



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN EDAFOLOGÍA

EL ARREGLO TOPOLÓGICO, LA LABRANZA Y EL ACOLCHADO PARA INTENSIFICAR EL SISTEMA MIAF MAÍZ-FRIJOL-ÁRBOLES DE GUAYABA EN UN VERTISOL

MARÍA RAFAELA HERNÁNDEZ ESCOBAR

T E S I S

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2022

La presente tesis titulada: **El arreglo topológico, la labranza y el acolchado para intensificar el sistema MIAF maíz-frijol-árboles de guayaba en un vertisol**, realizada por la alumna: **María Rafaela Hernández Escobar** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
EDAFOLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



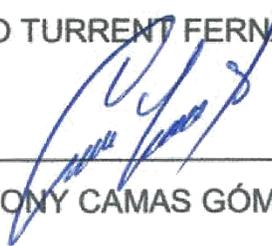
DR. JOSÉ ISABEL CORTÉS FLORES

ASESOR



DR. ANTONIO TURRENT FERNÁNDEZ

ASESOR



DR. ROBERTONY CAMAS GÓMEZ

Montecillo, Texcoco, Estado de México, marzo de 2022

EL ARREGLO TOPOLÓGICO, LA LABRANZA Y EL ACOLCHADO PARA INTENSIFICAR EL SISTEMA MIAF MAÍZ-FRIJOL-ÁRBOLES DE GUAYABA EN UN VERTISOL

María Rafaela Hernández Escobar, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2021

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue estudiar la respuesta del rendimiento de maíz y frijol al método de labranza y al arreglo topológico en el sistema MIAF en un Vertisol, así como la respuesta del rendimiento y calidad de fruto de guayaba cultivado en el sistema MIAF con y sin acolchado orgánico. Este estudio se realizó en el Campo Experimental Centro de Chiapas del Instituto Nacional de investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Constó de dos subexperimentos: 1) el de maíz y frijol, y 2) el del árbol frutal guayaba. Los factores estudiados en maíz y frijol fueron el arreglo topológico (AT) a tres niveles: 1×1, 2×2 y 2×2sa (surco angosto) y método de labranza (MDL) a dos niveles: labranza de conservación (LC) y labranza convencional (LCV), en combinación factorial, bajo un diseño experimental completamente al azar con dos repeticiones y en el subexperimento de guayaba se estudió el factor acolchado a dos niveles; con y sin acolchado en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. Se obtuvieron diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) entre MDL para el rendimiento de maíz y el más alto se obtuvo en los tratamientos con LC. El rendimiento de frijol fue afectado por la interacción AT × MDL ($p \leq 0.05$). La reducción del ancho del surco aún con una mayor densidad de población y dosis de fertilización por m^2 con el AT 2×2sa no aumentó significativamente el rendimiento de maíz y frijol. El rendimiento de fruto de guayaba 'Pera' no fue significativamente diferente por el acolchado del suelo. La materia seca del fruto fue la única variable de calidad que presentó diferencia estadística por el acolchado del suelo ($p \leq 0.05$). El acolchado del suelo sin haber aplicado fertilizantes no es suficiente para aumentar el rendimiento y/o calidad de fruto de guayaba 'Pera'. El sistema MIAF fue eficiente con los tres AT y ambos MDL. En general la tasa de retorno del sistema MIAF: maíz-frijol-guayaba osciló entre \$ 1.39 a \$2.68.

Palabras clave: calidad, rendimiento, doble hilera, temporal.

