Agricultural Development: Concepts and Results from the MICCA Pilot Projects in East Africa. Rome, Italy, FAO. (Mitigation of Climate Change in Agriculture Series 10).

- Rusinamhodzi, L; Corbeels, M; Van Wijk, MT; Rufino, MC; Nyamangara, J; Giller, KE. 2011. A meta-analysis of long-term effects of conservation agriculture on maize grain yield under rain-fed conditions. *Agronomy for Sustainable Development* 31(4):657.
- Sain, G; Pereira, L. 1999. Maize production and agricultural policies in Central America and Mexico. México, DF., Cimmyt. 35 p.
- Sain, G; Loboguerrero, AM; Corner-Dolloff, C; Lizarazo, M; Nowak, A; Martínez-Barón, D; Andrieu, N. 2017. Costs and benefits of climate-smart agriculture: The case of the Dry Corridor in Guatemala. *Agricultural Systems* 151:163-173.
- Setimela, PS; Magorokosho, C; Lunduka, R; Gasura, E; Makumbi, D; Tarekegne, A; Cairns, JE; Ndhlela, T; Erenstein, O; Mwangi, W. 2017. On-Farm Yield Gains with Stress-Tolerant Maize in Eastern and Southern Africa. *Agronomy Journal* 109(2):406. doi 10.2134/agronj2015.0540
- Shepherd, K; Ndufa, J; Ohlsson, E; Sjögren, H; Swinkels, R. 1997. Adoption potential of hedgerow intercropping in maize-based cropping systems in the highlands of western Kenya. 1. Background and agronomic evaluation. *Experimental Agriculture* 33(2):197-209.
- Shiferaw, B; Tesfaye, K; Kassie, M; Abate, T; Prasanna, B; Menkir, A. 2014. Managing vulnerability to drought and enhancing livelihood resilience in sub-Saharan Africa: Technological, institutional and policy options. *Weather and Climate Extremes* 3:67-79.
- Smith, P; Martino, D; Cai, Z; Gwary, D; Janzen, H; Kumar, P; McCarl, B; Ogle, S; O'Mara, F; Rice, C. 2008. Greenhouse gas mitigation in agriculture *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Biological Sciences* 363(1492):789-813.
- Smith, P. 2012. Soils and climate change. *Environmental Sustainability* 4(5):539-544.
- Tejada, M; Benítez, C. 2011. Organic amendment based on vermicompost and compost: differences on soil properties and maize yield. *Waste Management & Research* 29(11):1185-1196.
- Teklewold, H; Kassie, M; Shiferaw, B; Köhlin, G. 2013. Cropping system diversification, conservation tillage and modern seed adoption in Ethiopia: Impacts on household income, agrochemical use and demand for labor. *Ecological Economics* 93:85-93.
- Verhulst, N; Nelissen, V; Jespers, N; Haven, H; Sayre, KD; Raes, D; Deckers, J; Govaerts, B. 2011. Soil water content, maize yield and its stability as affected by tillage and crop residue management in rainfed semi-arid highlands. *Plant and Soil* 344(1-2):73-85.
- Villagrán, G. 2017. Precio del tomate y maíz, en descenso (en línea). *Diario de Centroamérica, Guatemala*; 5 sep: Consultado 30 dic. 2017. Disponible en <https://dca.gob.gt/noticias-guatemala-diario-centro-america/precios-del-tomate-y-maiz-en-descenso/>
- Villarreyna Acuña, R. 2015. Priorización de inversiones en agricultura sostenible adaptada al clima (ASAC) en el territorio Nicacental. s.l. CATIE. 27 p.
- Villarreyna Acuña, R; Cerda Bustillos, R; Echeverría, J; Padilla, D; Suchini, JG; Posada, E; Moscoso, C; Mercado, L. 2016. Priorización de inversiones en Agricultura Climáticamente Inteligente (ACI): Prácticas agropecuarias de huertos caseros, granos básicos, sistemas agroforestales y pasturas priorizadas en el territorio Trifinio. Turrialba, Costa Rica, CATIE.



- Xu, Y; Li, J; Wan, J. 2017. Agriculture and crop science in China: Innovation and sustainability. *The Crop Journal* 5(2):95-99.
- Zea, JL; Osorio, M; Bolaños, J. 1997. Uso de rastrojo de maíz como cobertura superficial y sus implicaciones en la economía del nitrógeno en el cultivo de maíz. *Agronomía Mesoamericana* 2(8):85-89.
- Gómez, W. 2014. El Sistema Agroforestal Quensungual en El Salvador: Estudio de caso Multequina 23(1):55-63.
- Holdridge, LR. 1966. The life zone system. *Adansonia* 6(2):199-203.
- ICTA (Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas). 2014. Recomendaciones técnicas para el cultivo de maíz para zonas de producción comprendidas entre 0 a 1400 msnm (en línea). Guatemala. Consultado 25 ene. 2017. Disponible en <http://www.icta.gob.gt/publicaciones%202015/Documentos%20pag.%20web%20da%20eta%20pa/nuevos/Recomendaciones%20tecnicas%20de%20maiz%20ICTA.pdf>
- Kang, Y; Khan, S; Ma, X. 2009. Climate change impacts on crop yield, crop water productivity and food security—A review. *Progress in Natural Science* 19(12):1665-1674.
- Lemus, M. 2013. Evaluación de los sistemas agroforestales conformados por árboles dispersos con cultivos agrícolas, en el municipio de San Juan Ermita, Departamento de Chiquimula, Guatemala. (en línea). Tesis. Ing. Agr. en Sistemas de Producción. Chiquimula, Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. 159 p. Consultado 09 dic. 2016. Disponible en <http://infoambiental.org/index.php/docs/tesis/details/42/66/tesis-evaluaci%C3%B3n-de-los-sistemas-agroforestales-conformados-por-arboles-dispersos-con-cultivos-agr%C3%ADcolas,-en-el-municipio-de-san-juan-ermita,-departamento-de-chiquimula,-guatemala-mario-augusto-lemus-guerra>
- Lin, BB. 2007. Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology* 144(1):85-94.
- Lizarazo, M; Corner-Dolloff, C; Nowak, A; Loboguerrero, AM; Rojas, E; Mejia, M; Sain, G; Martínez Barón, D; Andrieu, N; Howland, F. 2016. Informe final: Priorizando inversiones en agricultura sostenible adaptada al clima en Guatemala. Guatemala. CCAFS. 77 p.
- MAGA-UPGR (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación; Unidad de Planificación Geográfica y Gestión del Riesgo). 2005. Atlas temático de la República de Guatemala, mapas a escala 1:50,000. Guatemala, Esc. 1:50,000. 62 h.
- Makumba, W; Akinnifesi, FK; Janssen, BH. 2009. Spatial rooting patterns of *Gliricidia*, pigeon pea and maize intercrops and effect on profile soil N and P distribution in southern Malawi. *African Journal of Agricultural Research* 4(4):278-288.
- Moreno Lucas, F; Martín Aranda, J. 1978. Relaciones entre textura y retención de humedad para el margen de pF 4, 2-6, 0, en suelos de Andalucía Occidental. *In. Anales de Edafología y Agrobiología*. CSIC-Instituto Nacional de Edafología y Agrobiología José María Albareda. p. 335-344.
- Morón, A. 2001. El rol de los rastrojos en la fertilidad del suelo. Montevideo, Uruguay, INIA.



- Morón, A. 2004. Efecto de las Rotaciones y el Laboreo en la Calidad del Suelo. Sustentabilidad de la intensificación agrícola en el Uruguay. Montevideo, Uruguay, INIA. 7-10 p.
- Morton, JF. 2007. The impact of climate change on smallholder and subsistence agriculture (en línea). PNAS 104(50):19680-19685. Consultado 20 dic. 2017 Disponible en <http://www.pnas.org/content/104/50/19680.full.pdf>
- Mupangwa, W; Twomlow, S; Walker, S; Hove, L. 2007. Effect of minimum tillage and mulching on maize (Zea mays L.) yield and water content of clayey and sandy soils. Physics and chemistry of the earth, parts A/B/C 32(15):1127-1134.
- NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration.). 2017. Cold and warm episodes by season (en línea, [www.nws.noaa.gov](http://www.nws.noaa.gov)). Consultado 20 nov. 2017. Disponible en [http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](http://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php)
- Nvirenda, M; Kanyama-Phiri, G; Mangisoni, J; Böhringer, A; Haule, C. 2004. Economics of maize-based improved fallow agro-forestry systems for smallholder farmers in Central Malawi. Bunda Journal of Agriculture, Environmental Science and Technology 2(1):49-57.
- OEA (Organizacion de Estados Americanos). 1978. Proyecto de Desarrollo Integrado de la Región Oriental de Panamá - Darién (en línea). s.n.t. Consultado 10 nov. 2017. Disponible en <https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea30s/begin.htm#Contents>
- OXFAM (Oxford Committee for Famine Relief). 2012. Evaluación rápida: Impacto de la sequía meteorológica de 2012 en la seguridad alimentaria nutricional en el corredor seco de Guatemala (en línea). Guatemala. Consultado 26 dic. 2017. Disponible en [https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/Situation\\_Report\\_157.pdf](https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/Situation_Report_157.pdf)
- Powelson, DS; Gregory, PJ; Whalley, WR; Quinton, JN; Hopkins, DW; Whitmore, AP; Hirsch, PR; Goulding, KW. 2011. Soil management in relation to sustainable agriculture and ecosystem services. Food policy 36(1):S72-S87.
- Richards, M; Sapkota, TB; Stirling, C; Thierfelder, C; Verhulst, N; Friedrich, T; Kienzle, J. 2014. Conservation agriculture: Implementation guidance for policymakers and investors. Copenhagen, Denmark, CCAFS.
- Roco Fuentes, L; Engler Palma, A; Jara-Rojas, R. 2012. Factores que influyen en la adopción de tecnologías de conservación de suelos en el secano interior de Chile Central. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias 44(2):31-45. Consultado 27 dic. 2017. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382837651021>
- Rosenstock, TS; Mpanda, M; Rioux, J; Aynekulu, E; Kimaro, AA; Neufeldt, H; Shepherd, KD; Luedeling, E. 2014. Targeting conservation agriculture in the context of livelihoods and landscapes Agriculture, ecosystems & environment 187:47-51.
- Rusinamhodzi, L; Corbeels, M; Van Wijk, MT; Rufino, MC; Nyamangara, J; Giller, KE. 2011. A meta-analysis of long-term effects of conservation agriculture on maize grain yield under rain-fed conditions Agronomy for sustainable development 31(4):657.

- Santos, JD; San Juan, RFdV; de Provens, ECP; Arrarás, ÍR. 2006. Estimación de la capacidad de retención de agua en el suelo: revisión del parámetro CRA. *Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales* 15(1):14-23.
- Semarnat (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México); PNUMA, (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 2006. El cambio climático en América Latina y el Caribe (en línea). México. Consultado 10 dic. 2016. Disponible en [www.oei.es/historico/decada/ElcambioClimatico\\_r.pdf](http://www.oei.es/historico/decada/ElcambioClimatico_r.pdf)
- Setimela, PS; Magorokosho, C; Lunduka, R; Gasura, E; Makumbi, D; Tarekegne, A; Cairns, JE; Ndhlela, T; Erenstein, O; Mwangi, W. 2017. On-Farm Yield Gains with Stress-Tolerant Maize in Eastern and Southern Africa *Agronomy Journal* 109(2):406. doi 10.2134/agronj2015.0540
- Shiferaw, B; Tesfaye, K; Kassie, M; Abate, T; Prasanna, B; Menkir, A. 2014. Managing vulnerability to drought and enhancing livelihood resilience in sub-Saharan Africa: Technological, institutional and policy options *Weather and Climate Extremes* 3:67-79.
- Smith, P. 2012. Soils and climate change *Environmental Sustainability* 4(5):539-544.
- Thierfelder, C; Chisui, JL; Gama, M; Cheesman, S; Jere, ZD; Trent Bunderson, W; Eash, NS; Rusinamhodzi, L. 2013. Maize-based conservation agriculture systems in Malawi: Long-term trends in productivity. *Field Crops Research* 142:47-57. doi 10.1016/j.fcr.2012.11.010
- USDA (United States Department of Agriculture). 1999. Soil Taxonomy: A basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys (en línea). 2da ed. Washington DC, United States of America, (Handbook Number 436). Consultado 11 nov. 2016. Disponible en [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/nrcs142p2\\_051232.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051232.pdf)
- Verhulst, N; Nelissen, V; Jespers, N; Haven, H; Sayre, KD; Raes, D; Deckers, J; Govaerts, B. 2011. Soil water content, maize yield and its stability as affected by tillage and crop residue management in rainfed semi-arid highlands. *Plant and soil* 344(1-2):73-85.
- Zea, JL; Osorio, M; Bolaños, J. 1997. Uso de rastrojo de maíz como cobertura superficial y sus implicaciones en la economía del nitrógeno en el cultivo de maíz. *Agronomía Mesoamericana* 2(8):85-89.

### **3. ARTÍCULO II. Análisis beneficio-costo de prácticas promisorias de la agricultura climáticamente inteligente: árboles dispersos con rastrojos, árboles dispersos y manejo de rastrojos utilizadas en el cultivo de maíz (*Zea mays*) con tres tipos de fertilización en La Libertad, Camotán, Guatemala**

#### **Resumen**

El enfoque de agricultura climáticamente inteligente (ACI), ha sido ampliamente difundido. Los beneficios de sus tres pilares (productividad, adaptación y mitigación) han sido evaluados y promovidos para mejorar la seguridad alimentaria y nutricional y para aliviar la pobreza de pequeños productores que viven en condiciones de vulnerabilidad climática. El objetivo de este estudio fue valorar los pilares de la ACI por medio de consulta a expertos, evaluar los rendimientos del maíz (*Zea mays*) y utilizar los indicadores económicos beneficio-costo (B/C), valor presente neto (VPN) y período de retorno de la inversión (PRI), derivado de la implementación de prácticas promisorias de la agricultura climáticamente inteligente por parte de productores de subsistencia que participaron en el Programa MAP-Noruega en el período 2013-2017 para determinar su eficiencia económica. Se evaluaron nueve parcelas de 20x20 m en la comunidad La Libertad, municipio de Camotán, departamento de Chiquimula, Guatemala, con las prácticas de: i) árboles dispersos (AD), ii) manejo de rastrojos (MR) y iii) árboles dispersos con rastrojos (AD+MR), utilizando tres tipos de fertilizaciones: a) convencional (FC), b) orgánico (FO) y c) químico (FQ). Se utilizó la variedad de maíz mejorada ICTA B-7 para todas las parcelas. Los rendimientos presentaron una diferencia de productividad debida a la fertilización química y orgánica sobre la fertilización convencional. Se obtuvo la estructura de costos según la inversión inicial, insumos/materiales, y mantenimiento. Los ingresos se obtuvieron con el precio de mercado del maíz para septiembre 2017 y los subproductos como leña, restos del cultivo y la tusa utilizando los precios de referencia de los productores. Para el análisis económico se consideraron las combinaciones de las diferentes prácticas con los tipos de fertilización como una medida de adaptación (nueve en total). Se utilizó una tasa de descuento del 5,38%, utilizando la tasa pasiva del Banco de Guatemala como costo de oportunidad, en un plazo de 10 años. Se consideró la fertilización convencional para cada práctica como referencia (*status quo*) por ser la que utilizan los productores. La práctica de AD+MR con fertilización convencional presentó el VPN y B/C más alto (Q.35 004 y 2,42) respectivamente. Todos los tratamientos con fertilización orgánica tienen un VPN negativo y B/C<1 debido al alto costo del lombricompost. Se realizó un análisis de sensibilidad con tres escenarios: optimista, pesimista y con una tasa de descuento alta. Para el escenario optimista y el de la tasa de descuento alta, todas las prácticas con fertilización convencional y fertilización química presentaron B/C>1, y para el escenario pesimista, únicamente con fertilización convencional.

#### **Palabras clave**

*Zea mays*, análisis beneficio-costo, corredor seco centroamericano, Guatemala, agricultura climáticamente inteligente, árboles dispersos, manejo de rastrojos.

## Abstract

The climate-smart agriculture CSA approach has been widely disseminated, and the benefits to its three pillars (productivity, adaptation and mitigation) have been evaluated and promoted to improve food and nutrition security to reduce the poverty of small producers who live in conditions of climatic vulnerability. The objective of this study was to assess the pillars of the CSA by consulting experts, evaluating maize yields (*Zea mays*), and using economic indicators as benefit-cost ratio (B/C), Net Present Value (NPV), and the Payback Period (PB), derived from the implementation of promising practices of climate-smart agriculture by subsistence producers who participated in the MAP-Norway Program in the period 2013-2017, to determine their economic efficiency. Nine parcels of 20x20 m were evaluated in the community of La Libertad, in the municipality of Camotán, in the department of Chiquimula, Guatemala, with the practices of: i) scattered trees (AD), ii) maize residues management (MR), and iii) scattered trees with maize residues (AD + MR), using three types of fertilizations: a) conventional (FC), b) organic (FO) and c) chemical (CF). The improved variety ICTA B-7 was used for all plots. The yields showed a difference of the CF and FO over the FC. The cost structure was obtained according to the initial investment, supplies / materials, and maintenance. Revenues were obtained with the market price of corn for September 2017 and the by-products such as firewood, crop residues and maize husk using the reference prices of the producers. For the economic analysis, the combinations of the different practices with the types of fertilization were considered as an adaptation measure (nine in total). A 5.38% discount rate was used, using the passive rate of the Banco de Guatemala as an opportunity cost, within a period of 10 years. Conventional fertilization was considered for each practice as a reference (status quo) because it is used by producers. The practice of AD+MR with conventional fertilization presented the highest NPV and B/C, of Q.35,004 and 2.42 respectively. All treatments with organic fertilization have negative VPN and  $B/C < 1$  due to the high cost of the vermicompost. A sensitivity analysis was carried out with three scenarios, optimistic, pessimistic and with a high discount rate. For the optimistic scenario and the high discount rate all the practices with conventional fertilization and chemical fertilization presented  $B/C > 1$ , and for the pessimistic scenario, only with conventional fertilization.

## Key Words

*Zea mays*, benefit-cost analysis, Central American dry corridor, Guatemala, climate-smart agriculture, scattered trees, maize residues management.

### 3.1 Introducción

Guatemala se encuentre en la posición 11 del *ranking* del Índice de Riesgo Climático con una pérdida USD402 883 millones producto de eventos extremos (Eckstein *et al.* 2017). Esta vulnerabilidad es consecuencia de diversos factores, tales como el capital natural renovable, la capacidad económica, los recursos humanos y cívicos, la infraestructura y la tecnología (Naumann *et al.* 2014; Shiferaw *et al.* 2014). La región del corredor seco nororiental de Guatemala, donde se ubica la comunidad de La Libertad, se caracteriza por ser de las más vulnerables a la pérdida de cosechas de granos básicos de secano debido a la frecuencia de las sequías de los últimos años (Akinnifesi *et al.* 2006; Bänziger y Araus 2007; Chicas *et al.* 2014; Lizarazo *et al.* 2016). Asimismo, las variables socioeconómicas, demográficas y tendencias políticas limitan su capacidad de adaptación al cambio climático (Morton 2007; Shiferaw *et al.* 2014).

