

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 manejos² 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.

² 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%.

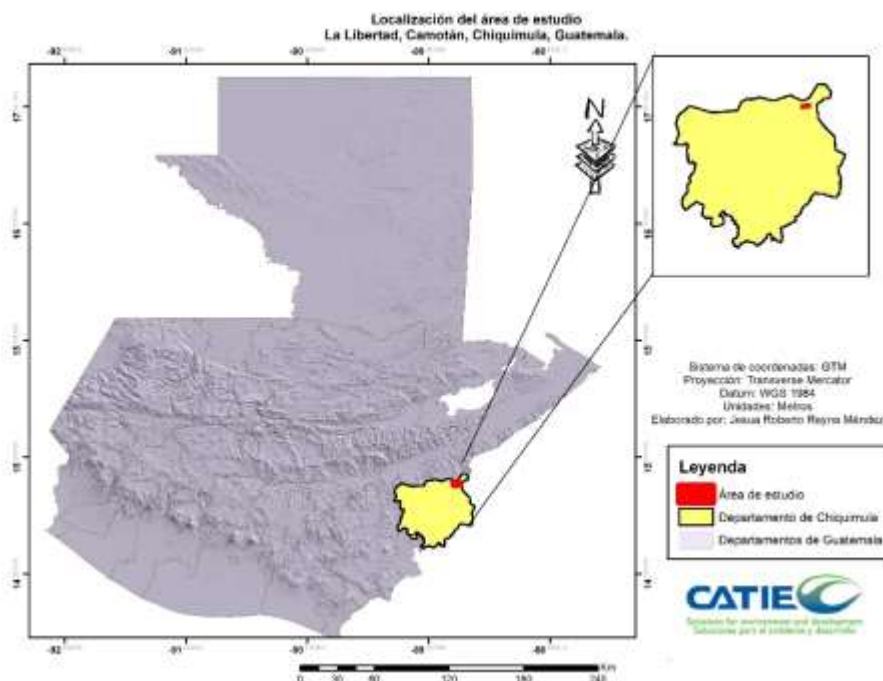


Figura 4. Mapa de localización de La Libertad, Camotán, Chiquimula, Guatemala

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.

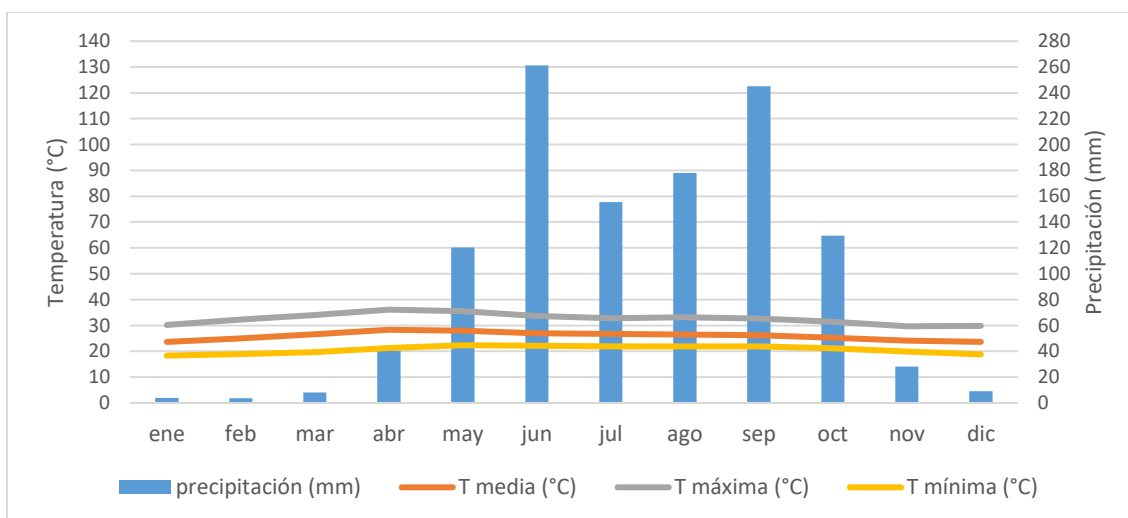


Figura 5. Climograma de Camotán, Chiquimula, Guatemala para el periodo 1990-2017
Fuente: elaborado con datos del Insivumeh