THE TOPOLOGICAL ARRANGEMENT, TILLAGE AND MULCHING TO INTENSIFY THE MIAF SYSTEM CORN-BEAN-GUAVA TREES IN A VERTISOL

María Rafaela Hernández Escobar, M.C.
Colegio de Postgraduados, 2021

ABSTRACT

The objective of this research was to study the response of corn and bean yield to the tillage method and the topological arrangement in the MIAF system in a Vertisol, as well as the response of the yield and quality of guava fruit. grown in the MIAF system with and without organic mulch. This study was carried out in the Experimental Field Center of Chiapas of the National Institute of Forestry, Agricultural and Livestock Research (INIFAP). It consisted of two sub-experiments: 1) that of corn and beans, and 2) that of the guava fruit tree. The factors studied in corn and beans were the topological arrangement (AT) at three levels: 1 × 1, 2 × 2 and 2 × 2sa (narrow furrow) and tillage method (MDL) at two levels: conservation tillage (LC) and conventional tillage (LCV), in factorial combination, under a completely randomized experimental design with two repetitions and in the guava sub-experiment the padding factor was studied at two levels; with and without padding in a randomized complete block experimental design with three replications. Statistical differences ($p \leq 0.05$) were obtained between MDL for corn yield and the highest was obtained in the LC treatments. Bean yield was affected by the AT × MDL interaction ($p \leq 0.05$). The reduction of the width of the furrow even with a higher population density and fertilization dose per m^2 with the 2 × 2sa topological arrangement did not significantly increase the yield of corn and beans. The yield of the guava 'Pear' fruit was not significantly different due to the mulch of the soil. The dry matter of the fruit was the only quality variable that presented statistical difference due to the padding of the soil ($p \leq 0.05$). Mulching the soil without applying fertilizers is not enough to increase the yield and / or quality of the guava 'Pear' fruit. The MIAF system was efficient with all three AT and both MDL. In general, the rate of return of the MIAF system: corn-beans-guava ranged from \$ 1.39 to \$ 2.68.

Keywords: quality, performance, double row, temporary

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios por acompañarme, guiarme y por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

Al pueblo de México que a través de sus impuestos hace posible que instituciones como el CONACYT otorguen becas de financiamiento para estudios de postgrado.

Al CONACYT por el financiamiento, para la realización y culminación de mis estudios de maestría.

Al Colegio de Postgraduados campus Montecillos, especialmente a la Especialidad de Edafología por darme la oportunidad de continuar con mi formación profesional.

Al Dr. José Isabel Cortés Flores, por sus sugerencias, aportes y guía en la realización de este trabajo. Por los conocimientos compartidos en el salón de clases. Fue un privilegio ser su alumna.

Al Dr. Antonio Turrent Fernández por compartir su conocimiento y por su participación en la realización de este trabajo.

Al Dr. Robertony Camas Gómez por su aporte invaluable en la realización de este trabajo.

A todos los profesores que fueron parte de mi formación durante mi estancia en el Colegio de Postgraduados.

A la Dra. Claudia Hidalgo Moreno por haber fungido como sinodal de este trabajo y por todo el apoyo brindado durante la maestría. Fue un privilegio ser su alumna.

DEDICATORIA

A mis padres, quienes son pilares fundamentales en mi vida.

A mis queridos hermanos, por haberme apoyado en todo momento.

A mis sobrinos quienes me la alegran la vida.

A mis amigos quienes me motivaron a continuar hasta el final.

CONTENIDO

RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
AGRADECIMIENTOS	v
DEDICATORIA.....	vi
LISTA DE CUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xiii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS, HIPÓTESIS Y SUPUESTO.....	5
2.1 Objetivo general.....	5
2.2 Objetivos específicos	5
2.3 Hipótesis general	5
2.4 Hipótesis específicas	5
2.5 Supuesto.....	6
III. REVISIÓN DE LITERATURA	7
3.1. El sistema MIAF y el aprovechamiento de recursos	7
3.2 Agricultura de conservación.....	13
3.3 Labranza convencional (LCV).....	15
3.4 Efecto de la labranza en Vertisoles.....	15
3.5 Costo de oportunidad del uso de los residuos de cosecha.....	17
3.6 Arreglo topológico	18
3.7 Efectos de la cobertura orgánica en el suelo	20
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
4.1 Sitio experimental.....	22
4.2. Subexperimento de maíz y frijol.....	23
4.2.1 Factores de estudio, tratamientos y diseño experimental.....	23
4.2.2 Descripción de los factores de estudio	24
4.2.2.1 Arreglo topológicos.....	24
4.2.2.2 Método de labranza	24
4.2.3 Establecimiento del experimento	24
4.2.3.1 Siembra del maíz.....	26