Los suelos de la zona son pedregosos, poco profundos y está ubicada en laderas y a altitudes menores a 1400 msnm (OXFAM 2012). Los productores de esta zona regularmente cultivan maíz y frijol, utilizan prácticas tradicionales con muy pocos insumos, mano de obra familiar y semillas criollas, obteniendo rendimientos 23,1-24,5 qq/ha de maíz, lo que se considera bajo para la región (Castellanos *et al.* 2013; Sain *et al.* 2017). Usualmente los productores son de infrasubsistencia y subsistencia y cuentan con 0,3-0,5 ha y 0,5-2,5 ha respectivamente, consumen lo que producen y cuando esto no es suficiente, complementan su alimentación con los ingresos que obtienen por trabajar en los cultivos de caña y café (FAO 2010a; OXFAM 2012; Castellanos *et al.* 2013).

En países en desarrollo con dependencia al cultivo en secano, se espera que el cambio climático impacte negativamente en la agricultura y en la seguridad alimentaria (McCarthy *et al.* 2018). En el 2015, la canícula prolongada afectó la región centroamericana por segundo año consecutivo causando pérdidas de hasta el 80% de los cultivos en las zonas afectadas (Lizarazo *et al.* 2016), incrementando el precio del maíz debido a la escasez (GIEWS 2015). En 2012, la pérdida económica en la producción de granos en el departamento de Chiquimula fue de Q.8526 M y afectó a 5803 familias y un total de 2914 ha afectadas y 4712 dañadas (OXFAM 2012). Lo anterior hace imprescindible el fortalecimiento de las capacidades de los productores por medio de capacitación y transferencia de tecnologías como medidas de adaptación, así como la planificación e implementación de políticas de gestión del riesgo a sequías para solventar los daños (Shiferaw *et al.* 2014).

La producción del cultivo de maíz es la más grande a nivel mundial. En el 2016 se produjo 1060 M de toneladas que ocuparon la mayor cantidad de tierra con 187,95 millones de hectáreas (FAO 2017). Este cultivo se produce para consumo humano, con un estimado por habitante de entre 182-198 lb/año (Sain y Pereira 1999), así como para la alimentación de ganado. El maíz, por ser una de las especies de mayor eficiencia en el uso del agua, la demanda en buena medida, y es sensible a la distribución y cantidad de precipitación y al comportamiento que el agua tiene en el suelo (INIA 2000). La mayor cantidad de pérdidas de maíz es debida a períodos de sequía mayores a 15 días (Bänziger y Araus 2007) y a deficiencia de nitrógeno (Bänziger y Araus 2007; Shiferaw *et al.* 2014). La semilla, el fertilizante, la tierra y la mano de obra son los principales insumos para el cultivo del maíz (Nvirenda *et al.* 2004).

Debido a las pérdidas de cultivos alrededor del mundo ocurridas por eventos extremos, los productores han procurado la adaptación de prácticas de bajo costo que les permita mantener la producción, tales como la utilización de semillas locales, sistemas agroforestales, o *mulch* (Altieri y Nicholls 2009; Chicas *et al.* 2014; Shiferaw *et al.* 2014), aunque para adoptarlas, necesitan obtener un rendimiento aceptable y alcanzar sus metas socioeconómicas y ambientales (Roco Fuentes *et al.* 2012). Asimismo, las condiciones socioeconómicas de los productores los lleva a estar más interesados en cómo mejorar sus rendimientos que en la mitigación de gases de efecto invernadero (GEI) (Rosenstock 2014).

Dentro de los factores que han influido en la adopción de prácticas agrícolas de conservación se encuentran: la organización, la disponibilidad de tierra, las políticas municipales, el apoyo de autoridades y el cambio climático (Deugd 2000; Fernández *et al.* 2005). En contraparte, la falta de información de factores biofísicos y socioeconómicos, el tipo de suelo, la cantidad de residuos de cultivos, el acceso a fertilizantes y herbicidas, el tiempo para obtener incremento en rendimientos (3 a 7 años) y la inversión inicial han limitado su adopción (Akinnifesi *et al.* 2006; Richards *et al.* 2014; Lipper *et al.* 2018).

El enfoque de agricultura climáticamente inteligente busca transformar la agricultura hacia la sostenibilidad, fortaleciendo los medios de vida de los productores con base en tres pilares: la productividad, la adaptación y la mitigación al cambio climático. Con ello se busca satisfacer la demanda de alimento presente y futura de manera sostenible, incrementar la resiliencia a eventos climáticos extremos y contribuir a la reducción y captura de emisiones de gases de efecto invernadero (FAO 2010b; Palombi y Sessa 2013; Lipper *et al.* 2014; Sain *et al.* 2017; Lipper *et al.* 2018). Las prácticas ACI pueden incrementar los rendimientos y reducir la emisión de gases de efecto invernadero (Smith *et al.* 2008).

A pesar de los beneficios del enfoque ACI, existen barreras para pasar de una agricultura intensiva a una agricultura climáticamente inteligente (FAO 2010b). Uno de los grandes retos está en cómo transferir las diferentes tecnologías para que puedan replicarse en diferentes contextos (Altieri y Nicholls 2009; Altieri *et al.* 2015). Una de las metodologías más viable para escalar estrategias adaptativas ha sido la transferencia tecnológica de productor a productor (Holt-Giménez 2002) y los métodos participativos (Ayarza y Welchez 2004; Teklewold *et al.* 2013).

Las prácticas de manejo de rastrojo, sistemas agroforestales y rotación del cultivo fueron las prácticas más adoptadas en cultivos de maíz en Chiquimula y Zacapa; sin embargo, no presentaron diferencias respecto al cultivo convencional puesto que los productores requieren entre 4-9 años para recuperar su inversión (Sain *et al.* 2017). Los sistemas agroforestales y mejores prácticas agronómicas pueden incrementar entre un 69-121% los rendimientos (Rosenstock 2014). Puesto que los residuos de los cultivos son fuente de nutrientes para mejorar el rendimiento, la composición física, química y biológica del suelo en el largo plazo (Kumar y Goh 1999; Ayarza y Welchez 2004; Fernández *et al.* 2005; Gómez 2014), favorecen la conservación del suelo y, de no considerarse, se deterioran y limitan la producción de los cultivos (Shiferaw *et al.* 2014).

Estas prácticas ofrecen una variedad de servicios ecosistémicos de aprovisionamiento, regulación, apoyo y culturales como el incremento de la biodiversidad, reducción de la sedimentación y erosión, mejora la calidad del agua, regulación del ciclo de nitrógeno, captura de carbono, provisión de leña y mejora los rendimientos (Gobbi y Casasola 2003; Fernández *et al.* 2005; Reid *et al.* 2005; Smith *et al.* 2008; Gómez 2014; Paustian *et al.* 2016), aportando a los tres pilares de la ACI (FAO 2010b) y fortaleciendo los sistemas agrícolas contra el cambio climático (Smith 2012). Por otro lado, los paquetes tecnológicos basados en semillas mejoradas y agroquímicos afectan la provisión de estos servicios (Teklewold *et al.* 2013).

McCarthy *et al.* (2018) estiman que las emisiones provenientes de la agricultura para el 2050, bajo una estrategia de agricultura convencional, alcancen 9,5 GT por año, lo que hace relevante la mitigación de emisiones en la agricultura a partir de la utilización de prácticas ACI. Aunque el potencial de mitigación de Centroamérica sea únicamente de 100 MtCO<sub>2</sub>e/año (Smith *et al.* 2008), las sinergias que pueden obtenerse de la adaptación y mitigación pueden favorecer los medios de vida de los productores, utilizando los instrumentos correctos para incentivar su adopción (Smith *et al.* 2008).

Al proporcionar evidencia por medio del análisis económico de las prácticas promisorias de la ACI, se puede facilitar la toma de decisiones oportunas respecto a los medios de vida de los productores para mejorarlos (Rosenstock 2014; Sain *et al.* 2017). Para este tipo de análisis deben estimarse los beneficios sociales con métodos de valoración para incorporarlos (Sain y Pereira 1999), y realizarse un análisis de sensibilidad respecto al precio de los insumos y cultivos para determinar como responden a los cambios del mercado (Nvirenda *et al.* 2004).

Castellanos *et al.* (2013) determinaron una pérdida económica para el cultivo del maíz de USD261,67/ha, pero como el fin es el aprovisionamiento de alimentos, consideró la mano de obra invertida como un beneficio y, justificándolo como un generador de empleo, obtuvo un VPN de USD556,51/ha. Es importante resaltar que la ganancia neta no es un buen indicador del análisis financiero ya que lo que busca la agricultura de subsistencia es la obtención de alimentos. Sain y Pereira (1999) indican que la producción de granos básicos por sí sola está muy lejos de ser rentable; podría serlo a un margen razonable para algunos productores considerando que muchos de ellos cultivan para su autoconsumo y utilizan mano de obra familiar y pocos insumos.

Aún existen vacíos de conocimiento relacionados con la viabilidad de los sistemas productivos en diferentes contextos agroecológicos y sociales (FAO 2010b). Por lo tanto es prioritario abordar la investigación de los impactos del cambio climático en la agricultura de los países en desarrollo desde una mirada interdisciplinaria, y así, poder realizar propuestas que fortalezcan la capacidad adaptativa de los productores (Morton 2007; Xu *et al.* 2017), y experimentos de largo plazo bien diseñados (Rusinamhodzi *et al.* 2011). Además, debe hacerse énfasis en la investigación y la innovación de tecnologías, instituciones, programas y políticas de gobierno orientado a eventos climáticos extremos, cambios permanentes en patrones de clima y reducción de emisiones del sector agrícola (McCarthy *et al.* 2018). Esta investigación espera contribuir con estos aspectos, demostrando los beneficios del empleo de las prácticas ACI en maíz para crear evidencia especialmente para los productores en condiciones de alta vulnerabilidad.

## 3.2 Materiales y métodos

### 3.2.1 Localización

La investigación se realizó en la comunidad La Libertad, Camotán, Chiquimula, Guatemala. Las parcelas se ubicaron dentro de las coordenadas 14°87'09 a 14°88'27 latitud norte y -89°26'02 a -89°27'42 longitud oeste (Figura 11), a una altitud desde 560 msnm hasta 698 msnm y con pendientes de 3-55%. La zona de vida según Holdridge (1966) es bosque seco subtropical (Bs S), con temperaturas promedio máxima, mínima y media de 36,1 °C, 18,3 °C y 25,9°C respectivamente y una precipitación media anual de 1135,2 mm. Los suelos son del orden entisoles, suborden orthents, los cuales son poco profundos, pedregosos y con tendencia a la erosión.

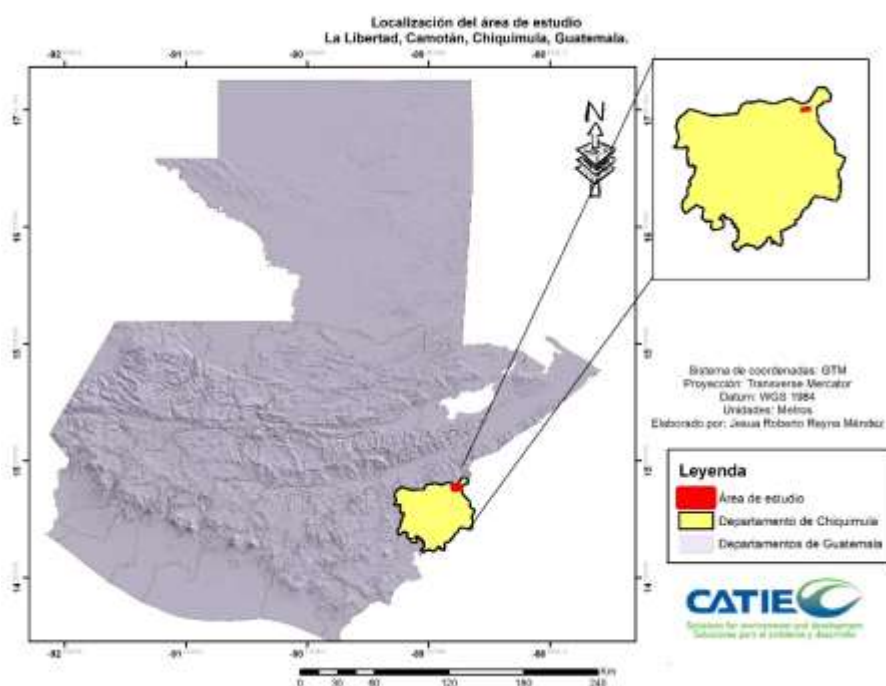


Figura 11. Mapa de localización de La Libertad, Camotán, Chiquimula, Guatemala

### 3.2.2 Descripción socioeconómica de las familias

Los participantes de la investigación fueron nueve hombres y una mujer jefes de familia; siete eran adultos con una edad promedio de 57 años y tres jóvenes con 21 años en promedio. Las familias estaban conformadas por seis miembros en promedio. A nivel de educación formal, el 10% de los jefes de familia había cursado la secundaria completa, 10% la secundaria incompleta, 40% primaria incompleta y 50% no tenía ningún grado, siendo los más jóvenes los de mayor grado de escolaridad.



Para el 2017, siete de las familias pertenecían a una organización productiva y todos los productores almacenaban parte de sus cosechas, la cual les permitió cubrir la alimentación de cinco meses en promedio, obligándoles a buscar ingresos fuera de la finca. El tamaño promedio de las fincas de los productores participantes fue de 0,49 ha. En conjunto, las parcelas cuentan con una diversidad arbórea de 32 especies y una abundancia de 270 individuos, predominando la especie *Gliricidia sepium*, la cual es utilizada para cercas vivas, forraje, leña y abono verde por su facilidad de siembra y adaptabilidad a la zona.

### **3.2.3 Diseño experimental**

El diseño experimental utilizado fue el mismo que el del artículo 1. "Efecto de las prácticas promisorias de la agricultura climáticamente inteligente: árboles dispersos con rastrojos, árboles dispersos y manejo de rastrojos utilizadas en cultivos de maíz (*Zea mays*) con tres tipos de fertilización sobre la humedad del suelo en La Libertad, Camotán, Chiquimula".

De igual manera, las prácticas empleadas y las descripciones de la siembra y de la fertilización, corresponden a las mismas descritas en el artículo 1, indicado en el apartado anterior.

### **3.2.4 Rendimiento**

Para determinar el rendimiento por cada subparcela, se cosechó el maíz desde el 26 de agosto hasta el 2 de septiembre del 2017, entre 102 días y 107 días posterior a la siembra. Con cada productor se cosecharon tres surcos de las subparcelas con fertilización convencional y seis surcos con la fertilización orgánica y química: posteriormente a la cosecha se secó al sol durante cuatro días y después se desgranó la mazorca a mano separando lo correspondiente a cada fertilización y cada manejo. La humedad del grano no fue medida, sin embargo, los productores indicaron que con la exposición al sol se obtuvo el nivel de humedad del grano necesaria para ser almacenado. El maíz desgranado se introdujo dentro de los costales y se pesó con una báscula romana. El rendimiento de las parcelas fue extrapolado a una hectárea para fines de comparación. Se utilizó modelos lineales generales y mixtos para determinar las diferencias.

### **3.2.5 Pilares de la agricultura climáticamente inteligente**

Para la valoración de los pilares de la ACI se consultó a dos profesionales de la mancomunidad Copán-Chortí, un profesional del Centro Universitario de Oriente (Cunori), un profesional de la FAO y un profesional de la municipalidad de Jocotán, todos ellos especialistas de las ciencias agrícolas con experiencia y conocimiento de la zona del corredor seco Nororiental de Guatemala. Se utilizó el Marco de Priorización en Agricultura Sostenible Adaptada al Clima (Corner-Dolloff *et al.* 2015). A todos ellos se les solicitó que consideraran la valoración enfocados en las condiciones de la región. Se utilizaron las prácticas de granos básicos promovidas por MAP-Noruega en el territorio con el fin determinar cuales las eran las más promisorias considerando, para el pilar de productividad, el valor de autoconsumo e

ingreso neto; para el de adaptación, los ingresos para la mujer, resiliencia a altas temperaturas, sequías, enfermedades y plagas, uso eficiente del agua y de agroquímicos y la calidad del suelo y agrobiodiversidad; y, para el pilar de mitigación, la reducción y secuestro de CO<sub>2</sub>, los cuales fueron ponderados en una escala del 1-10, siendo 10 el máximo aporte y 0 un aporte nulo.

### 3.2.6 Supuestos para el análisis económico

Para este análisis se estimaron los indicadores financieros valor presente neto (VPN), la relación beneficio-costos (B/C) y el período de retorno de la inversión (PRI). En el Cuadro 6 se describen los escenarios bajo los cuales se realizó el análisis de sensibilidad, lo que permitió observar desde una perspectiva diferente la eficiencia económica de las nueve medidas de adaptación (tres prácticas con tres tipos de fertilización), considerando algunos cambios en los precios de mercado (Khatun 2011), con el fin de determinar cuáles son más rentables y factibles en el corto y mediano plazo. Los datos fueron extrapolados a una hectárea y se utilizó un horizonte de 10 años para incluir los beneficios que pueden percibirse entre los dos y siete años de implementadas las prácticas. Los supuestos utilizados para la realización del análisis económico se detallan a continuación:

- Alcance espacial: los datos se extrapolaron a una hectárea de cultivo, área definida para realizar el análisis económico utilizando como referencia investigaciones previas realizadas por el CIAT y el CATIE.
- Alcance temporal: el plazo evaluado es de 10 años puesto que los efectos de las prácticas de manejo de rastrojos se logran percibir a partir del segundo año y los efectos de las prácticas de árboles dispersos con rastrojos y árboles dispersos se hacen tangibles entre el cuarto y séptimo año. En el caso de utilizar un período de tiempo menor, no sería posible determinar cambios según la práctica empleada.
- Tasa de descuento: para el análisis económico se utilizó una tasa de descuento del 5,38%, la cual corresponde al promedio de la tasa pasiva del Banco de Guatemala (el interés que paga en quetzales) del año 2017 (Banguat 2018).
- Variación en rendimientos: puesto que los datos se obtuvieron en el año 2017, cuatro años después de que el Programa Agroambiental Mesoamericano diera inicio, los rendimientos se consideraron a partir del cuarto año desde la implementación de las prácticas. Por lo que en las parcelas con manejo de rastrojos se realizó una reducción anual del 8% hasta el año cero y un incremento del 8% anual desde el quinto hasta el décimo año considerando los datos obtenidos por Ayarza y Welchez (2004). En las parcelas con árboles dispersos se realizó una reducción del 10% anual hasta el año cero y un incremento a partir del quinto año del 10% considerando los datos obtenidos por Fernández *et al.* (2005).
- Ingresos adicionales: para el segundo, tercer y cuarto año en adelante se consideró un 50%, 75% y 100% de la producción total de leña reportada por los productores.