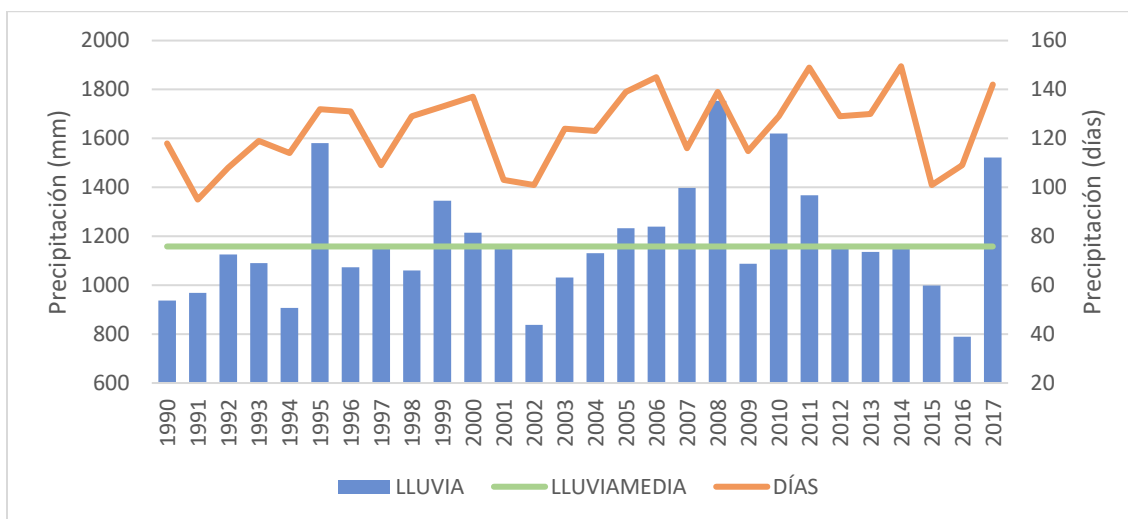


Figura 6. Precipitación anual en milímetros y días de Camotán, Chiquimula, Guatemala durante el periodo 1990-2017
Fuente: elaborado con datos del Insivumeh

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.

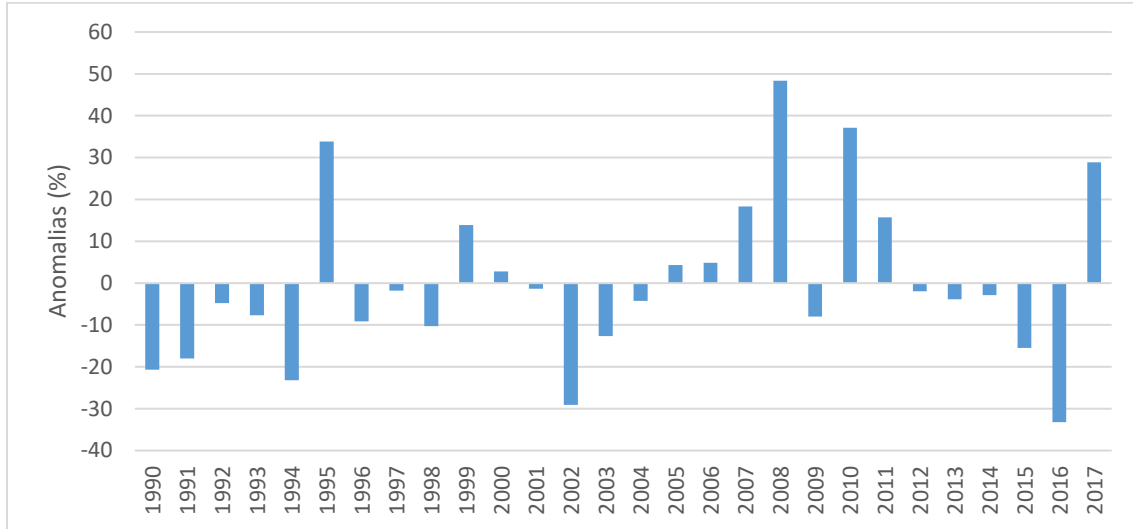


Figura 7. Anomalías anuales de precipitación (%) en Camotán, Chiquimula, Guatemala durante el periodo 1990-2017