4.2.3.2 Siembra del frijol	26
4.2.4 Materiales genéticos	26
4.2.4.1 Maíz.....	26
4.2.4.2 Frijol.....	27
4.2.5 Manejo del experimento.....	27
4.2.5.1 Fertilización del maíz y frijol.....	27
4.2.5.2 Control de malezas.....	28
4.2.5.3 Control de plagas.....	28
4.2.6 Variables evaluadas.....	28
4.2.6.1 Índice de área foliar y área foliar específica en maíz y frijol	28
4.2.6.2 Radiación fotosintéticamente activa en maíz.....	29
4.2.6.3 Rendimiento de grano	30
4.2.6.4 Rendimiento de rastrojo de maíz	31
4.2.6.5 Rendimiento de frijol	32
4.2.6.6 Eficiencia relativa de la tierra (ERT)	33
4.2.6.7 Análisis del costo de oportunidad del uso de los residuos de cosecha	33
4.2.6.8 Determinación de las propiedades físicas y químicas del suelo.....	34
4.3 Subexperimento de guayaba	35
4.3.1 Factor de estudio, tratamientos y diseño experimental.....	36
4.3.2 Material genético	36
4.3.3 Densidad de población	37
4.3.4. Manejo	37
4.3.4.1 Poda de los árboles	37
4.3.4.2 Fertilización	37
4.3.4.3 Control de malezas y plagas	37
4.3.5 Variables evaluadas.....	38
4.3.5.1 Rendimiento de fruto	38
4.3.5.2 Calidad del fruto	38
4.3.5.3 Propiedades físicas y químicas del suelo	39
4.3.5.4 Determinación del estatus nutrimental del árbol de guayaba	39

4.3.3.5 Análisis económico	41
4.4 Análisis estadístico.....	42
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
5.1 Subexperimento de maíz y frijol	43
5.1.1 Propiedades físicas y químicas del suelo	43
5.1.2 Índices de área foliar, área foliar específica, radiación fotosintéticamente activa, rendimiento de rastrojo y de grano en maíz	50
5.1.3 Índice de área foliar, área foliar específica y rendimiento de grano en frijol	57
5.1.4 Eficiencia relativa de la tierra	61
5.1.5 Costo de oportunidad del uso de los residuos de cosecha de maíz	63
5.1.6 Análisis económico	66
5.2 Subexperimento con árboles de guayaba.....	68
5.2.1 Propiedades físicas y químicas del suelo	68
5.2.2 Estatus nutrimental del árbol de guayaba.....	75
5.2.3 Rendimiento y calidad de fruto	78
5.2.4 Análisis económico	84
VI. CONCLUSIONES	86
VII. RECOMENDACIONES.....	87
VIII. LITERATURA CITADA	88