- Reducción de costos: a partir del segundo año se redujo la mano de obra en 25% y 20% para el control de malezas y la aplicación de fertilizante respectivamente en las prácticas que incluyen árboles en las parcelas (Fernández *et al.* 2005).
- Cultivo: dado que el maíz es un cultivo anual y solo se obtuvieron datos de la siembra de primera, el análisis considera una sola producción por año.
- Fertilización orgánica: la aplicación de lombricompost se realizó durante los primeros tres años con el fin de recuperar la actividad microbiana del suelo, incorporar nutrientes y mejorar su estructura, y luego en el quinto, séptimo y noveno año para el mantenimiento del rendimiento.

Cuadro 6. Escenarios para el análisis de sensibilidad económica considerado para la evaluación del rendimiento del cultivo de maíz en Camotán, Chiquimula, Guatemala

Rubro	Escenario normal	Escenario optimista	Escenario pesimista	Tasa descuento alta
Ingresos	1	1,25	0,75	1
Costos	1	1	1,25	1
Tasa de descuento (%)	5,38	5,38	5,38	12

La utilización del ABC estima la rentabilidad privada de la adopción de las prácticas ACI. Por otra parte, pueden considerarse otros beneficios como biodiversidad, carbono, contaminación del agua y suelo (Kometter 2012; Lipper *et al.* 2014; Sain *et al.* 2017), los cuales no fueron considerados en esta investigación. La estructura de costos considera costos de instalación, mantenimiento, materiales y mano de obra. Los ingresos se calcularon multiplicando el rendimiento por el precio de mercado.

### 3.2.7 Estructura de costos e ingresos

Los costos están estructurados por los costos de establecimiento, materiales, insumos y el manejo de la práctica. Los costos de establecimiento incluyen: los jornales para la preparación del terreno y la siembra de estacones y el precio de los estacones mismos en las parcelas con árboles, más la semilla de maíz que es la única considerada en la parcela de manejo de rastrojos; los costos de los materiales (machete, azadón, chuzo, machete doblado, costales y mecapal) y los insumos (insecticida y estimulante para el tratamiento de semilla, fertilizantes triple 15, 20-20-0 y urea granulada y lombricompost). Estos se consideraron anualmente, excepto el lombricompost que se incluyó en seis años del período únicamente: los tres primeros, el cuatro, sexto y noveno.

Los costos de mano de obra por el manejo de las prácticas consideraron las deshierbas, podas de los árboles, carrileo del rastrojo, la siembra, fertilización, el calzado del maíz, dobla, cosecha y transporte del maíz, destusado, aporreado, secado, almacenamiento y manejo postcosecha.

En la Figura 12 se observa que los costos del establecimiento representan menos del 40% de los costos para todas las prácticas; pese a ello, significan una barrera para que los productores puedan adoptarlas. En el caso de la fertilización orgánica y química, los mayores costos se dan por los fertilizantes. En el caso de la fertilización convencional, el mayor costo está dado por la mano de obra, que suele ser provista generalmente por los miembros de la familia, lo que explica porque los productores de subsistencia optan por esta medida. El costo de los materiales representa una mínima parte del costo total, referidos a la hectárea, pero si se aplican a terrenos menores a 0,5 ha, tienden a ser una mayor limitante para obtener la rentabilidad financiera.

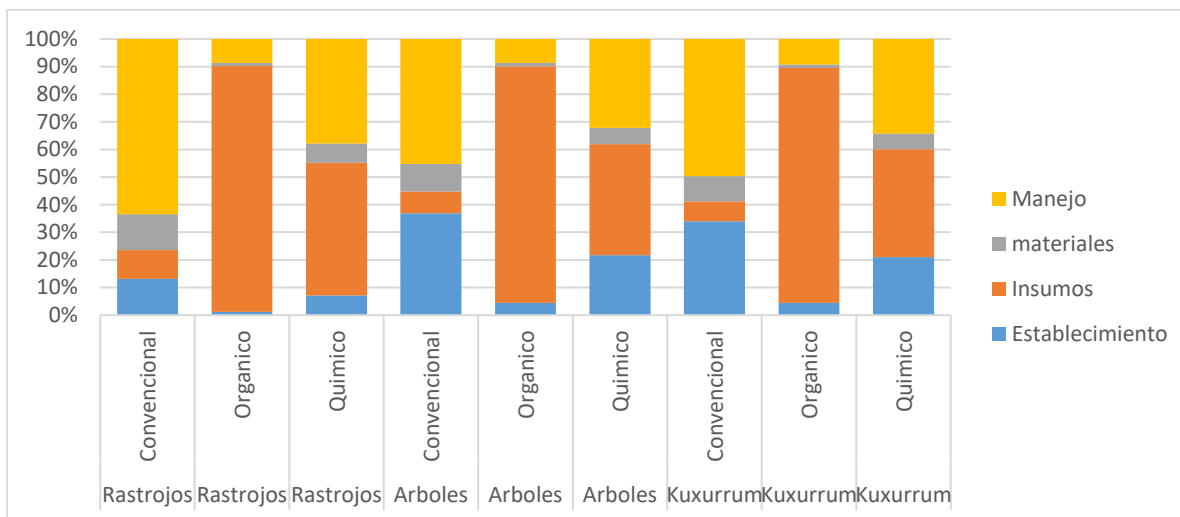


Figura 12. Estructura de costos de las prácticas aplicadas al cultivo de maíz por productores de Camotán, Chiquimula, Guatemala

Los ingresos utilizados para el análisis económico están conformados principalmente por la producción de maíz multiplicada por el precio de mercado del tercer trimestre del 2017 y la hoja de la mazorca con el precio local. Además se utilizaron los ingresos potenciales indicados por los productores por concepto de la leña obtenida en las fincas que tienen árboles y por la venta de los restos de los cultivos. Los ingresos se incrementan a partir del segundo año por la obtención de leña luego de la implementación de los sistemas y a partir de segundo año para las distintas prácticas.

En la Figura 13 se observa que el factor más importante de los ingresos es la producción de maíz; sin embargo, la diversificación de los ingresos por medio de la implementación de las medidas con árboles en las parcelas representan casi un 20% de los ingresos, lo que a lo largo del tiempo aumenta la disponibilidad de otros productos de uso común como es el caso de la leña y la tusa de la mazorca del maíz, utilizados para generar energía y preparar alimentos.

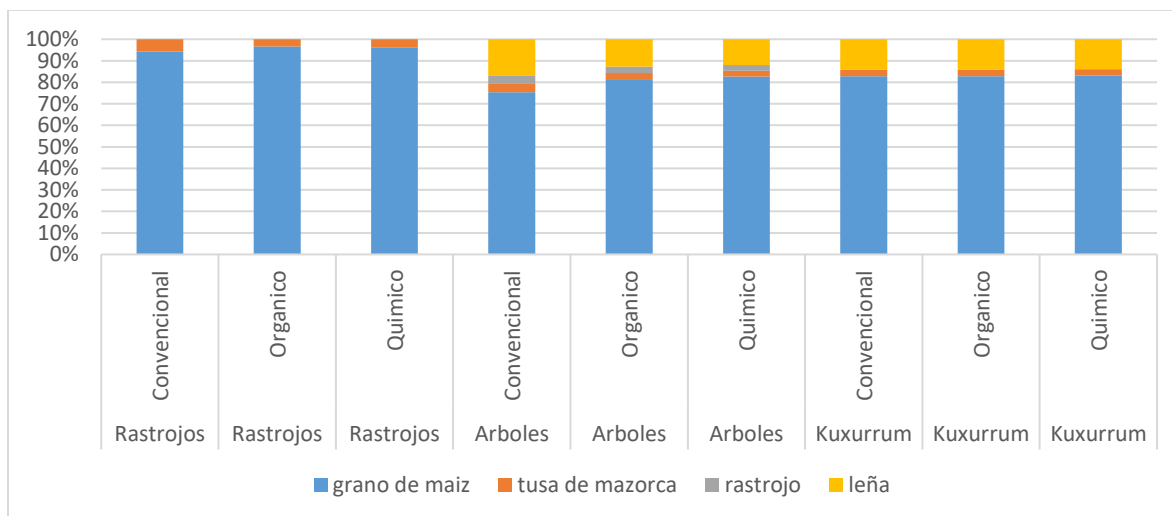


Figura 13. Componente de ingresos de las prácticas aplicadas al cultivo de maíz por productores Camotán, Chiquimula, Guatemala

### 3.3 Resultados

#### 3.3.1 Evaluación de las prácticas según los pilares de la agricultura climáticamente inteligente

Los entrevistados atribuyeron mayor inteligencia climática a la práctica de árboles dispersos y manejo de rastrojos. Los primeros tuvieron un aporte, en una escala del 1-10, a la productividad (6,5), adaptación (6,4) y mitigación (6,8) y los segundos de 5,9, 6,3 y 5,7 respectivamente (Figura 14). Los entrevistados también asignaron un peso ponderado de 38% al pilar de productividad, 39% al de adaptación y 23% al de mitigación, debido a que son conscientes que las mejoras en las condiciones de suelo, agua, microclima y nutrientes derivadas de la implementación de estas prácticas hacen los sistemas productivos más resilientes a las sequías, fenómeno que ha causado pérdidas de hasta un 80% de la producción en años anteriores.

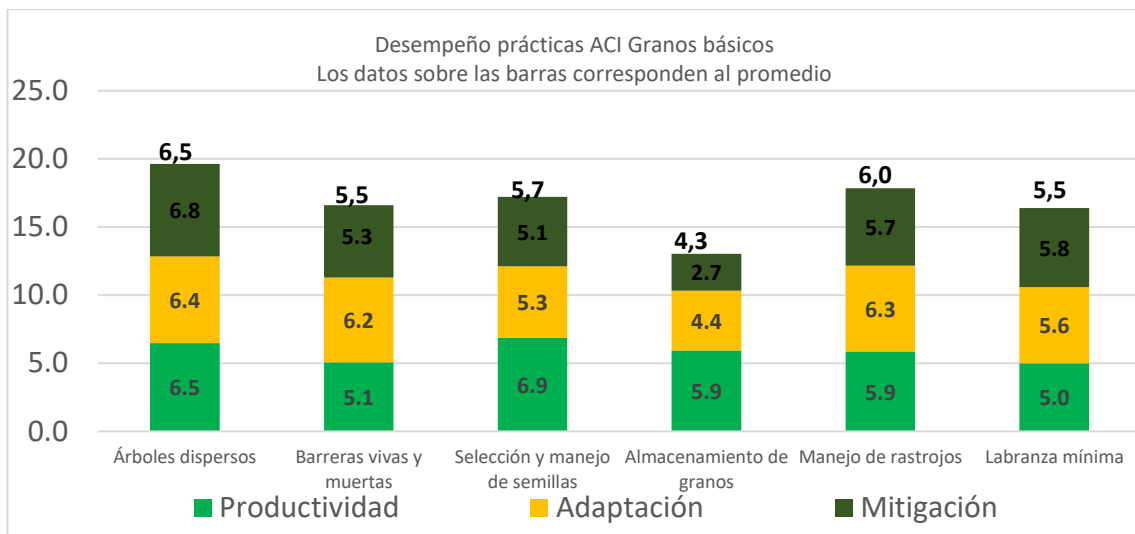


Figura 14. Evaluación de los pilares de las prácticas de agricultura climáticamente inteligente aplicadas en el cultivo de granos básicos en el corredor seco nor-oriental, Chiquimula, Guatemala

### 3.3.2 Análisis de rendimientos

Se determinó que el tipo de fertilización tuvo un efecto sobre el rendimiento con un  $P=0,035$ . A pesar de que se esperaba comprobar el efecto de las prácticas sobre el rendimiento, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, ni tampoco por su interacción con el tipo de fertilización. Esto pudo deberse a que se requieren más repeticiones para captar la variabilidad de los rendimientos. Con la prueba LSD Fisher a un nivel de confianza del 10% (Figura 15), los rendimientos obtenidos con fertilización química (5778,13 lb) y orgánica (5734,29 lb) son estadísticamente iguales y superiores a los de fertilización convencional (3832,61lb).

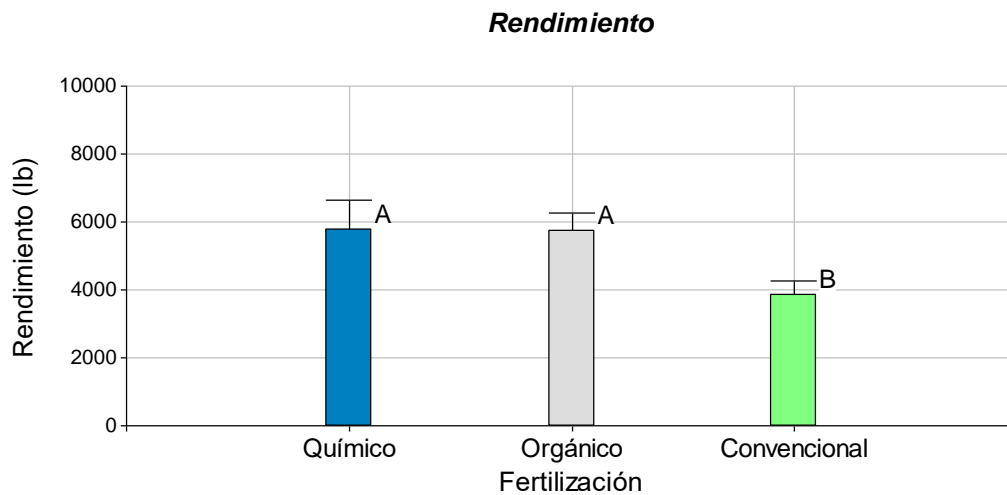
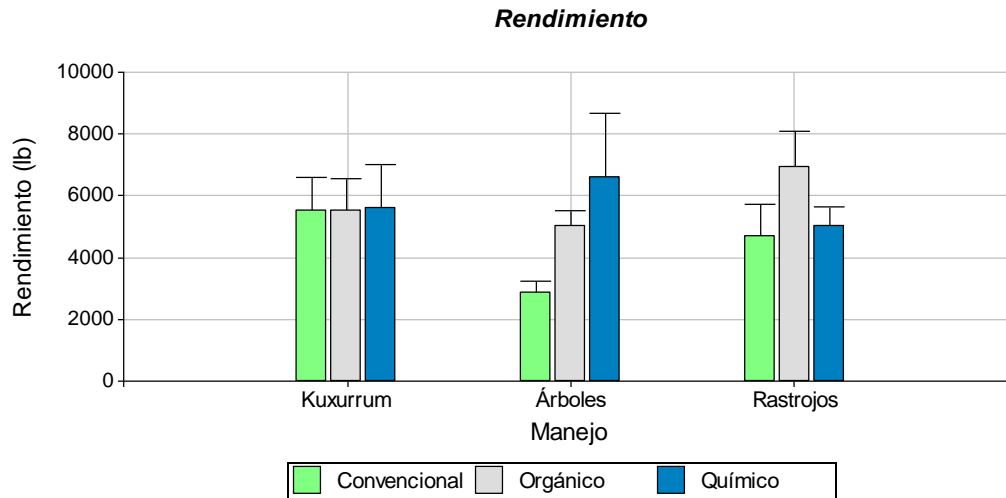


Figura 15. Rendimientos del cultivo de maíz por tipo de fertilización en Camotán, Chiquimula, Guatemala

A pesar de que los rendimientos no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre las prácticas, en la Figura 16 se puede observar que los rendimientos con los tres tipos de fertilización son muy similares en la práctica del manejo de árboles dispersos con rastrojos, los cuales, a pesar de no ser los más altos, demuestran cierta estabilidad; en las parcelas con árboles dispersos se presentó la tendencia  $FQ > FO > FC$ , posiblemente por la competencia de nutrientes del suelo y el efecto de la sombra; y para el manejo con rastrojos  $FO > FQ > FC$  posiblemente debido a que la labranza e incorporación del lombricompost, favoreció el desarrollo radicular, lo que permitió un mayor aprovechamiento de los nutrientes del suelo, sin competencia ni efecto de sombra.

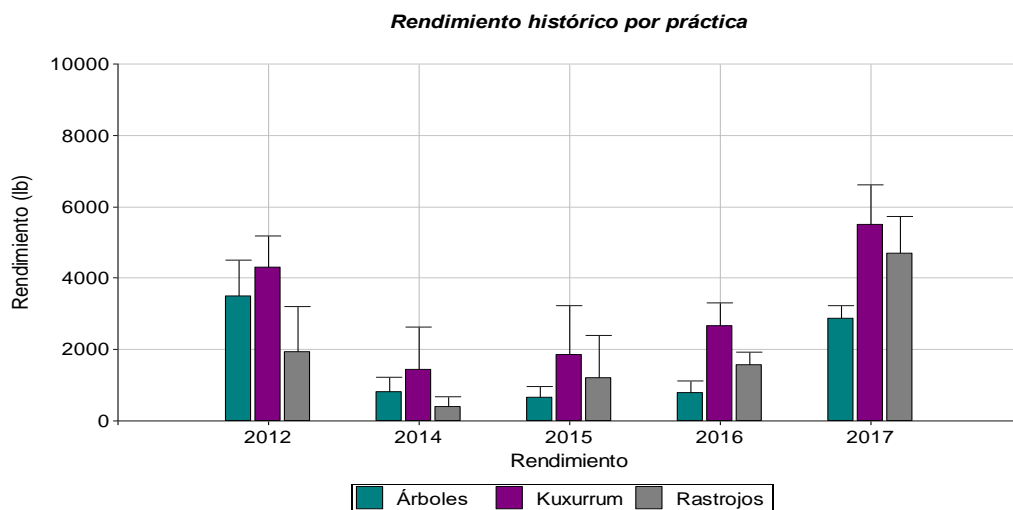


**Figura 16.** Rendimientos del cultivo de maíz por práctica y fertilización<sup>3</sup> en Camotán, Chiquimula, Guatemala

En la Figura 17 se observan los rendimientos de los cultivos de maíz que los productores reportaron al programa MAP-Noruega para los años 2012, 2014, 2015, 2016 y los datos obtenidos en el 2017 extrapolados a una hectárea. El comportamiento de los rendimientos de los cultivos utilizando una variedad criolla de maíz, tuvo una reducción en todas las prácticas en el período del 2012 al 2014 debido a los cambios en los patrones de lluvia; sin embargo, a pesar de que se mantuvieron los períodos de canícula prolongada en 2015 y 2016, se obtuvo un leve incremento de la producción.