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

Nombre ACI	Árboles dispersos + manejo de rastrojos	Árboles dispersos	Manejo de rastrojos
Nombre local	Kuxur rum	Kuxur rum con pastoreo	Manejo de rastrojos
Descripción ACI	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.
Actividades para mantenimiento de la práctica	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.
Subproductos	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.
Cobeneficios (adaptación y mitigación)	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
Cantidad de árboles en la parcela	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 variancia. 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.

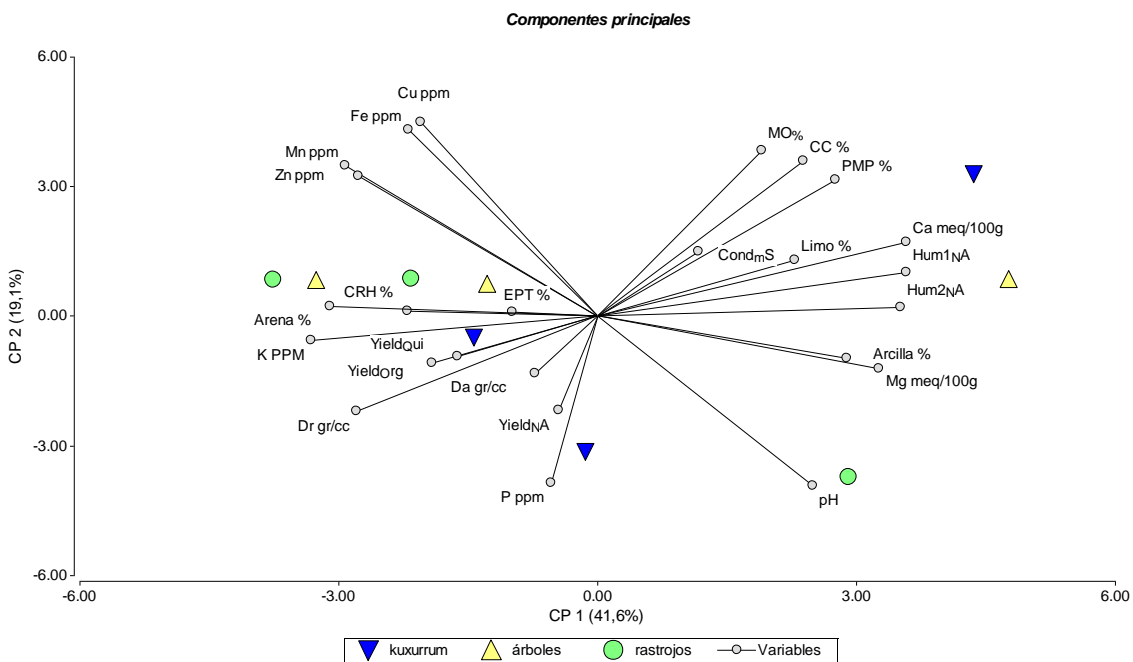


Figura 8. Componentes principales de las propiedades físicas y químicas del suelo en cultivos de maíz en Camotán, Chiquimula, Guatemala

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 ^{ab}	8,86	48,56	3	9,11 ^a	6,58	10,5	3	54,35 ^b	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.