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Tratamiento del sub-experimento maíz y frijol.	23
Cuadro 2. Composición y costo de los fertilizantes.	34
Cuadro 3. Análisis de varianza de las propiedades físicas y químicas del suelo de acuerdo al arreglo topológico y al método de labranza.	43
Cuadro 4. Resultados de las propiedades físicas y químicas del suelo de acuerdo al arreglo topológico y al método de labranza.	44
Cuadro 5. Análisis de varianza del contenido de nutrientes del suelo de acuerdo al arreglo topológico y el método de labranza.	47
Cuadro 6. Efecto del arreglo topológico y el método de labranza en el contenido de nutrientes del suelo con maíz y frijol en un sistema MIAF.	47
Cuadro 7. Análisis de varianza del IAF, el AFE, la RFA, el RR y el RG obtenidos en el maíz cultivado en la milpa intercalada en árboles frutales (MIAF)-guayaba.	50
Cuadro 8. Comparación de medias para la variable RFA interceptada a la mitad de la altura de la planta de maíz y al nivel del suelo en función del arreglo topológico.	52
Cuadro 9. Precipitación mensual del año 2019 y promedio mensual histórico en el Campo Experimental Centro de Chiapas-INIFAP.	54
Cuadro 10. Análisis de varianza del IAF, el AFE y el RG obtenidos en el frijol cultivado en la milpa intercalada en árboles frutales (MIAF)-guayaba.	57
Cuadro 11. Comparación de medias para la variable AFE de las plantas de frijol en función del arreglo topológico y el método de labranza.	59
Cuadro 12. Rendimientos promedio de grano de maíz, frijol y eficiencia relativa de la tierra: MIAF en relación a los cultivos simples de maíz y de frijol, en condiciones de temporal.	62
Cuadro 13. Carga animal soportada en 0.33 ha de acuerdo a la cantidad de rastrojo de maíz obtenida en cada tratamiento en un sistema MIAF.	63
Cuadro 14. Kilogramos de N, P ₂ O ₅ y K ₂ O aportados al suelo de acuerdo a la cantidad de rastrojo en cada tratamiento en 0.3 ha.	64

Cuadro 15. Kilogramos de fertilizantes requeridos para compensar los nutrientes Nitrógeno, Fósforo y Potasio cuando se retira el rastrojo.	65
Cuadro 16. Costo de oportunidad del uso de rastrojo de maíz para alimentación de ganado versus cobertura del suelo en un sistema MIAF.	65
Cuadro 17. Costos fijos (CF), costos variables (CV), costos totales (CT), ingresos totales (IT), ingresos netos (IN) y tasa de retorno (TR) en función del rendimiento de maíz (RM) obtenido en cada tratamiento.	67
Cuadro 18. Costos fijos (CF), costos variables (CV), costos totales (CT), ingresos totales (IT), ingresos netos (IN) y tasa de retorno (TR) en función del rendimiento de frijol (RF) obtenido en cada tratamiento.	67
Cuadro 19. Análisis de varianza de las propiedades físicas y químicas del suelo de acuerdo al acolchado del suelo.	68
Cuadro 20. Propiedades físicas y químicas del suelo con y sin acolchado en la sub-franja de árboles de guayaba.	69
Cuadro 21. Análisis de varianza del contenido de nutrientes del suelo en la franja con árboles frutales de guayaba con y sin acolchado orgánico.	71
Cuadro 22. Contenido de macro y micronutrientes del suelo en la franja con árboles frutales de guayaba con y sin acolchado orgánico.	71
Cuadro 23. Concentración nutrimental en materia seca de hojas de árboles de guayaba ‘Pera’ en etapa de floración cultivados con y sin acolchado del suelo en el sistema MIAF.	75
Cuadro 24. Concentración nutrimental en materia seca de frutos de guayaba ‘Pera’ cultivados con y sin acolchado en el sistema MIAF.	76
Cuadro 25. Concentración y extracción nutrimental por el fruto de guayaba ‘Pera’ cultivados con y sin acolchado del suelo en el sistema MIAF.	78
Cuadro 26. Análisis de varianza del rendimiento y de la calidad de fruto de guayaba ‘Pera’ cultivados con y sin acolchado del suelo en el sistema MIAF.	78
Cuadro 27. Comparación de medias para la calidad de fruto de guayaba ‘Pera’ cultivado con y sin acolchado del suelo en el sistema MIAF.	81
Cuadro 28. Costos fijos (CF), costos variables (CV), costos totales (CT), ingresos totales (IT), ingresos netos (IN) y tasa de retorno (TR) en función del	

rendimiento de fruto de guayaba 'Pera' cultivado con y sin acolchado
del suelo en el sistema MIAF..... 84