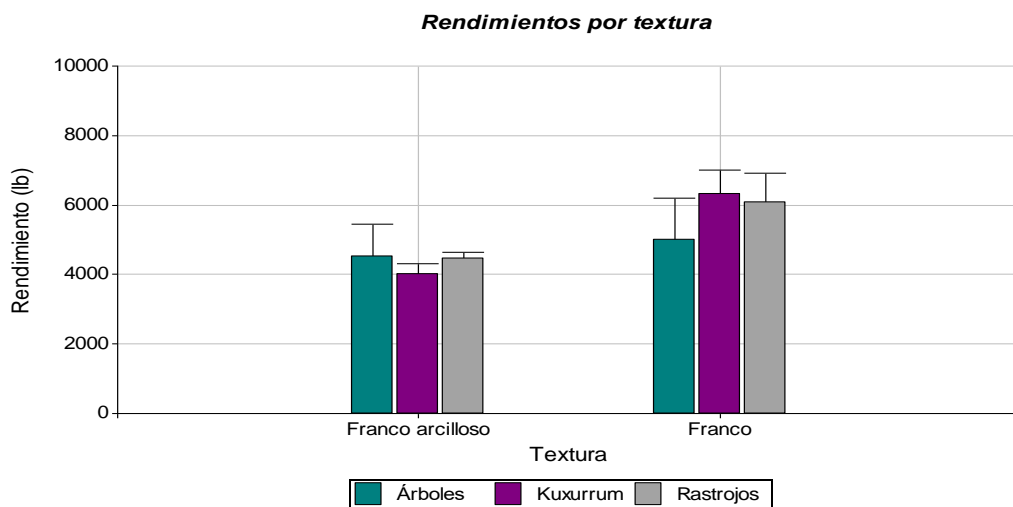
En el año 2017 hubo un incremento de la precipitación en la zona, lo que explica, junto a la utilización de la semilla mejorada ICTA B-7, el incremento de los rendimientos respecto a los demás años. Es importante destacar que el rendimiento más alto para todos los períodos se observa en las parcelas que tienen árboles dispersos con rastrojos. A partir del 2015 las parcelas con manejo de rastrojos produjeron más que las de árboles dispersos, posiblemente debido a que los nutrientes que aportan al suelo favorecen la producción.

<sup>3</sup> El kuxur rum se refiere a la práctica que incluye árboles dispersos con manejo de rastrojos en las parcelas para todos los gráficos.



**Figura 17.** Rendimientos del cultivo de maíz por práctica aplicada y con fertilización convencional en el periodo 2012-2017 en Camotán, Chiquimula, Guatemala

En la Figura 18 se puede observar que los suelos francos presentaron una tendencia a tener mayores rendimientos sobre los franco-arcillosos, posiblemente debido a que no se presentaron deficiencias de humedad en el suelo para el período de canícula.



**Figura 18.** Rendimientos de maíz por práctica y textura del suelo en cultivos de maíz de Camotán, Chiquimula, Guatemala



### 3.3.3 Análisis económico

En el Cuadro 7 se presentan las medias de los rendimientos obtenidos en campo y que se utilizaron para realizar el análisis económico con sus respectivas desviaciones estándar<sup>4</sup>.

Cuadro 7. Medias y desviaciones estándar de los rendimientos de cultivos de maíz por práctica y fertilización (lb/ha) en Camotán, Chiquimula, Guatemala

Práctica	n	Tipo de fertilización					
		Orgánico	D.E	Químico	D.E	Convencional	D.E
AD+MR	3	5529,48	1775,03	5617,25	2446,55	5500,22	1933,59
AD	3	5968,33	2438,66	6465,69	3674,11	4154,42	2263,93
MR	3	5997,58	1185,16	5149,14	1047,12	3393,75	730,83

En el Cuadro 8 se observa que independiente de la práctica, la fertilización orgánica no es económicamente viable debido a los altos costos del lombricompost. Para la fertilización convencional, independiente de la práctica, la inversión se recupera desde la implementación debido a que la inversión no requiere de muchos insumos y es cubierta por los ingresos generados por la primera producción de maíz. Para la fertilización química, debido al costo de los insumos, el tiempo para recuperar la inversión se da en el tercer período para la medida con manejo de rastrojos, en el segundo para árboles dispersos y en el cuarto en árboles dispersos con manejo de rastrojos, considerando que se utilizan semillas mejoradas para todos los períodos<sup>5</sup>.

Cuadro 8. Relación ingresos y costos de las medidas de adaptación en maíz para 10 años (Q/ha)

Medida adaptativa	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MR+FC+SM	422	1143	2163	3481	5098	7014	9228	11 741	14 553	17 663	21 072
MR+FO+SM	(19 812)	(39 096)	(57 852)	(54 358)	(72 059)	(67 509)	(84 154)	(78 548)	(72 415)	(87 477)	(80 288)
MR+FQ+SM	(292)	(130)	485	1552	3073	5047	7474	10,355	13 688	17 474	21 714
AD+FC+SM	127	1227	3146	5781	8872	12 420	16 425	20 887	25 806	31 182	37 016
AD+FO+SM	(21 049)	(40 927)	(59 785)	(56 006)	(73 294)	(68 202)	(84 176)	(77 771)	(70 710)	(84 715)	(76 340)
AD+FQ+SM	(494)	238	2044	4820	8306	12 504	17 413	23 033	29 365	36 407	44 161
AD+MR+FC+SM	523	2165	4776	8250	12 328	17 012	22 301	28 194	34 693	41 797	49 506
AD+MR+FO+SM	(21 736)	(42 349)	(61 990)	(59 042)	(77 210)	(73 046)	(89 996)	(84 616)	(78 627)	(93 753)	(86 548)
AD+MR+FQ+SM	(1451)	(1769)	(1107)	432	2588	5362	8754	12 764	17 392	22 638	28 502

\* Los montos están dados en quetzales (USD1=Q7,5) para una ha

<sup>4</sup> Las abreviaturas incluidas en los cuadros correspondientes a las prácticas son: AD+MR= árboles dispersos con manejo de rastrojos; AD= árboles dispersos; MR= Manejo de rastrojos. Correspondientes a los tipos de fertilización: FC= fertilización convencional; FQ= fertilización química; FO= fertilización orgánica. SM= Semillas mejoradas.

<sup>5</sup> Las medidas de adaptación corresponden a la combinación de las prácticas con el tipo de fertilización, todas con el empleo de semillas mejoradas.

### 3.3.4 Análisis B/C, VPN y PRI

El análisis económico presentado en el Cuadro 9 determina que todas las prácticas, excepto las de fertilización orgánica, tienen una relación B/C > 1 con una tasa de descuento del 5,38%, lo que las hace rentables. Sin embargo, ello no significa que todas sean económicamente viables para los productores de subsistencia, debido a las limitaciones de liquidez y acceso al crédito para realizar la compra de los insumos necesarios para optar por las medidas con fertilización química. Por el contrario, se demuestra que el empleo de las medidas del *status quo*, representado por la fertilización convencional, se torna viable y rentable.

Las medidas adaptativas que presentaron un VPN mayor fueron las de AD+MR+FC con Q.35 004 y AD+FQ con Q.31 377 y menores en MR+FC con Q.14 680 y MR+FQ Q.15 204. En los indicadores B/C y VPN en árboles dispersos y con FC y FQ y manejo de rastrojos con FC y FQ se observa que, a pesar de que la fertilización química genera un VPN mayor que el de la fertilización convencional, la relación B/C es mayor en la segunda para ambos casos, debido a que los costos son mucho menores que con la fertilización química.

El PRI para MR, AD y AD+MR se dio en el primer período con la fertilización convencional, lo que significa que la inversión se recupera desde el año de la implementación debido a la baja inversión por fertilizantes, a diferencia de la fertilización química, cuyo PRI es de dos períodos para MR, de tres para AD y de cuatro para AD+MR, siendo el que tarda más en recuperar la inversión.

Cuadro 9. Resultados del análisis económico de las medidas de adaptación en cultivos de maíz en Camotán, Chiquimula, Guatemala

Medida adaptativa	B/C	VPN (Q)	PRI (años)
MR+FC+SM	1,75	14 331	1,75
MR+FO+SM	0,46	(68 557)	0,46
MR+FQ+SM	1,40	14 151	1,40
AD+FC+SM	2,03	25 095	2,03
AD+FO+SM	0,50	(66,547)	0,50
AD+FQ+SM	1,70	29 306	1,70
AD+MR+FC+SM	2,27	33 713	2,27
AD+MR+FO+SM	0,45	(73 898)	0,45
AD+MR+FQ+SM	1,42	18 110	1,42

### 3.3.5 Análisis de sensibilidad

En el Cuadro 10 se muestran los índices económicos VPN y B/C bajo los escenarios normal, optimista, pesimista y con tasa de descuento alta para cada una de las nueve medidas de adaptación evaluadas. Los resultados indican que las prácticas que presentan índices B/C > 1 son las de árboles dispersos con manejo de rastrojos, árboles dispersos, y manejo de rastrojos con la fertilización

convencional para todos los escenarios; es decir, la práctica *status quo*, debido a que las prácticas empleadas al incrementar los rendimientos y diversificar los ingresos aumentan la resiliencia a los cambios producidos por las variaciones de los precios de mercado. La medida más prominente es la de árboles dispersos con rastrojos, fertilización convencional y semillas mejoradas presentando las mejores relaciones B/C de 2,27, 2,84, 1,36 y 2,14 para cada escenario respectivamente.

Las medidas que utilizan la fertilización orgánica resultaron con pérdidas en todos los escenarios debido a los altos costos del lombricompost. Resultaría relevante evaluar este tipo de fertilización considerando que los productores puedan realizar su propio compostaje; sin embargo, por los VPN observados en las medidas con fertilización orgánica y con fertilización química, se podría deducir que sería más rentable elaborar el compost para su venta que para su aplicación al suelo para el cultivo de maíz, puesto que la pérdida resulta ser mucho más grande que los ingresos de la mejor medida de adaptación.

En el Cuadro 11 se presentan los mismos índices económicos que se presentaron en el Cuadro 10. Para este caso, se midieron las variables económicas considerando los ingresos obtenidos únicamente de los rendimientos de maíz, lo que permite observar los cambios en el comportamiento de cada medida de adaptación en función de la seguridad alimentaria. Las prácticas con fertilizante convencional (*status quo*) siguen siendo las más resilientes a los diferentes escenarios planteados.

**Cuadro 10.** Análisis de sensibilidad de las medidas de adaptación en cultivos de maíz bajo los escenarios normal, optimista, pesimista y con tasa de descuento alta en Camotán, Chiquimula, Guatemala

Medida de adaptación	Normal		Optimista		Pesimista		TD 12%	
	VAN (Q)	B/C	VAN (Q)	B/C	VAN (Q)	B/C	VAN (Q)	B/C
MR+FC+SM	14 331	1,75	22 688	2,19	1201	1,05	9415	1,68
MR+FO+SM	(68 557)	0,46	(54 146)	0,57	(114 517)	0,27	(57 767)	0,41
MR+FQ+SM	14 151	1,40	26 589	1,75	(7188)	0,84	8749	1,34
AD+FC+SM	25 095	2,03	37 458	2,54	6644	1,22	16 378	1,92
AD+FO+SM	(66 547)	0,50	(49 928)	0,62	(116 421)	0,30	(57 086)	0,45
AD+FQ+SM	29 306	1,70	47 092	2,13	1061	1,02	18 567	1,61
AD+MR+FC+SM	33 713	2,27	48 767	2,84	12 033	1,36	22 149	2,14
AD+MR+FO+SM	(73 898)	0,45	(58 ,775)	0,56	(122 618)	0,27	(62 279)	0,40
AD+MR+FQ+SM	18 110	1,42	33 439	1,77	(8,020)	0,85	10 727	1,34

Las medidas que incluyen fertilización química en el escenario pesimista resulta en pérdidas. Al igual que en el análisis anterior, la práctica de árboles dispersos con rastrojos con fertilización convencional resulta la más rentable y resiliente a los cambios. Al comparar los resultados del Cuadro 10 con los del Cuadro 11, se observa que la diversificación de los productos tiene un impacto positivo para las familias productoras, reduciendo la necesidad de comprar insumos como leña.

**Cuadro 11.** Análisis de sensibilidad de las medidas de adaptación considerando únicamente el ingreso por la producción de maíz bajo los escenarios normal, optimista, pesimista y con tasa de descuento alta

Medida de adaptación	Normal		Optimista		Pesimista		TD 12%	
	VAN (Q)	B/C	VAN (Q)	B/C	VAN (Q)	B/C	VAN (Q)	B/C
MR+FC+SM	14 331	1,75	22 688	2,19	1201	1,05	9415	1,68
MR+FO+SM	(68 557)	0,46	(54 146)	0,57	(114 517)	0,27	(57 767)	0,41
MR+FQ+SM	14 151	1,40	26 589	1,75	(7188)	0,84	8749	1,34
AD+FC+SM	14 199	1,58	23 837	1,98	(1528)	0,95	8528	1,48
AD+FO+SM	(78 449)	0,41	(64 806)	0,51	(125 348)	0,25	(65 759)	0,36
AD+FQ+SM	17 127	1,41	31 868	1,76	(8073)	0,85	9668	1,32
AD+MR+FC+SM	23 934	1,90	36 544	2,38	4699	1,14	15 048	1,78
AD+MR+FO+SM	(83 693)	0,38	(71 019)	0,47	(129 964)	0,23	(69 393)	0,33
AD+MR+FQ+SM	8267	1,19	21 134	1,49	(15 403)	0,71	3573	1,11

### 3.4 Discusión

Los rendimientos de los cultivos de maíz tienen un comportamiento muy variable y dependen de varios factores como el clima, suelo, variedad, manejo, plagas y enfermedades; además de factores como la densidad de siembra y disponibilidad de nitrógeno que restringen por sí solas el rendimiento y enfermedades (Alfaro y Hidalgo 2017). Esta dependencia a circunstancias controlables y no controlables hace necesaria la utilización de prácticas promisorias de la agricultura climáticamente inteligente, que posibiliten sistemas productivos más resilientes, mejoren los rendimientos y, a pesar de no ser tan importante para los productores, contribuyan a la mitigación de los gases de efecto invernadero.

Respecto a la evaluación de inteligencia climática, los expertos de la zona asignaron valores muy parecidos a los pilares de productividad y adaptación (38% y 39%), puesto que con las pérdidas de hasta un 80% de los cultivos en los últimos años en la región, han comprendido la importancia de implementar medidas de adaptación ya que las parcelas con una o más prácticas han resultado menos afectadas. Sain *et al.* (2017) mencionan que la prioridad está en la seguridad alimentaria y la adaptación para las zonas de corredor seco nor-oriental de Guatemala.

Las prácticas que se ponderan como las más provechosas para los productores son las de **árboles dispersos** en las parcelas (6;5), puesto que estos favorecen la regulación del microclima en la parcela, la reducción de la erosión del suelo, aumentan la cantidad de materia orgánica y la capacidad de retención de humedad del suelo y protege los cultivos contra los vientos fuertes, además de favorecer la biodiversidad y la captura de carbono, proveen leña para la preparación de alimentos y de cobertura al suelo como reportaron Ikerra *et al.* (1999); Chirwa *et al.* (2003); Haule *et al.* (2003); Makumba *et al.* (2006); Chirwa *et al.* (2007); Makumba *et al.* (2009), con el inconveniente de que si no se manejan apropiadamente, puede afectar los rendimientos debido a la sombra (Fernández *et al.* 2005); la **no quema** y el **manejo de rastrojos** (6,0), debido a que además de proteger el suelo de la erosión, también favorece la retención de humedad y reducen la aparición de hierbas no deseadas, lo que se traduce en una menor demanda de mano de obra y una reducción del riesgo a incendios en la zona

como reportaron en sus investigaciones Zea *et al.* (1997); Morón (2001); Ernst *et al.* (2002); Kooijman *et al.* (2005); Perdomo y Barbazán (s.f.); y la **selección y manejo de semillas** (5,7), que permite conservar el germoplasma nativo, garantizando los rendimientos debido al proceso de adaptación a las condiciones del lugar, además de que elimina la dependencia a las variedades de semillas ofrecidas en los agroservicios. Villarreyna Acuña (2015) obtuvo un orden distinto de priorización en Nicaragua, con la práctica de árboles dispersos en la sexta posición de siete prácticas evaluadas, debido posiblemente a las condiciones climáticas diferentes del sitio.

Concerniente al tipo de fertilización, las diferencias en los rendimientos del maíz con fertilización orgánica y química respecto a la fertilización convencional eran de esperarse, puesto que con una mayor aplicación de nutrientes se esperan mayores rendimientos. López Mtz *et al.* (2001), en su estudio concluyeron que la fertilización orgánica puede ser una alternativa para sustituir la fertilización química, mientras que Tejada y Benítez (2011) indican que después de tres años de aplicación de lombricompost los suelos mejoran la actividad biológica y los rendimientos del cultivo de maíz.

Por otra parte, Doan *et al.* (2015) indican que el lombricompost incrementa poco los rendimientos en condiciones de lluvias adecuadas, pero que, en condiciones de estrés hídrico el aumento es notable. Belay *et al.* (2002) por su parte, defienden que una aplicación balanceada de NPK química puede mantener la calidad y productividad del suelo en términos de nutrientes; sin embargo, no consideran los beneficios de la materia orgánica que favorece la resiliencia de los sistemas agrícolas. En el 2017, los rendimientos con fertilización convencional en La Libertad fueron mayores comparados con los años anteriores, posiblemente a un incremento de la precipitación y a los aportes de nutrientes derivados de la incorporación de materia orgánica producto de las prácticas.

Debe considerarse que el tamaño de la muestra de las parcelas consideradas en este estudio limita sus resultados, ya que según se observa en la Figura 16, a pesar de no mostrar diferencias estadísticas significativas, se observa que las parcelas con árboles dispersos y rastrojos presentan rendimientos similares para todos los tipos de fertilización y que a pesar de no ser los más altos, se demuestra que al recibir un mayor aporte de fertilizantes, no hay incrementos en el rendimiento del maíz. Se sugiere analizar rendimientos con distintas dosis de fertilizantes bajo este manejo para poder tener conclusiones concretas en diferentes tiempos y condiciones climáticas.

Los árboles dispersos en las parcelas presentan un comportamiento distinto al de árboles dispersos con rastrojos, puesto que son las parcelas que cuentan con un déficit de fósforo y una cantidad baja dentro del rango de potasio. Es por ello que la aplicación del fertilizante químico obtuvo los rendimientos más altos, un rendimiento medio con el lombricompost y los rendimientos más bajos con la fertilización convencional, lo que podría deberse a la misma limitación de nutrientes, así como a la competencia por luz y nutrientes de los árboles.

El manejo de rastrojos presentó los mayores rendimientos con la fertilización orgánica, posiblemente debido a que el cultivo tuvo un mejor desarrollo radicular, y por ende, una mayor absorción de nutrientes, como lo sugieren Tejada y Benítez (2011), sin competir con otras plantas en la parcela, además de tener una mayor exposición a la radiación solar que en condiciones de lluvias adecuadas favorece el desarrollo del cultivo. Asimismo, los rendimientos fueron muy similares con la fertilización

convencional y fertilización química, similarmente al comportamiento observado en las parcelas con árboles dispersos con rastrojos fortaleciendo la hipótesis de que los restos del cultivo del maíz incrementa los rendimientos debido al aporte nutricional del rastrojo al suelo, como lo reportaron Kumar y Goh (1999).

Los datos de rendimientos del 2012 y 2014-2016 obtenidos por el programa MAP-Noruega y los obtenidos en esta investigación y que corresponden al 2017, permiten observar que los rendimientos en las parcelas con árboles dispersos y rastrojos fueron mayores en todos los períodos (Figura 17), y al igual que Gamboa *et al.* (2008) se demuestra que aun en condiciones climáticas adversas y pese a la reducción de los rendimientos, estos fueron superiores a los de las otras prácticas empleadas, resaltando el potencial de utilizar la especie *Gliricidia sepium*. Akinnifesi *et al.* (2006) reportaron incrementos en los rendimientos de 315% sobre el monocultivo, en un período de 10 años, acordes a lo indicado por Deugd (2000) quien indica que el sistema de árboles dispersos con rastrojos tiene un uso mayor a los 10 años.