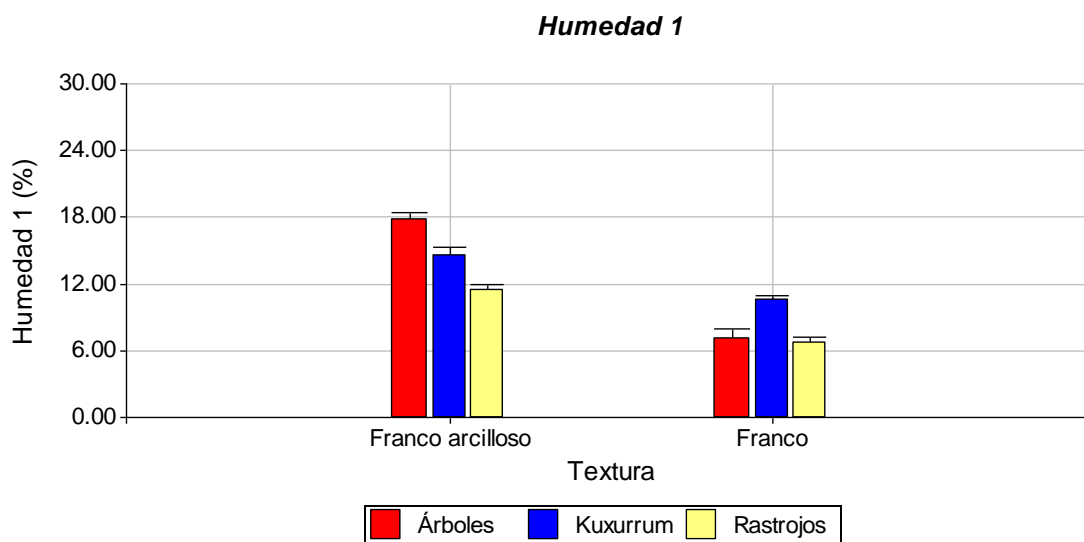


Figura 9. Porcentaje de humedad del suelo dentro del período de canícula en cultivos de maíz en Camotá, Chiquimula, Guatemala

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.

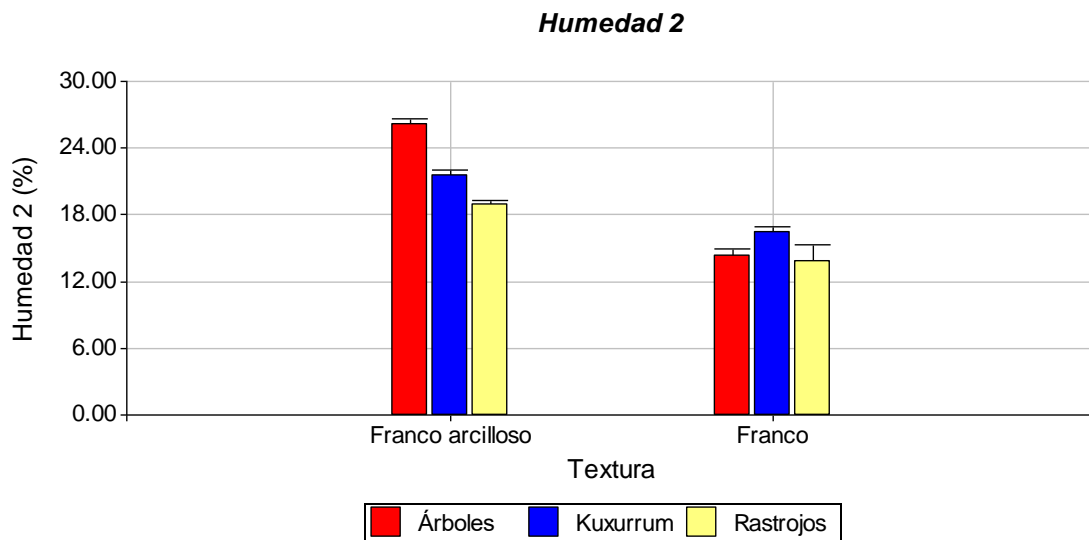


Figura 10. Porcentaje de humedad del suelo fuera del período de canícula en cultivos de maíz en Camotá, Chiquimula, Guatemala

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 Nº 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
- 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
- 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
- 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
- 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

- 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
- 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). Consultado 20 nov. 2017. Disponible en 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
- 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 Provencs, 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
- 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
- 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.