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica del sitio experimental en el CECECH del INIFAP, ubicado en el municipio de Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas, México.	22
Figura 2. Vista frontal del croquis del sitio experimental.	25
Figura 3. Árboles de guayaba con (A) y sin (B) acolchado orgánico sobre la superficie del suelo.	36
Figura 4. Efecto del arreglo topológico en (A) el índice de área foliar y (B) el área foliar específica.	51
Figura 5. Rendimiento de maíz en función del método de labranza.	53
Figura 6. Rendimiento de rastrojo de maíz en base seca en función del arreglo topológico.	56
Figura 7. Efecto de la interacción arreglo topológico x método de labranza en el Índice de área foliar de plantas de frijol.	57
Figura 8. Efecto de la interacción arreglo topológico x labranza en el rendimiento de frijol.	60
Figura 9. Precipitación diaria durante el ciclo del maíz y frijol en el Campo Experimental Centro de Chiapas-INIFAP, en el año 2019.	61
Figura 10. Efecto del acolchado en (A) el peso y (B) el rendimiento de fruto de guayaba 'Pera'	79

I. INTRODUCCIÓN

En el mundo, del 60 a 70 % de los alimentos para consumo humano es producido por pequeños agricultores, que poseen solamente el 30% de la tierra de labor (Cortés, 2005). Ellos usan distintos sistemas de producción, basados en los principios de los cultivos múltiples que se caracterizan por su amplia biodiversidad que les confiere resiliencia y persistencia en un entorno de cambio climático global y de mercado (Tsubo *et al.*, 2003).

Sin embargo, en México desde hace varias décadas, los pequeños agricultores han dejado de ser sustentables ante la presión de la agricultura empresarial o industrial, la cual ha recibido todos los apoyos necesarios para su desarrollo; investigación agrícola, financiamiento, capacitación y asesoría técnica (Mata, 2002). En cambio, los agricultores pequeños han sido atendidos de manera colateral bajo el supuesto que la tecnología para la agricultura empresarial, basada en cultivos simples es adecuada también para ellos. Este supuesto ha fallado y se ve reflejado en la crisis económica, social y ambiental crónica en la cual están inmersas las pequeñas unidades de producción (Turrent *et al.*, 2017).

La familia vive en inseguridad alimentaria con un ingreso neto precario, sus suelos en laderas están sujetos a erosión hídrica severa que contribuye a la emisión de CO₂ a la atmósfera. Todo esto propicia el abandono del campo hacia las ciudades grandes del país y/o la emigración a los Estados Unidos de América (FAO, 2009).

Ante esta situación, el Colegio de Postgraduados y el INIFAP, hace más de 30 años iniciaron trabajos de investigación para intensificar/revitalizar el sistema agrícola (SA) “Maíz o Milpa en Huertos” con árboles frutales caducifolios en condiciones de temporal, desarrollado por campesinos en parte del Valle de Puebla. Este sistema ha demostrado durante muchos años que permite abordar de manera simultánea los problemas arriba mencionados de las pequeñas unidades de producción que poseen menos de cinco hectáreas (Cortés *et al.*, 2006).

La investigación para intensificar/revitalizar el SA “Maíz o Milpa en Huertos”, consideró el incremento de la eficiencia relativa de la tierra, el logro de la seguridad alimentaria y el incremento significativo del ingreso familiar. El análisis de este sistema permitió entender

que la milpa era el componente clave para lograr la seguridad alimentaria y los árboles frutales para lograr el resto de los objetivos, cultivados en la misma parcela como cultivo intercalado en franjas, el cual era practicado por los mismos pequeños agricultores. A este sistema se le denominó “Milpa Intercalada con o en Árboles Frutales” (MIAF) (Turrent *et al.*, 2017).