Los rendimientos de las parcelas con manejo de rastrojos tendieron a superar los rendimientos de las parcelas con árboles, en el 2015, 2016 y 2017, posiblemente debido a la limitada disponibilidad de nutrientes encontrada en el suelo y a la competencia con los árboles, lo cual estaría conforme a la relación lineal del rendimiento con la cantidad de nitrógeno y de potasio (Coelho 2006), y de la reducción del rendimiento por la limitación de fósforo (Below 2004).

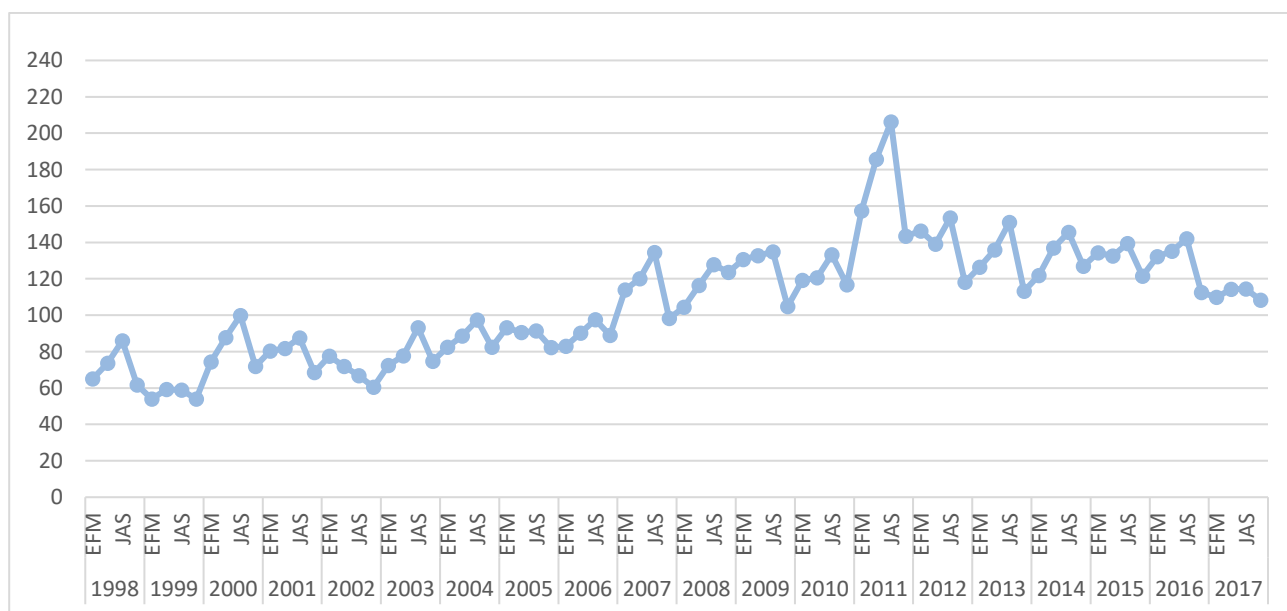
Los rendimientos del 2017 fueron superiores respecto a los años anteriores, lo que podría deberse a la variedad de maíz mejorada ICTA B-7. Setimela *et al.* (2017) reportaron un incremento de 4-19% de los rendimientos al utilizar variedades tolerantes a sequías. Asimismo, la precipitación de ese año, superó la de los años anteriores. El hecho de que los rendimientos fueran menores en los suelos franco-arcillosos que en los francos (Figura 18), confirma que no se presentaron deficiencias hídricas como en años anteriores. Ekasingh *et al.* (2004) indican que los rendimientos de maíz se ven afectados por excedentes de lluvias en los suelos más arcillosos.

Con la información obtenida por el programa MAP-Noruega, se pudo calcular la cantidad de meses de reserva de granos de maíz para las familias de La Libertad, Camotán, clasificadas por la práctica empleada (Cuadro 12). Se utilizó la demanda de alimento más alta correspondiente a 413 lb/persona/año para ser más conservadores respecto a la cantidad de maíz de reserva en Honduras, estimada entre 350 y 413 lb por persona por año (Fernández *et al.* 2005; Ayarza *et al.* 2010). Se consideró además, seis miembros de familia para considerar la demanda y 0,49 ha como área de producción. La mayor cantidad de reserva de grano de maíz la obtuvieron los productores que cultivaron en parcelas con árboles dispersos con rastrojos (Kuxur rum), con un cambio en la tendencia de los árboles dispersos hacia una disminución en el rendimiento y una tendencia al aumento en las parcelas con manejo de rastrojos. A pesar de que la disponibilidad de granos fue mínima en el periodo 2014-2016, no se perdieron los cultivos en su totalidad como en las parcelas de los productores que practicaban la roza y quema, lo cual demuestra que el empleo de las prácticas promisorias de la agricultura climáticamente inteligente incrementa la resiliencia y aporta a la seguridad alimentaria de los productores, tal como lo indica Echeverría *et al.* (2016) referente a que dentro de los impactos económicos de estas prácticas en el cultivo de granos básicos, está la seguridad alimentaria.

**Cuadro 12.** Meses de reserva de grano de maíz de los productores de La Libertad, Camotán, Chiquimula, Guatemala

Manejo	2012	2014	2015	2016	2017
AD+MR	10,2	3,4	4,4	6,3	13,1
AD	8,3	1,9	1,5	1,9	6,8
MR	4,6	1,0	2,8	3,7	11,1

En la Figura 19 se observa el incremento del precio del maíz durante los últimos 20 años. Las medias de los precios para los años 2012, 2014, 2015, 2016 y 2017 fueron de Q132,89, Q129,42, Q133,32, Q132.75 y Q112,81 respectivamente, los cuales se han mantenido a diferencia del 2017 cuando disminuyó debido a la disponibilidad del grano almacenado, las cosechas y las importaciones (Villagrán 2017). Los meses promedio de reserva de granos dejan un déficit de producción de 4657 lb, 8157 lb y 7586 lb de maíz, por lo que los productores tuvieron que generar un ingreso extra de Q6177 Q10 560, y Q9973 para las prácticas de árboles dispersos con rastrojos, árboles dispersos y manejo de rastrojos acumulados respectivamente, para suplir las necesidades de maíz de sus familias, y poder mantener satisfecha su necesidad alimentaria y nutricional.



**Figura 19.** Variación en el precio del maíz blanco de primera respecto al promedio del período 1998-2017

Fuente: elaborado con base en datos del MAGA de Guatemala (MAGA 2017)

La literatura sugiere que al emplear prácticas como las evaluadas en este estudio, se incrementa la productividad del maíz. Utilizando sistemas agroforestales con maíz, Barreto *et al.* (2012) demostraron que los rendimientos se incrementan en un 20% con cuatro y seis podas anuales a 50 cm del suelo. Makumba *et al.* (2006) asociaron el incremento en el rendimiento de 110 lb/ha al sistema maíz-*Gliricidia sepium*. Gómez (2014) resalta que con el incremento a 5000 lb/ha de maíz se evidencia la recuperación

de suelos degradados, además de diversificar los beneficios para la familia con plantas medicinales, leña, y madera. Akinnifesi *et al.* (2006) reportaron un rendimiento del 228%, respecto al monocultivo sin fertilizante en un período de 10 años. Teklewold *et al.* (2013) encontraron un rendimiento del 200% con una leguminosa intercalada respecto a la labranza convencional. Deugd (2000) reportó un rendimiento de 4620 lb/ha con la práctica Quesungual que se encuentran muy por encima de las 2002 lb/ha de maíz con quema. Rosenstock (2014) encontró diferencias de rendimientos en maíz durante tres temporadas en sistemas con *Gliricidia*, con fertilizante químico, rastrojos y sin fertilización de 4840lb/ha, 4620 lb/ha, 3080 lb/ha y 1980 lb/ha respectivamente.

Respecto a la práctica de manejo de rastrojos RODALE (2012) reportó un rendimiento 31% mayor al convencional en años de sequía con un manejo orgánico y con semillas tolerantes a sequías únicamente de 6,7-13,3%. Ayarza y Welchez (2004) reportaron incrementos de 660 lb/ha a 1188 lb/ha con manejo de rastrojos y labranza cero entre 1992 y 1999 en Honduras. Verhulst *et al.* (2011) indicaron una diferencia de hasta 3300 lb/ha vs un manejo sin rastrojos en México. En Etiopia, el incremento del ingreso por maíz con prácticas sostenibles se incrementó entre 9-35% comparado con los de productores que no las emplean (Shiferaw *et al.* 2014).

Las condiciones de vida de los productores de subsistencia de la zona de estudio se ven afectadas por las limitantes económicas que los obligan a producir procurando la menor inversión posible, aprovechando la mano de obra familiar, utilizando herramientas en mal estado y la cantidad mínima de insumos, con tal de poder producir sus alimentos. Esto explica las dificultades para poder implementar las prácticas evaluadas y que continúen utilizando la cantidad de fertilizante mínima. Según Ekasingh *et al.* (2004) a los productores con limitaciones económicas se les dificulta sobrevivir de la siembra de maíz y en caso de bajos rendimientos incurren en pérdidas, pero aun así lo cultivan porque crece fácilmente y tiene menores riesgos que otros cultivos.

En la Figura 12 se observa que las prácticas que incluyen árboles en las parcelas presentan un costo de establecimiento aproximado del 30% con un 40-50% correspondiente a mano de obra familiar del total de la inversión inicial. Shepherd *et al.* (1997) indican que con un leve incremento en los rendimientos se cubren los costos de utilizar esta práctica. El establecimiento de la práctica de manejo de rastrojos tiene una inversión del 15% del total de la inversión, lo que la hace una medida más accesible para los productores en términos de costos. Las medidas que incluyen fertilizante químico y orgánico son las menos utilizadas debido a que los costos del fertilizante corresponden entre el 40-45% y el 80-90% únicamente, los cuales, al ser comparados con los beneficios obtenidos por los rendimientos, resultan menos rentable que la práctica convencional. Los ingresos potenciales obtenidos por las prácticas evaluadas (Figura 13), son principalmente por la producción del grano del maíz; sin embargo, la diversificación de los ingresos representa entre un 10-20% de los ingresos de las parcelas que tienen árboles, favoreciendo la disponibilidad, en el caso de los productores de subsistencia, de otros insumos utilizados en el hogar o que generan un ingreso extra.

Los resultados del análisis económico (Cuadro 9), indican que las medidas adaptativas con fertilizante convencional consideradas como *status quo*, son las que tienen una tasa beneficio-costo más alto debido especialmente a que los costos de los fertilizantes se reducen en gran medida. Los ingresos se redujeron debido a la disminución del precio de mercado del maíz blanco, el cual fue utilizado



para todo el período del análisis. Lo relevante es que la implementación de estas medidas traen consigo beneficios reales en el mediano plazo, si se comparan con el manejo de roza y quema que debe dejar en barbecho o descanso el terreno de 4-10 años para la recuperación del suelo sin afectar los rendimientos (Fernández *et al.* 2005; Ayarza *et al.* 2010).

En el Cuadro 13 se presentan los indicadores económicos obtenidos por Echeverría *et al.* (2016), quienes presentan relaciones B/C de las prácticas ACI sobre la práctica de maíz tradicional. La relación B/C=1,75 para la práctica de manejo de rastrojos obtenida en esta investigación, es superior posiblemente debido al efecto sinérgico de utilizar las prácticas evaluadas independientemente de labranza mínima, no quema y manejo de rastrojo y no evaluadas como semilla mejorada, como documentó Shiferaw *et al.* (2014) con una, dos y tres prácticas en maíz que los productores obtuvieron 2350 ETB/ha (USD85,22/ha), 2959 ETB/ha (USD107,31/ha) y 5579 ETB/ha (USD202,32/ha), similar a la tendencia marcada en un período de 10 años por el empleo de las prácticas de manejo de rastrojos, árboles dispersos, y árboles dispersos con rastrojos, con un valor presente neto de Q. 14 680/ha (USD1957/ha), Q. 26 318 /ha (USD3509/ha), y Q.35 004/ha (USD4667/ha), respectivamente<sup>6</sup>.

En otro estudio, Ekasingh *et al.* (2004) encontraron que existe una diferencia en la rentabilidad del cultivo de maíz debida al tamaño de la finca, donde las fincas pequeñas (<3,2 ha) perciben 2101 baht/ha (USD67,26/ha), las fincas medianas (3,2-6,4 ha) perciben 2000 baht/ha (USD64,03/ha) y las fincas grandes (>6,4 ha) obtienen 1232 baht/ha (USD39,44/ha)<sup>7</sup>.

**Cuadro 13.** Indicadores económicos para la producción de granos básicos en la región del Trifinio (hectárea)

Práctica	VAN (Lempiras)	VAN (Quetzales)	B/C	PRI
Maíz tradicional	22 782	7119	1,34	1
No quema y manejo de rastrojo	27 717	8662	1,45	1
Labranza mínima	29 321	9163	1,48	1
Selección de semilla	26 091	8153	1,38	1

De las prácticas evaluadas con fertilizante convencional, la de árboles dispersos con rastrojos presenta la tasa B/C más alta, con 2,27, seguida de la práctica de árboles dispersos con 2,03 y la práctica de manejo de rastrojos con 1,75, siendo superior a las de los otros tipos de fertilización. Las que utilizan fertilizantes químicos, a diferencia del *status quo*, que recupera la inversión al primer año como lo indicaron Echeverría *et al.* (2016), tienen un retorno de la inversión de dos años para la práctica de árboles dispersos, de tres años para la práctica de manejo de rastrojos y de cuatro años para la práctica de árboles dispersos con rastrojos debido al incremento de los costos de producción por la compra del fertilizante.

<sup>6</sup> ETB: moneda de Etiopía, África.

<sup>7</sup> Baht: moneda de Tailandia, Asia

Las prácticas que incluyen árboles, gracias a la diversificación de los ingresos, presentan un VPN mucho mayor que la práctica de manejo de rastrojos, contrario a lo reportado por Shepherd *et al.* (1997), quienes indican que en Kenia en cinco años el incremento del trabajo y el leve incremento del rendimiento, no hacen más rentable la práctica de árboles en las parcelas.

En el caso exclusivamente de las prácticas de manejo de rastrojos y árboles dispersos, el empleo de fertilizantes químicos genera un VPN 3,5% y 19,2% más alto que con la fertilización convencional; sin embargo, este incremento no representa una rentabilidad más alta puesto que el beneficio percibido por cada Q.1, es de Q.0,46 y Q.0,81 vs los Q0,83 y el Q.1,16 que se obtienen utilizando la fertilización convencional respectivamente. Para las prácticas que incluyen fertilización orgánica, se recomienda hacer un análisis comparativo de la compra del lombricompost vs la preparación del compostaje en la finca, considerando la utilización de insumos externos, ya que al utilizar los residuos del cultivo y de las podas de los árboles, se estarían reduciendo los efectos de utilizarlos como cobertura, lo cual se observó en los resultados de esta investigación.

Nvirenda *et al.* (2004) realizaron un estudio en el que determinaron que las parcelas de maíz sin leguminosas obtuvieron tasas B/C de 1,13 y 1,09, a diferencia de las que incluyen leguminosas intercaladas iguales a 3,19 y 2,06, lo cual demuestra el incremento de la rentabilidad de los sistemas intercalados. Por su parte, Castellanos *et al.* (2013) utilizaron el concepto de valor añadido considerando los costos por mano de obra como un ingreso, por el hecho de ser una actividad generadora de trabajo y producir para el consumo y no consideran la ganancia neta como un buen indicador para la producción de subsistencia, obteniendo de esa forma una ganancia de USD556,51/ha.

El análisis de sensibilidad permite apreciar la resiliencia de las tres prácticas con fertilización convencional, en donde aún para el escenario pesimista que tiene una reducción del ingreso del 25% y aumento del costo del 25% y un incremento en la tasa de descuento al 12%, que es más exigente puesto que espera una mayor rentabilidad, la tasa B/C se mantuvo superior a 1.

Para este caso, la práctica de árboles dispersos y rastrojos mantuvo el VPN y la relación B/C más alto, sobre todas las prácticas, haciendo de esta práctica la más recomendable para la zona del corredor seco nor-oriental de Guatemala. Para el escenario pesimista, las prácticas con fertilización convencional (*status quo*), son los únicos que mantienen una tasa  $B/C > 1$ , a diferencia de lo reportado por Echeverría *et al.* (2016) que para todas las prácticas obtuvieron VPN negativos. Esta diferencia podría deberse a que el análisis se realizó con los datos obtenidos en el 2017, los cuales reflejan la adicionalidad de las prácticas y una mejor distribución de lluvias. Es interesante observar que se reduce la necesidad de insumos químicos para mantener la producción, lo cual para los productores de subsistencia como los de la comunidad La Libertad, es imprescindible.

Los servicios ecosistémicos son parte integral de la contribución de las prácticas ACI, incrementan los rendimientos, hace más resilientes los sistemas, diversifican los ingresos y mitiga los gases de efecto invernadero. Su incorporación en la evaluación es relevante para promover las prácticas (Sain *et al.* 2017). Sin embargo, para la valoración de los servicios ecosistémicos se requiere de diferentes métodos, como la función de producción, precio de mercado, costos evitados, valoración contingente, costos de viaje, y costos de oportunidad (Kometter 2012), con los cuales se puede cuantificar sus beneficios, lo

cual no se hizo en este estudio. A pesar de no cuantificarlos de esta manera, los beneficios obtenidos por los servicios provistos por la implementación de las prácticas evaluadas, pueden verse reflejados en el rendimiento del maíz, en la reducción de costos y en la diversificación de los ingresos en el análisis económico.

Gobbi y Casasola (2003) elaboraron un índice que estima los cambios en la biodiversidad inducidos por las prácticas de árboles dispersos y la práctica de manejo de rastrojos en un 0,64, y asumen un precio sombra de USD69/unidad/año. El programa MAP-Noruega asignó un valor a este servicio ecosistémico con índices de 0,75 y 0,73 para cada práctica respectivamente (Villarreyna Acuña *et al.* 2016). Para el servicio de captura de carbono, Barzev citado por Saín *et al.* (2017) realizó un estudio donde estimó que un sistema agroforestal aporta a la captura de carbono un aproximado de 2,45 tCO<sub>2</sub>e/ha/año. Para el servicio de conservación de suelos, la erosión del suelo puede reducirse de 223,44 ton/ha con la práctica tradicional de quema a 110,20 ton/ha con la práctica de manejo de rastrojos, a 23,3 ton/ha con la práctica de árboles dispersos y hasta 14,1 ton/ha utilizando la práctica de árboles dispersos con rastrojos (Fernández *et al.* 2005).