El siguiente paso fue definir cómo se haría la intensificación/revitalización, considerando el papel de cada componente. En el caso de la milpa, la intensificación se basó en el arreglo topológico del maíz (*Zea mays* L.) y el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) para incrementar sus rendimientos por unidad de superficie, sin incrementar las dosis de fertilización, a través de un uso más eficiente de los recursos luz solar, nutrientes y agua del suelo (Turrent, 2006).

Debido a que el maíz es una planta C₄ que no foto-respira, y el frijol una planta C₃ que foto-respira, se consideró que un arreglo topológico que permitiera que la mayor parte del área foliar del maíz recibiera directamente radiación fotosintéticamente activa, incrementaría el rendimiento de grano por unidad de superficie. Respecto al componente árbol frutal, se consideró la distancia de plantación en la hilera, el sistema de formación y poda del árbol, así como la especie y variedad para el mercado de fruta fresca (Turrent *et al.* 2017).

Con estos elementos, se diseñó el primer módulo MIAF como cultivo intercalado en franjas, el cual se describe a continuación: “Es una franja de terreno de 14.4 m de ancho que equivale a 18 surcos de 0.8 m de ancho cada uno, dividida en tres sub-franjas iguales de seis surcos cada una. La sub-franja central está destinada al componente árbol frutal (epicultivo) y las dos flanqueadoras están destinadas para el maíz (mesocultivo) y el frijol (sotocultivo), que se siembran en surcos alternos con micro-rotación anual”. De acuerdo a este módulo, cada especie componente ocupa un tercio del terreno (Cortés *et al.*, 2005).

La siembra del maíz y frijol en surcos alternos considera dos arreglos topológicos: 2 × 2 y 1 × 1, donde los surcos tienen 0.8 m de ancho. En el primero, se siembran dos surcos de maíz seguidos de dos surcos de frijol, mientras que en el segundo se siembra un

surco de maíz seguido de un surco de frijol, y así sucesivamente. La micro-rotación anual consiste en que al siguiente año los surcos de maíz son ocupados por el frijol, y viceversa, los surcos de frijol son ocupados por el maíz (Cortés *et al.*, 2005).

Con el arreglo topológico 2 × 2, el área foliar del maíz que recibe directamente radiación fotosintéticamente activa se incrementó a dos tercios respecto al maíz en cultivo simple donde solamente el área foliar del tercio superior de la planta tiene estas condiciones. En el arreglo topológico 1 × 1, casi el 100% del área foliar del maíz recibe radiación fotosintéticamente activa directamente. Esto se debe a que la planta de frijol por su porte bajo (sotocultivo) no le compete al maíz por luz solar (Cortés y Turrent, 2019).

Los resultados en los estados de Puebla, México, Oaxaca, y Veracruz, han demostrado que con el arreglo topológico 2 × 2, el rendimiento de maíz es la mitad del rendimiento en cultivo simple obtenido en una hectárea. Es decir, el maíz en MIAF rinde como si ocupara una mitad del terreno y no solamente un tercio según el módulo antes descrito. En cambio, el frijol rinde de manera similar que el cultivo simple. En el arreglo topológico 1 × 1 el rendimiento de maíz es superior al del 2 × 2, llegando a equivaler a más del 60% del cultivo simple. Sin embargo, el rendimiento de frijol es menor al del cultivo simple, debido a que los surcos de frijol en medio de dos surcos de maíz están más sombreados durante el ciclo de crecimiento (Cortés y Turrent, 2012; Albino *et al.*, 2016; Torres, 2016).

Estos resultados están también estrechamente relacionados con el volumen de suelo que exploran las raíces del maíz y el frijol durante el ciclo. La raíz del frijol es menos profunda que la del maíz. Entonces el crecimiento y distribución de la raíz de este último se da hasta en suelo que está por debajo de las raíces del frijol. De esta manera, el maíz explora un volumen adicional de suelo, lo cual significa un suministro de agua y nutrientes adicional que puede usar en el crecimiento, desarrollo y producción de materia seca (Postma y Lynch, 2012).