A pesar de los beneficios económicos y ambientales generados por la utilización de medidas de adaptación con este tipo de prácticas, las barreras económicas, sociales y culturales para su adopción han limitado la mejora de los sistemas agrícolas familiares, por lo que se hace necesario hacer llegar esta información a las entidades y organizaciones para enfocar las políticas públicas y los proyectos de desarrollo hacia la sostenibilidad y no únicamente, aliviar las necesidades en los momentos de crisis (Shiferaw *et al.* 2014). Asimismo, la integración de la investigación, el desarrollo y la política es esencial puesto que facilitan la determinación de las necesidades de investigación en torno a los pequeños productores y los requerimientos de los gobiernos nacionales (Rosenstock 2014).

### **3.5 Conclusiones**

Los expertos de la zona consideran que la adaptación es igual de importante que la productividad para fortalecer la seguridad alimentaria y nutricional de las familias productoras y la resiliencia de los sistemas agrícolas frente al cambio climático en el corredor seco nor-oriental de Guatemala. Sin embargo, la idea generalizada es que la productividad está por sobre los demás pilares de la agricultura climáticamente inteligente, haciendo relevante esta información a los tomadores de decisión, y así proveer de un enfoque más integral para esta zona.

A pesar de no presentar diferencias estadísticamente significativas en los rendimientos del cultivo de maíz con las diferentes prácticas en las parcelas, la literatura sugiere que estos efectos son percibidos entre los tres y siete años de su empleo, por lo que es muy probable que el número de repeticiones y el tiempo de evaluación limitó el alcance de la investigación. El tipo de fertilización, aunque presentó un efecto sobre el rendimiento, desestima las tendencias observadas en la Figura 16 por lo que se sugiere incrementar el número de repeticiones y considerar la textura del suelo para obtener resultados más concretos.

Las prácticas de árboles dispersos con rastrojos, árboles dispersos y manejo de rastrojos con fertilización convencional y semilla mejoradas (*status quo*) obtuvieron los mejores resultados respecto a los indicadores B/C y VPN, y son más eficientes económicamente bajo los tres escenarios propuestos sobre los otros dos tipos de fertilización, siendo el manejo de árboles dispersos con rastrojos la práctica que obtuvo mejores resultados en el largo plazo. A pesar de no considerar los ingresos potenciales por los servicios ecosistémicos provisto por estas prácticas, estos se perciben en la mejora del sistema agrícola; sin embargo, se recomienda evaluarlos y utilizarlos como incentivos para que los productores adopten estas medidas de adaptación.

### 3.6 Bibliografía

- Akinnifesi, F; Makumba, W; Kwesiga, F. 2006. Sustainable maize production using *Gliricidia*/maize intercropping in southern Malawi. *Experimental Agriculture* 42(4):441-457.
- Alfaro, EJ; Hidalgo, HG. 2017. Propuesta metodológica para la predicción climática estacional del veranillo en la cuenca del río Tempisque en el Pacífico Norte de Costa Rica (en línea). *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos* 16:62-64. Consultado 10 dic. 2017 Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/320958395\\_Propuesta\\_metodologica\\_para\\_la\\_prediccion\\_climatica\\_estacional\\_del\\_veranillo\\_en\\_la\\_cuenca\\_del\\_rio\\_Tempisque\\_en\\_el\\_Pacifico\\_Norte\\_de\\_Costa\\_Rica](https://www.researchgate.net/publication/320958395_Propuesta_metodologica_para_la_prediccion_climatica_estacional_del_veranillo_en_la_cuenca_del_rio_Tempisque_en_el_Pacifico_Norte_de_Costa_Rica)
- Altieri, MA; Nicholls, CI. 2009. Cambio climático y agricultura campesina: impactos y respuestas adaptativas. Lima, Perú, LEISA. Consultado 20 dic. 2017. Disponible en <https://socla.co/wp-content/uploads/2014/leisa-campesino-cambio-climatico.pdf>
- Altieri, MA; Nicholls, CI; Henao, A; Lana, MA. 2015. Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for Sustainable Development* 35(3):869-890.
- Ayarza, M; Huber-Sannwald, E; Herrick, JE; Reynolds, JF; García-Barrios, L; Welchez, LA; Lentés, P; Pavón, J; Morales, J; Alvarado, A; Pinedo, M; Baquera, N; Zelaya, S; Pineda, R; Amézquita, E; Trejo, M. 2010. Changing human–ecological relationships and drivers using the Quesungual agroforestry system in western Honduras. *Renewable Agriculture and Food Systems* 25(3):219-227. Disponible en <https://www.cambridge.org/core/article/changing-humanecological-relationships-and-drivers-using-the-quesungual-agroforestry-system-in-western-honduras/77E59E46F41C230725E3EBDE392D3FF9> doi 10.1017/S1742170510000074
- Ayarza, MA; Welchez, LA. 2004. Drivers affecting the development and sustainability of the Quesungual slash and mulch agroforestry system (QSMAS) on Hillsides of Honduras. *In* Comprehensive Assessment Bright Spots Project Final Report. Colombo, Sri Lanka, IWMI. p. 187-201.
- Banguat (Banco de Guatemala). 2018. Tasa de interés pasiva en moneda nacional. años: 1996-2018 (en línea). Guatemala, Guatemala. Consultado 24 mar. 2018. Disponible en <https://www.banguat.gob.gt/inc/ver.asp?id=/imm/imm05>
- Bänziger, M; Araus, J-L. 2007. Recent advances in breeding maize for drought and salinity stress tolerance. *In* Jenks, M; Hasegawa, P; Jain, S (eds.). *Advances in Molecular Breeding Toward Drought and Salt Tolerant Crops*: p. 587-601. Dordrecht, Springer.

- Barreto, AC; Chaer, GM; Fernandes, MF. 2012. Hedgerow pruning frequency effects on soil quality and maize productivity in alley cropping with *Gliricidia sepium* in Northeastern Brazil. *Soil and Tillage Research* 120:112-120.
- Belay, A; Claassens, A; Wehner, F. 2002. Effect of direct nitrogen and potassium and residual phosphorus fertilizers on soil chemical properties, microbial components and maize yield under long-term crop rotation. *Biology and Fertility of Soils* 35(6):420-427. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s00374-002-0489-x> doi 10.1007/s00374-002-0489-x
- Below, FE. 2004. Fisiología, Nutrición y Fertilización nitrogenada del Maíz (en línea). Ecuador, Instituto de la Potasa y el Fosforo. 3-9 p. (Informaciones Agronómicas). Consultado 27 dic. 2017. Disponible en [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B53E3BBEE9B8CB78852579A30074AEF5/\\$FILE/Inf-Agro%2054.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/B53E3BBEE9B8CB78852579A30074AEF5/$FILE/Inf-Agro%2054.pdf)
- Castellanos, E; Martínez, M; Martínez, D; Medinilla, O; Alfaro, G; García, M. 2013. Evaluación del bienestar humano y ambiente, en el corredor seco oriental de Guatemala (en línea). Guatemala, Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. (Informe Final) Consultado 18 ene. 2017. Disponible en [http://www.gt.undp.org/content/guatemala/es/home/library/crisis\\_prevention\\_and\\_recovery/evaluacion-del-bienestar-humano-y-ambiente-en-el-corredor-seco.html](http://www.gt.undp.org/content/guatemala/es/home/library/crisis_prevention_and_recovery/evaluacion-del-bienestar-humano-y-ambiente-en-el-corredor-seco.html)
- Coelho, AM. 2006. Nutrição e Adubação do Milho (en línea). Brazil. Consultado 27 dic. 2017. Disponible en <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/490410/1/Circ78.pdf>
- Corner-Dolloff, C; Jarvis, A; Loboguerrero, AM; Nowak, A; Andrieu, N; Howland, F; Smith, C; Maldonado, J; Gomez, J; Bonilla, O. 2015. Marco de Priorización en Agricultura Sostenible Adaptada al Clima. Palmira, Colombia, CCAFS.
- Chicas, R; Vanegas, E; García, N. 2014. Probabilidad de pérdida de cosecha en agricultura de secano en la microcuenca del río Torjá, Chiquimula, Guatemala. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 23(2):34-39.
- Chirwa, P; Black, C; Ong, C; Maghembe, J. 2003. Tree and crop productivity in *Gliricidia*/maize/pigeonpea cropping systems in southern Malawi. *Agroforestry Systems* 59(3):265-277.
- Chirwa, PW; Ong, CK; Maghembe, J; Black, CR. 2007. Soil water dynamics in cropping systems containing *Gliricidia sepium*, pigeonpea and maize in southern Malawi. *Agroforestry Systems* 69(1):29-43.
- Deugd, M. 2000. Reversión del deterioro de los recursos naturales en áreas de alta presión poblacional: un caso del Suroeste de Honduras (en línea). s.n.t. Consultado 18 dic. 2017. Disponible en [http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP\\_FaoRlc/old/prior/reccnat/pdf/lempira.pdf](http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/reccnat/pdf/lempira.pdf)
- Doan, TT; Henry-des-Tureaux, T; Rumpel, C; Janeau, J-L; Jouquet, P. 2015. Impact of compost, vermicompost and biochar on soil fertility, maize yield and soil erosion in Northern Vietnam: a three year mesocosm experiment. *Science of the Total Environment* 514:147-154.
- Eckstein, D; Künzle, V; Schäfer, L. 2017. Global Climate Risk Index 2018 Who Suffers Most From Extreme Weather Events? Weather-related Loss Events in 2016 and 1997 to 2016 (en línea).

- Bonn, Germany, Germanwatch. Consultado 26 dic. 2017. Disponible en <https://germanwatch.org/en/download/20432.pdf>
- Echeverría, J; Mercado, L; Acuña, RV; Cerda Bustillos, R. 2016. Análisis beneficio costo de prácticas agrícolas desde el enfoque de la agricultura climáticamente inteligente en los territorios Trifinio y Nicaragua central. Turrialba, Costa Rica, CATIE.
- Ekasingh, B; Gypmantasiri, P; Thong Ngam, K; Krudloyma, P. 2004. Maize in Thailand: production systems, constraints, and research priorities. México, DF., Cimmyt.
- Ernst, O; Bentancur, O; Borges, R. 2002. Descomposición de rastrojo de cultivos en siembra sin laboreo: trigo, maíz, soja y trigo después de maíz o de soja. Agrociencia 6(1):20-26.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2010a. Informe Especial. Misión FAO/PMA de evaluación de cosecha y seguridad alimentaria en Guatemala (en línea). Roma, Italia. Consultado 18 ene. 2017. Disponible en [http://documents.wfp.org/stellent/groups/public/documents/ena/wfp216586.pdf?\\_ga=1.183376165.221815970.1485215979](http://documents.wfp.org/stellent/groups/public/documents/ena/wfp216586.pdf?_ga=1.183376165.221815970.1485215979)
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2010b. Climate-Smart agriculture: policies, practice and financing for food security, adaptation and migration (en línea). Roma, Italia. Consultado 21 ene. 2017. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/013/i1881e/i1881e00.htm>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2017. FAOSTAT, Crops (en línea). Consultado 28 dic. 2017. Disponible en <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Fernández, L; Navarro, E; Argueta, R; Flores, G. 2005. El sistema agroforestal Quesungual: Una opción para el manejo de suelos en zonas secas de ladera. Roma, Italia, FAO.
- Gamboa, H; Gómez, W; Ibrahim, M. 2008. Sistema agroforestal Quesungual: una buena práctica de adaptación al cambio climático. *In* Sepúlveda L., CJ; Ibrahim, M (eds.). Políticas y sistemas de incentivos para el fomento y adopción de buenas prácticas agrícolas como una medida de adaptación al cambio climático en América Central. Turrialba, Costa Rica, CATIE. p. 47-68. GIEWS, (Global Information and Early Warning System). 2015. Central America: Drought Update (en línea). Roma, Italia, Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i4926e.pdf>
- Gobbi, JA; Casasola, F. 2003. Comportamiento financiero de la inversión en sistemas silvopastoriles en fincas ganaderas de Esparza, Costa Rica. Agroforesteria en las Americas 10(39-40):52-60.
- Gómez, W. 2014. El Sistema Agroforestal Quesungual en El Salvador: Estudio de caso. *Multequina* 23(1):55-63.
- Haule, C; Kanyama-Phiri, G; Nyirenda, M; Mafongoya, P; Kwapata, M. 2003. Maize and biomass production, and soil fertility improvement under Sesbania sesban improved fallows in Kasungu district, central Malawi. *Malawi Journal of Agricultural Sciences* 2(1):21-33.
- Holdridge, LR. 1966. The life zone system. *Adansonia* 6(2):199-203.

- Holt-Giménez, E. 2002. Measuring farmers' agroecological resistance after Hurricane Mitch in Nicaragua: a case study in participatory, sustainable land management impact monitoring. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 93(1):87-105.
- Ikerra, ST; Maghembe, JA; Smithson, PC; Buresh, RJ. 1999. Soil nitrogen dynamics and relationships with maize yields in a *Gliricidia*-maize intercrop in Malawi. *Plant and Soil* 211(2):155-164.
- INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria). 2000. Tecnología de producción de cultivos y pasturas bajo riego. Uruguay, La Estanzuela. 85 p. (Serie Actividades de Difusión).
- Khatun, K. 2011. Reconciling timber provision with carbon sequestration opportunities in the tropical forests of Central America. *Environmental Science & Policy* 14(8):1091-1102.
- Kometter, R. 2012. Valorización de Servicios Ambientales en Comunidades en El Área de Influencia del Proyecto Probosques en Quetzaltenango – Totonicapán Y San Marcos (en línea). Guatemala, HELVETAS Swiss Intercooperation. Consultado 13 ene. 2018. Disponible en [https://www.researchgate.net/publication/317009647\\_VALORIZACION\\_DE\\_SERVICIOS\\_AMBIENTALES\\_EN\\_COMUNIDADES\\_EN\\_EL\\_AREA\\_DE\\_INFLUENCIA\\_DEL\\_PROYECTO\\_PROBOSQUES\\_EN\\_QUEZALTENANGO\\_-\\_TOTONICAPAN\\_Y\\_SAN\\_MARCOS\\_GUATEMALA](https://www.researchgate.net/publication/317009647_VALORIZACION_DE_SERVICIOS_AMBIENTALES_EN_COMUNIDADES_EN_EL_AREA_DE_INFLUENCIA_DEL_PROYECTO_PROBOSQUES_EN_QUEZALTENANGO_-_TOTONICAPAN_Y_SAN_MARCOS_GUATEMALA)
- Kooijman, A; Jongejans, J; Sevink, J. 2005. Parent material effects on Mediterranean woodland ecosystems in NE Spain. *Catena* 59(1):55-68.
- Kumar, K; Goh, K. 1999. Crop residues and management practices: effects on soil quality, soil nitrogen dynamics, crop yield, and nitrogen recovery. *Advances in Agronomy* 68:197-319.
- Lipper, L; Thornton, P; Campbell, BM; Baedeker, T; Braimoh, A; Bwalya, M; Caron, P; Cattaneo, A; Garrity, D; Henry, K; Hottle, R; Jackson, L; Jarvis, A; Kossam, F; Mann, W; McCarthy, N; Meybeck, A; Neufeldt, H; Remington, T; Sen, PT; Sessa, R; Shula, R; Tibu, A; Torquebiau, EF. 2014. Climate-smart agriculture for food security (Perspective). *Nature Climate Change* 4:1068-1072. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1038/nclimate2437>
- Lipper, L; McCarthy, N; Zilberman, D; Asfaw, S; Branca, G. 2018. *Climate Smart Agriculture: Building Resilience to Climate Change*. Roma, Italia, Springer.
- Lizarazo, M; Corner-Dolloff, C; Nowak, A; Loboguerrero, AM; Rojas, E; Mejia, M; Sain, G; Martínez Barón, D; Andrieu, N; Howland, F. 2016. Informe final: Priorizando inversiones en agricultura sostenible adaptada al clima en Guatemala. Guatemala. CCAFS. 77 p.
- López Mtz, JD; Díaz Estrada, A; Martínez Rubin, E; Valdez Cepeda, RD. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra Latinoamericana* 19(4):293-299.
- MAGA (Ministeria de Agricultura, Ganadería y Alimentación). 2017. Precios Mensuales De Diversos Productos Agrícolas En Guatemala (en línea). Guatemala. Consultado 30 dic 2017. Disponible en <http://web.maga.gob.gt/diplan/datos-abiertos/>
- Makumba, W; Janssen, B; Oenema, O; Akinnifesi, FK. 2006. Influence of time of application on the performance of *Gliricidia* prunings as a source of N for maize. *Experimental Agriculture* 42(1):51-63.

- Makumba, W; Akinnifesi, FK; Janssen, BH. 2009. Spatial rooting patterns of *Gliricidia*, pigeon pea and maize intercrops and effect on profile soil N and P distribution in southern Malawi. *African Journal of Agricultural Research* 4(4):278-288.
- McCarthy, N; Lipper, L; Zilberman, D. 2018. Economics of Climate Smart Agriculture: An Overview. *In* Lipper, L; McCarthy, N; Zilberman, D; Asfaw, S; Branca, G (eds.). Cham, Springer. p. 31-47. (Natural Resource Management and Policy Volume 52). Disponible en [https://doi.org/10.1007/978-3-319-61194-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-61194-5_3)
- Morón, A. 2001. El rol de los rastrojos en la fertilidad del suelo. Montevideo, Uruguay, INIA.
- Morton, JF. 2007. The impact of climate change on smallholder and subsistence agriculture (en línea). *PNAS* 104(50):19680-19685. Consultado 20 dic. 2017 Disponible en <http://www.pnas.org/content/104/50/19680.full.pdf>
- Naumann, G; Barbosa, P; Garrote, L; Iglesias, A; Vogt, J. 2014. Exploring drought vulnerability in Africa: an indicator based analysis to be used in early warning systems. *Hydrology and Earth System Sciences* 18(5):1591-1604.
- Nvirenda, M; Kanyama-Phiri, G; Mangisoni, J; Böhringer, A; Haule, C. 2004. Economics of maize-based improved fallow agro-forestry systems for smallholder farmers in Central Malawi. *Bunda Journal of Agriculture, Environmental Science and Technology* 2(1):49-57.
- OXFAM (Oxford Committee for Famine Relief). 2012. Evaluación rápida: Impacto de la sequía meteorológica de 2012 en la seguridad alimentaria nutricional en el corredor seco de Guatemala (en línea). Guatemala. Consultado 26 dic. 2017. Disponible en [https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/Situation\\_Report\\_157.pdf](https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/Situation_Report_157.pdf)
- Palombi, L; Sessa, R. 2013. Climate-smart agriculture: sourcebook. Rome, Italy, FAO. 557 p.
- Paustian, K; Lehmann, J; Ogle, S; Reay, D; Robertson, GP; Smith, P. 2016. Climate-smart soils. *Nature* 532(7597):49-57.
- Perdomo, C; Barbazán, M. s.f. Nitrogeno (en línea). Uruguay. Consultado 28 dic. 2017. Disponible en <http://www.fagro.edu.uy/fertilidad/publica/Tomo%20N.pdf>
- Reid, WV; Mooney, H; Cropper, A; Capistrano, A; Carpenter, S; Chopra, K; Dasgupta, P; Dietz, T; Kumar, A; Rashid, D. 2005. Evaluación de los ecosistemas del milenio. Informe de Síntesis. (Manuscrito no publicado).
- Richards, M; Sapkota, TB; Stirling, C; Thierfelder, C; Verhulst, N; Friedrich, T; Kienzle, J. 2014. Conservation agriculture: Implementation guidance for policymakers and investors. Copenhagen, Denmark, CCAFS.
- Roco Fuentes, L; Engler Palma, A; Jara-Rojas, R. 2012. Factores que influyen en la adopción de tecnologías de conservación de suelos en el secano interior de Chile Central. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* 44(2):31-45. Consultado 27 dic. 2017. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382837651021>



- RODALE, I. 2012. The Farming system trial: celebrating 30 years (en línea). Pennsylvania, United States of America, Consultado 30 dic. 2017. Disponible en <http://rodaleinstitute.org/assets/FSTbookletFINAL.pdf>
- Rosenstock, TS. 2014. Science to Support Climate-smart Agricultural Development: Concepts and Results from the MICCA Pilot Projects in East Africa. Rome, Italy, FAO. (Mitigation of Climate Change in Agriculture Series 10).
- Rusinamhodzi, L; Corbeels, M; Van Wijk, MT; Rufino, MC; Nyamangara, J; Giller, KE. 2011. A meta-analysis of long-term effects of conservation agriculture on maize grain yield under rain-fed conditions. *Agronomy for Sustainable Development* 31(4):657.
- Sain, G; Pereira, L. 1999. Maize production and agricultural policies in Central America and Mexico. México, DF., Cimmyt. 35 p.
- Sain, G; Loboguerrero, AM; Corner-Dolloff, C; Lizarazo, M; Nowak, A; Martínez-Barón, D; Andrieu, N. 2017. Costs and benefits of climate-smart agriculture: The case of the Dry Corridor in Guatemala. *Agricultural Systems* 151:163-173.
- Setimela, PS; Magorokosho, C; Lunduka, R; Gasura, E; Makumbi, D; Tarekegne, A; Cairns, JE; Ndhlela, T; Erenstein, O; Mwangi, W. 2017. On-Farm Yield Gains with Stress-Tolerant Maize in Eastern and Southern Africa. *Agronomy Journal* 109(2):406. doi 10.2134/agronj2015.0540
- Shepherd, K; Ndufa, J; Ohlsson, E; Sjögren, H; Swinkels, R. 1997. Adoption potential of hedgerow intercropping in maize-based cropping systems in the highlands of western Kenya. 1. Background and agronomic evaluation. *Experimental Agriculture* 33(2):197-209.
- Shiferaw, B; Tesfaye, K; Kassie, M; Abate, T; Prasanna, B; Menkir, A. 2014. Managing vulnerability to drought and enhancing livelihood resilience in sub-Saharan Africa: Technological, institutional and policy options. *Weather and Climate Extremes* 3:67-79.
- Smith, P; Martino, D; Cai, Z; Gwary, D; Janzen, H; Kumar, P; McCarl, B; Ogle, S; O'Mara, F; Rice, C. 2008. Greenhouse gas mitigation in agriculture *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Biological Sciences* 363(1492):789-813.
- Smith, P. 2012. Soils and climate change. *Environmental Sustainability* 4(5):539-544.
- Tejada, M; Benítez, C. 2011. Organic amendment based on vermicompost and compost: differences on soil properties and maize yield. *Waste Management & Research* 29(11):1185-1196.
- Teklewold, H; Kassie, M; Shiferaw, B; Köhlin, G. 2013. Cropping system diversification, conservation tillage and modern seed adoption in Ethiopia: Impacts on household income, agrochemical use and demand for labor. *Ecological Economics* 93:85-93.
- Verhulst, N; Nelissen, V; Jespers, N; Haven, H; Sayre, KD; Raes, D; Deckers, J; Govaerts, B. 2011. Soil water content, maize yield and its stability as affected by tillage and crop residue management in rainfed semi-arid highlands. *Plant and Soil* 344(1-2):73-85.
- Villagrán, G. 2017. Precio del tomate y maíz, en descenso (en línea). Diario de Centroamérica, Guatemala; 5 sep: Consultado 30 dic. 2017. Disponible en <https://dca.gob.gt/noticias-guatemala-diario-centro-america/precios-del-tomate-y-maiz-en-descenso/>

- Villarreyna Acuña, R. 2015. Priorización de inversiones en agricultura sostenible adaptada al clima (ASAC) en el territorio Nicacentral. s.l. CATIE. 27 p.
- Villarreyna Acuña, R; Cerda Bustillos, R; Echeverría, J; Padilla, D; Suchini, JG; Posada, E; Moscoso, C; Mercado, L. 2016. Priorización de inversiones en Agricultura Climáticamente Inteligente (ACI): Prácticas agropecuarias de huertos caseros, granos básicos, sistemas agroforestales y pasturas priorizadas en el territorio Trifinio. Turrialba, Costa Rica, CATIE.
- Xu, Y; Li, J; Wan, J. 2017. Agriculture and crop science in China: Innovation and sustainability. *The Crop Journal* 5(2):95-99.
- Zea, JL; Osorio, M; Bolaños, J. 1997. Uso de rastrojo de maíz como cobertura superficial y sus implicaciones en la economía del nitrógeno en el cultivo de maíz. *Agronomía Mesoamericana* 2(8):85-89.

## 4. CAPÍTULO III. RESULTADOS E INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

### 4.1 Costos e ingresos (quetzales) por medida de adaptación para el cultivo de maíz para un periodo de 10 años en Camotán, Chiquimula, Guatemala

**Cuadro 14.** Costos (quetzales) por medidas de adaptación en cultivos de maíz para un periodo de 10 años en Camotán, Chiquimula, Guatemala

Medida adaptativa	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MR+FC+SM	2345	2345	2345	2345	2345	2345	2345	2345	2345	2345	2345
MR+FO+SM	24 527	24 527	24 527	2804	24 527	2804	24 527	2804	2804	24 527	2804
MR+FQ+SM	4372	4372	4372	4372	4372	4372	4372	4372	4372	4372	4372
AD+FC+SM	3073	3073	2967	2967	2967	2967	2967	2967	2967	2967	2967
AD+FO+SM	25 447	25 447	25 341	3618	25341	3618	25V341	3618	3618	25V341	3618
AD+FQ+SM	5220	5220	5114	5114	5114	5114	5114	5114	5114	5114	5114
AD+MR+FC+SM	3337	3337	3231	3231	3231	3231	3231	3231	3231	3231	3231
AD+MR+FO+SM	25 615	25 615	25 509	3786	25V509	3786	25 509	3786	3786	25V509	3786
AD+MR+FQ+SM	5388	5388	5282	5282	5282	5282	5282	5282	5282	5282	5282

MR= manejo de rastrojos, AD= árboles dispersos, FC= fertilización convencional, FQ= fertilización química, FO= fertilización orgánica, SM= semilla mejorada.

**Cuadro 15.** Ingresos (quetzales) por medidas de adaptación en cultivos de maíz para un periodo de 10 años en Camotán, Chiquimula, Guatemala

Medida adaptativa	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MR+FC+SM	2767	3066	3365	3663	3962	4261	4559	4858	5157	5455	5754
MR+FO+SM	4715	5243	5771	6299	6826	7354	7882	8410	8937	9465	9993
MR+FQ+SM	4081	4534	4987	5440	5893	6346	6799	7252	7706	8159	8612
AD+FC+SM	3200	4172	4887	5601	6058	6515	6972	7429	7886	8343	8800
AD+FO+SM	4397	5569	6483	7397	8053	8710	9366	10 023	10 679	11 336	11 993
AD+FQ+SM	4725	5952	6920	7889	8601	9312	10 023	10 734	11 445	12 157	12 868
AD+MR+FC+SM	3859	4979	5842	6705	7310	7915	8520	9125	9730	10 335	10 940
AD+MR+FO+SM	3878	5002	5868	6733	7342	7950	8558	9166	9775	10 383	10 991
AD+MR+FQ+SM	3936	5069	5945	6820	7438	8056	8674	9292	9910	10 528	11 146

**Cuadro 16.** Diferencia entre ingresos y costos (quetzales) por medidas de adaptación en cultivos de maíz para un periodo de 10 años en Camotán, Chiquimula, Guatemala

Medida adaptativa	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MR+FC+SM	422	721	1020	1318	1617	1916	2214	2513	2812	3110	3409
MR+FO+SM	(19 812)	(19 284)	(18 756)	3494	(17 701)	4550	(16 645)	5606	6133	(15 062)	7189
MR+FQ+SM	(292)	162	615	1068	1521	1974	2427	2880	3333	3787	4240
AD+FC+SM	127	1099	1920	2634	3091	3548	4005	4462	4919	5376	5833
AD+FO+SM	(21 049)	(19 878)	(18 858)	3779	(17 287)	5092	(15 974)	6405	7062	(14 005)	8375
AD+FQ+SM	(494)	732	1806	2775	3487	4198	4909	5620	6331	7043	7754
AD+MR+FC+SM	523	1643	2611	3474	4079	4684	5289	5894	6499	7104	7709
AD+MR+FO+SM	(21 736)	(20 613)	(19 641)	2948	(18 167)	4164	(16 951)	5381	5989	(15 126)	7205
AD+MR+FQ+SM	(1451)	(318)	663	1538	2156	2774	3392	4010	4628	5246	5864

#### 4.2 Costos e ingresos (quetzales) por medida de adaptación considerando únicamente el ingreso por el cultivo del maíz durante un periodo de 10 años en Camotán, Chiquimula, Guatemala

**Cuadro 17.** Costos (quetzales) por medidas de adaptación en el cultivo de maíz durante un periodo de 10 años en Camotán, Chiquimula, Guatemala.

Medida adaptativa	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MR+FC+SM	2345	2345	2345	2345	2345	2345	2345	2345	2345	2345	2345
MR+FO+SM	24 527	24 527	24 527	2804	24 527	2804	24 527	2804	2804	24 527	2804
MR+FQ+SM	4372	4372	4372	4372	4372	4372	4372	4372	4372	4372	4372
AD+FC+SM	3073	3073	2967	2967	2967	2967	2967	2967	2967	2,967	2967
AD+FO+SM	25 447	25 447	25 341	3,618	25 341	3,618	25 341	3618	3618	25 341	3618
AD+FQ+SM	5220	5220	5114	5114	5114	5114	5114	5114	5114	5114	5114
AD+MR+FC+SM	3337	3337	3231	3231	3231	3231	3231	3231	3231	3231	3231
AD+MR+FO+SM	25 615	25 615	25 509	3786	25 509	3786	25 509	3786	3786	25 509	3786
AD+MR+FQ+SM	5388	5388	5282	5282	5282	5282	5282	5282	5282	5282	5282

MR= manejo de rastrojos, AD= árboles dispersos, FC= fertilización convencional, FQ= fertilización química, FO= fertilización orgánica, SM= semilla mejorada.

**Cuadro 18.** Ingresos (quetzales) por medidas de adaptación considerando únicamente el ingreso por el cultivo de maíz durante un periodo de 10 años en Camotán, Chiquimula, Guatemala

Medida adaptativa	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MR+FC+SM	2767	3066	3365	3663	3962	4261	4559	4858	5157	5455	5754
MR+FO+SM	4715	5243	5771	6299	6826	7354	7882	8410	8937	9465	9993
MR+FQ+SM	4081	4534	4987	5440	5893	6346	6799	7252	7706	8159	8612
AD+FC+SM	2971	2971	2971	2971	4799	5256	5713	6170	6627	7084	7541
AD+FO+SM	4168	4168	4168	4168	6794	7451	8107	8764	9420	10 077	10 733
AD+FQ+SM	4496	4496	4496	4496	7341	8052	8764	9475	10 186	10 897	11 609
AD+MR+FC+SM	3859	3859	3859	3859	6279	6884	7489	8094	8699	9304	9909
AD+MR+FO+SM	3878	3878	3878	3878	6311	6920	7528	8136	8744	9353	9961
AD+MR+FQ+SM	3936	3936	3936	3936	6408	7026	7644	8262	8880	9497	10 115

**Cuadro 19.** Diferencia entre ingresos y costos (quetzales) por medidas de adaptación considerando únicamente el ingreso por el cultivo de maíz para un periodo de 10 años en Camotán, Chiquimula, Guatemala

Medida adaptativa	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
MR+FC+SM	422	721	1020	1318	1617	1916	2214	2513	2812	3110	3409
MR+FO+SM	(19 812)	(19 284)	(18 756)	3494	(17 701)	4550	(16 645)	5606	6133	(15 062)	7189
MR+FQ+SM	(292)	162	615	1068	1521	1974	2427	2880	3333	3787	4240
AD+FC+SM	(102)	(102)	4	4	1832	2289	2746	3203	3660	4117	4574
AD+FO+SM	(21 278)	(21 278)	(21 173)	550	(18 547)	3833	(17 234)	5146	5802	(15 264)	7115
AD+FQ+SM	(723)	(723)	(618)	(618)	2227	2938	3650	4361	5072	5783	6495
AD+MR+FC+SM	523	523	628	628	3048	3653	4258	4863	5468	6073	6678
AD+MR+FO+SM	(21 736)	(21 736)	(21 630)	92	(19 198)	3134	(17 981)	4350	4958	(16 156)	6175
AD+MR+FQ+SM	(1451)	(1451)	(1346)	(1346)	1126	1744	2362	2980	3598	4215	4833

### 4.3 Análisis de prácticas de agricultura climáticamente inteligente con indicadores sociales (productores) en Camotán, Chiquimula, Guatemala

Cuadro 20. Evaluación de prácticas agrícolas climáticamente inteligentes con indicadores sociales (productores) en Camotán, Chiquimula, Guatemala

Prácticas empleadas en cultivos de granos básicos (maíz y frijol)	1. Árboles dispersos en cultivos de granos básicos	2. Barreras vivas y muertas en cultivos de maíz y frijol	3. Selección y manejo de semillas	4. Almacenamiento de granos para consumo y para siembra	5. No quema y manejo de rastrojos	6. Labranza mínima en cultivos de maíz y frijol
1. Aprendizaje	5	5	5	5	5	4
2. Relaciones sociales	5	3	3	3	3	3
3. Equidad	4	4	4	4	4	3
4. Disponibilidad de alimentos	4	2	3	3	4	1
5. Experimentación productiva	4	4	2	2	2	2
6. Relevo generacional (juventud)	2	3	2	2	2	2
7. Fortalecimiento organizacional	5	5	5	3	5	3

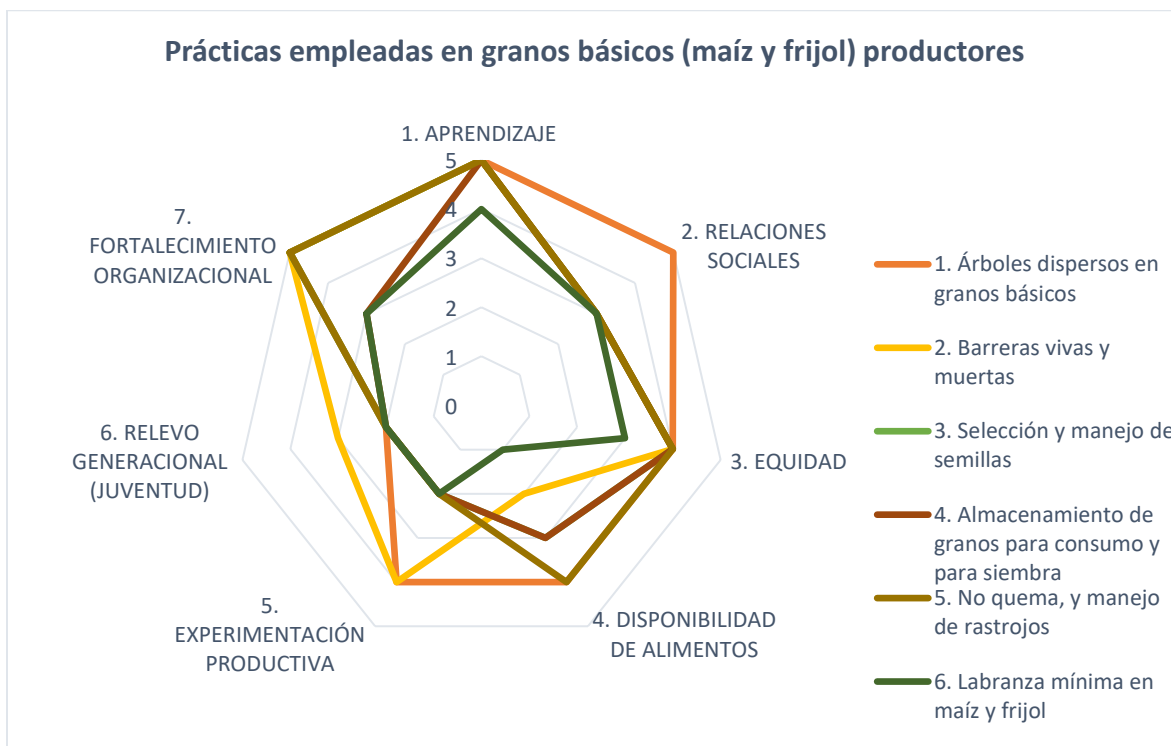


Figura 20. Indicadores sociales de prácticas empleadas en cultivos de granos básicos (productores) en Camotán, Chiquimula, Guatemala

#### 4.4 Análisis de prácticas agrícolas climáticamente inteligentes con indicadores sociales (profesionales) en Camotán, Chiquimula, Guatemala

Cuadro 21. Evaluación de prácticas agrícolas climáticamente inteligentes por indicadores sociales (profesionales) en Camotán, Chiquimula, Guatemala

Prácticas empleadas en granos básicos (maíz y frijol)	1. Árboles dispersos en cultivos de granos básicos	2. Barreras vivas y muertas	3. Selección y manejo de semillas	4. Almacenamiento de granos para consumo y para siembra	5. No quema y manejo de rastrojos	6. Labranza mínima en maíz y frijol
Aprendizaje	3,00	3,00	4,60	5,00	3,20	3,20
Relaciones sociales	3,20	2,80	3,40	4,20	2,60	2,60
Equidad	2,80	3,00	3,20	3,80	2,00	2,00
Disponibilidad de alimentos	3,40	3,20	4,00	4,20	2,60	2,60
Experimentación productiva	3,20	3,00	4,60	5,00	3,20	3,40
Relevo generacional (juventud)	2,40	2,20	2,80	3,60	2,20	2,00
Fortalecimiento organizacional	4,40	3,60	4,20	4,00	3,80	3,80
Total, general	3,20	2,97	3,83	4,26	2,80	2,80

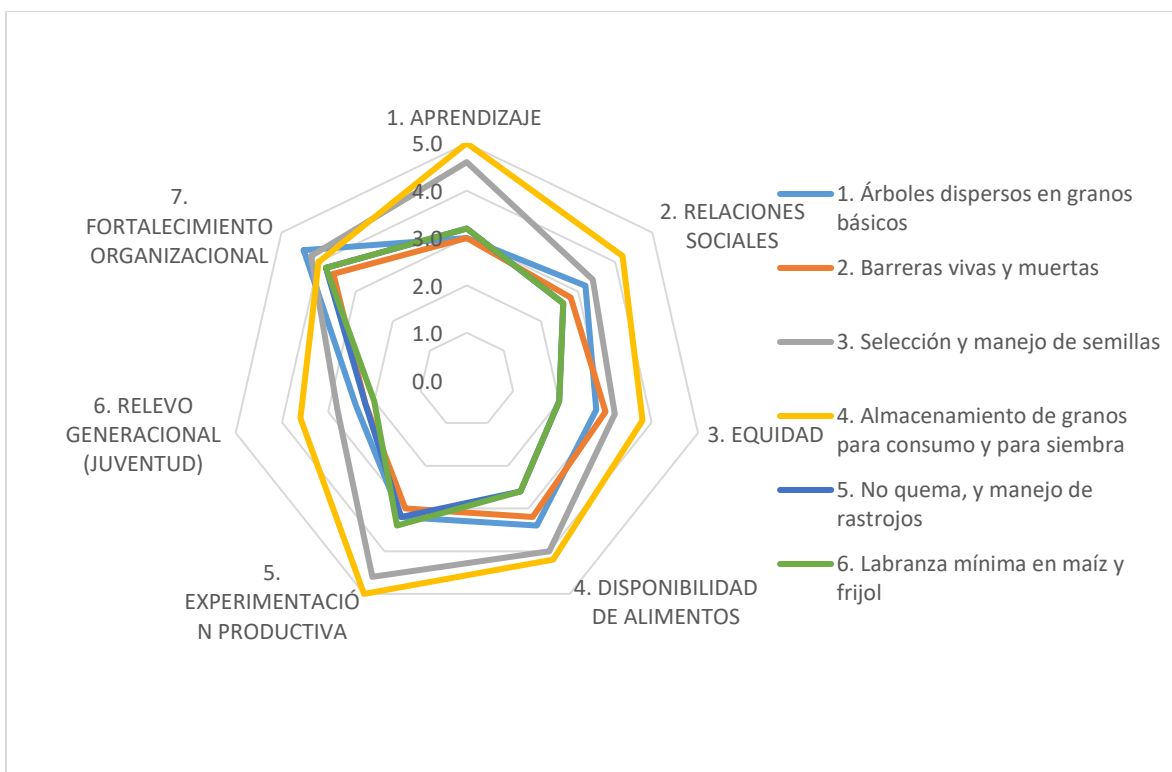


Figura 21. Indicadores sociales de prácticas empleadas en cultivos de granos básicos (profesionales) en Camotán, Chiquimula, Guatemala

#### 4.5 Prácticas agrícolas climáticamente inteligentes priorizadas con criterios sociales de profesionales y productores en Camotán, Chiquimula, Guatemala

Cuadro 22. Resumen de priorización de prácticas agrícolas climáticamente inteligentes por indicadores sociales en Camotán, Chiquimula, Guatemala

Entrevistados	Árboles dispersos en cultivos de granos básicos	Barreras vivas y muertas	Selección y manejo de semillas	Almacenamiento de granos para consumo y para siembra	No quema y manejo de rastrojos	Labranza mínima en maíz y frijol
Productores	4,14	3,71	3,43	3,14	3,57	2,57
Técnicos	3,20	2,97	3,83	4,26	2,80	2,80

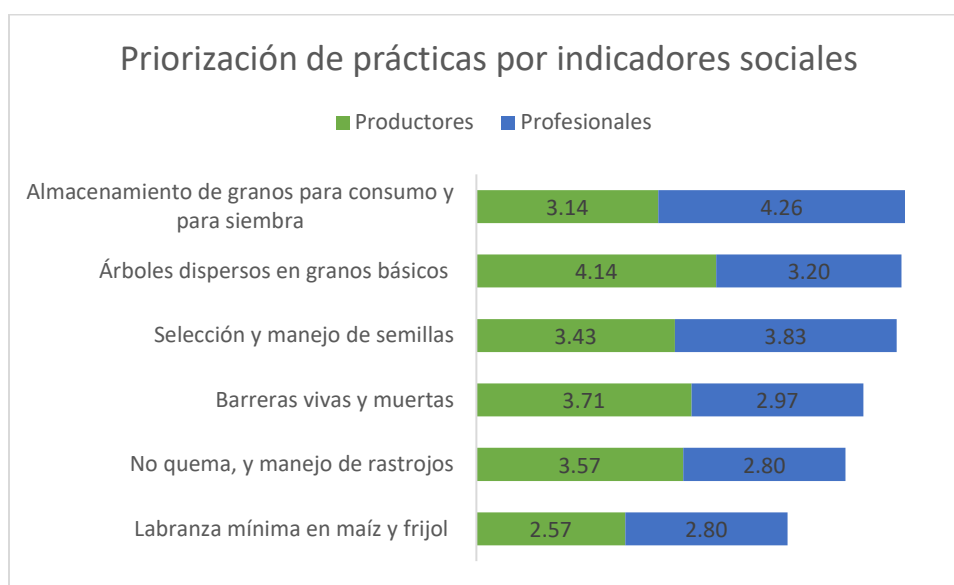


Figura 22. Priorización de prácticas agrícolas climáticamente inteligentes por indicadores sociales en Camotán, Chiquimula, Guatemala

- Las prácticas mejor valoradas, según los beneficios sociales percibidos, son las de almacenamiento de granos para consumo y siembra y árboles dispersos en cultivos de granos básicos, siendo las menos valoradas, la labranza mínima y no quema y manejo de rastrojos.
- Se permite hacer la diferencia entre los criterios técnicos que priorizaron la práctica de almacenamiento de granos y la de selección y manejo de semillas, a diferencia de los productores quienes ponderaron como más integral la práctica de árboles dispersos y la de barreras vivas y muertas.
- Ambos coinciden en que la labranza mínima es la que menos beneficios sociales brinda a la comunidad.
- Los productores perciben la práctica de selección de semillas como la segunda que menos contribuye al desarrollo social, lo cual permite ver la diferencia de criterios puesto que es la segunda mejor ponderada para los profesionales como contribución a la sociedad en término de los indicadores evaluados.



#### 4.6 Indicadores sociales priorizados para la utilización en la promoción de prácticas climáticamente inteligentes por profesionales y productores en Camotán, Chiquimula, Guatemala

Cuadro 23. Ponderación de indicadores sociales señalados por productores y profesionales en Camotán, Chiquimula, Guatemala

Indicadores	Productores	Profesionales
Relevo generacional (juventud)	2,17	2,53
Experimentación productiva	2,67	3,73
Disponibilidad de alimentos	2,83	3,33
Relaciones sociales	3,33	3,13
Equidad	3,83	2,80
Fortalecimiento organizacional	4,33	3,97
Aprendizaje	4,83	3,67



Figura 23. Indicadores sociales para las prácticas agrícolas climáticamente inteligentes en cultivos de granos básicos en Camotán, Chiquimula, Guatemala

- Los indicadores que tuvieron mayor relevancia respecto a las prácticas agrícolas climáticamente inteligentes en granos básicos son el aprendizaje y el fortalecimiento organizacional.
- Los indicadores con mayor relevancia para los profesionales son los de fortalecimiento organizacional y experimentación productiva, difiriendo del criterio de los productores que señalaron la experimentación productiva como el segundo indicador más bajo luego del relevo generacional.
- El indicador de relevo organizacional es coincidente en ambos grupos siendo el indicador menos ponderado debido justamente a que la participación de la juventud cada vez es menor, incluyendo en los proyectos que se han llevado a cabo en la comunidad.

- El segundo indicador menos ponderado para los profesionales es el de equidad de género, lo cual es reflejo de lo que ellos perciben en campo, puesto que la participación de la mujer en las actividades productivas es menor que la de los mismos jóvenes.

#### 4.7 Valoración de pilares de la agricultura climáticamente inteligente para cultivos de granos básicos enfocado al corredor seco, Chiquimula, Guatemala

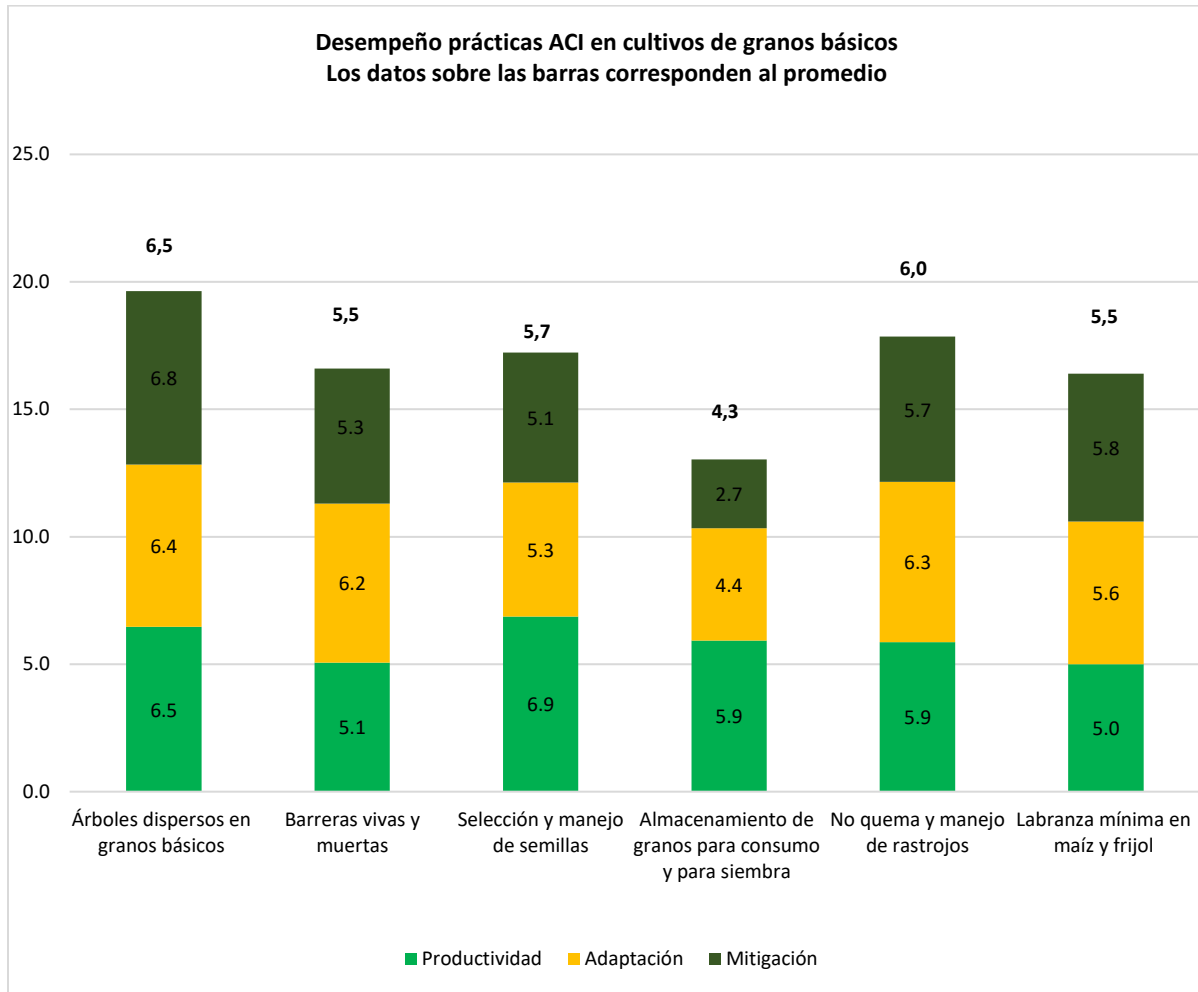
Se obtuvo un peso de 38%, 39% y 23% correspondientes a la productividad, adaptación y mitigación al cambio climático.

Cuadro 24. Valoración de pilares de la agricultura climáticamente inteligente para cultivos de granos básicos

Pilar ASAC	Indicador	Sistema productivo: GRANOS BÁSICOS					
		Árboles dispersos en granos básicos	Barreras vivas y muertas	Selección y manejo de semillas	Almacenamiento de granos para consumo y para siembra	No quema y manejo de rastrojos	Labranza mínima en maíz y frijol
Productividad (P)	Δ Rendimiento	6,2	5,2	7,0	6,4	6,0	5,0
	Δ Ingresos neto	6,4	4,8	6,4	4,8	5,6	4,6
	Δ Valor autoconsumo	6,8	5,2	7,2	6,6	6,0	5,4
		6,5	5,1	6,9	5,9	5,9	5,0
Adaptación (A)	Δ Ingreso (\$) para la mujer adulta y jóvenes	3,2	3,8	3,8	4,8	2,8	3,0
	Δ Resistencia a sequía y altas temperaturas	7,6	7,2	5,6	4,8	7,6	5,6
	Δ Uso eficiente del agua	6,8	7,4	5,4	3,4	7,4	6,6
	Δ Uso eficiente de agroquímicos	7,0	5,8	6,0	3,2	6,8	6,6
	Δ Agrobiodiversidad para provisión de bienes	7,4	5,8	6,2	5,0	6,8	5,4
	Δ Resistencia/tolerancia a plagas y enfermedades	4,4	5,2	7,4	7,0	4,6	4,6
	Δ Calidad del suelo	8,2	8,4	2,4	2,6	8,0	7,4
		6,4	6,2	5,3	4,4	6,3	5,6
Mitigación (M)	Δ Reducción de emisiones	5,4	5,0	4,6	2,8	7,4	7,2
	Δ Secuestro de CO <sub>2</sub>	8,2	5,6	5,6	2,6	4,0	4,4
		6,8	5,3	5,1	2,7	5,7	5,8
	<b>Promedio NIC*</b>	6,5	5,5	5,7	4,3	6,0	5,5

\*Este es el promedio del nivel de inteligencia climática

#### 4.8 Desempeño de prácticas agrícolas climáticamente inteligentes en granos básicos enfocado en el corredor seco nor-oriental, Chiquimula, Guatemala



**Figura 24.** Pilares de prácticas agrícolas climáticamente inteligentes en cultivos de granos básicos en Camotán Chiquimula, Guatemala

- En la Figura 24 se puede observar que las prácticas con mayor inteligencia climática, según la valoración de profesionales del territorio son las de árboles dispersos en cultivos de granos básicos y no quema y manejo de rastrojos.
- Las prácticas con menor nivel de inteligencia climática son las de almacenamiento de granos para consumo y siembra y la labranza mínima y barreras vivas y muertas.
- Se ve un aporte importante en la mejora de la productividad y se puede apreciar, a criterio de los profesionales del territorio, los aportes que hace a la adaptación y la mitigación.

#### 4.9 Valoración de cinco criterios de prácticas agrícolas climáticamente inteligentes en cultivo de granos básicos enfocado en el corredor seco nor-oriental, Chiquimula, Guatemala

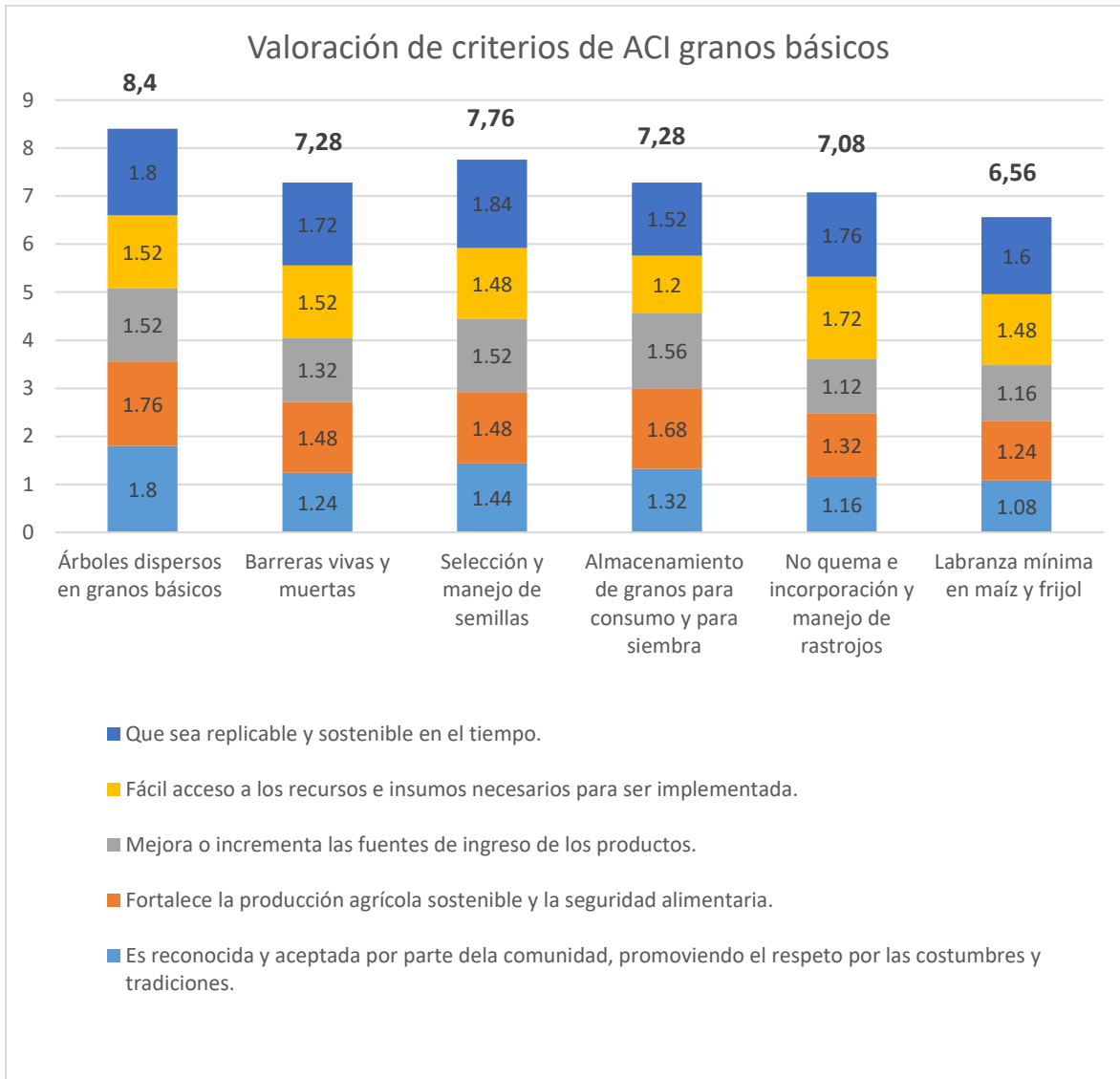


Figura 25. Valoración de criterios de prácticas agrícolas climáticamente inteligentes en cultivo de granos básicos

- De los criterios priorizados por MAP-Noruega, se utilizaron los cinco seleccionados para la región Trifinio dentro de la cual se encuentra la zona de estudio.
- Las prácticas con mejor ponderación de los criterios es la de árboles dispersos y selección y manejo de semillas.
- Las prácticas con mejor ponderación de los criterios es la de árboles dispersos y selección y manejo de semillas.
- La práctica de labranza mínima cuenta con la menor valoración en los criterios de agricultura climáticamente inteligente.