En el caso del componente árbol frutal, el rendimiento de fruto en MIAF en un tercio del terreno también equivale al 50% del rendimiento obtenido en una hectárea como cultivo simple. Con estos resultados, la eficiencia relativa de la tierra (ERT) es mayor a 1.0, el ingreso neto familiar se incrementa significativamente, hay mayor oportunidad de empleo

en la misma unidad de producción, y, por lo tanto, es posible lograr la seguridad alimentaria. Además, en las laderas, el sistema MIAF ha demostrado capacidad para controlar de manera efectiva la erosión hídrica del suelo, para capturar y secuestrar carbono atmosférico (Camas, 2011).

Por lo tanto, la intensificación con el sistema MIAF está logrando los objetivos planteados; sin embargo, también es evidente que existe la necesidad de seguir explorando nuevas alternativas para intensificar aún más el uso de la tierra de labor, de acuerdo a las condiciones climáticas (lluvia, temperatura, luz solar) y de suelo específicas de diferentes regiones del país. Por ejemplo, en el estado de Chiapas, el frijol en unicultivo se siembra en surcos con una anchura de 60 cm y no en surcos de 80 cm de ancho como está establecido en los módulos MIAF actuales. Además, en el sistema MIAF no existen trabajos previos con surcos angostos de 40 cm, densidades altas de población y usando el método de labranza de conservación. Por lo tanto, en la presente investigación se probó un nuevo arreglo topológico del maíz y frijol, en conjunto con el método de labranza, así como el acolchado del suelo en la hilera de árboles para intensificar aún más el uso de este recurso, en un vertisol.

II. OBJETIVOS, HIPÓTESIS Y SUPUESTO

2.1 Objetivo general

1. Estudiar la respuesta del rendimiento de maíz y frijol al método de labranza y al arreglo topológico en el sistema MIAF en un Vertisol, así como la respuesta del rendimiento y calidad de fruto de guayaba cultivado en el sistema MIAF con y sin acolchado orgánico.

2.2 Objetivos específicos

1. Determinar el índice del área foliar y el área foliar específica y relacionarlo con el rendimiento de maíz y frijol.
2. Determinar la radiación fotosintéticamente activa interceptada por las plantas de maíz y relacionarla con el rendimiento.
3. Determinar el estatus nutrimental de los árboles de guayaba.
4. Evaluar la eficiencia relativa de la tierra del maíz y frijol y el ingreso neto del sistema MIAF.

2.3 Hipótesis general

1. El arreglo topológico del maíz y frijol en surcos con una anchura menor a 80 cm y el método de labranza en el sistema MIAF incrementa el rendimiento, asimismo el acolchado orgánico del suelo en la franja de los árboles de guayaba incrementa el rendimiento y calidad del fruto.

2.4 Hipótesis específicas

1. El rendimiento de maíz y frijol son afectados por el índice de área foliar y el área foliar específica.
2. El rendimiento de maíz es afectado por una menor intercepción de radiación fotosintéticamente activa.

3. El estatus nutrimental de los árboles de guayaba es diferente con y sin acolchado del suelo.
4. Con el sistema MIAF se obtiene una eficiencia relativa de la tierra mayor que el cultivo simple y un ingreso neto mayor para el productor.

2.5 Supuesto

El ámbito de aplicación es en un sistema MIAF, en condiciones de temporal, con una precipitación media anual de 800 mm, en Vertisoles, en terrenos de topografía plana, con incorporación de residuos de cosecha (± 3 años), con el híbrido H-383 y variedad de frijol Verdín adaptadas al agrosistema. También aplica a árboles de guayaba maduros en etapa productiva propagados por semilla, con acolchado orgánico (± 4 años) y cultivados en condiciones de temporal.

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. El sistema MIAF y el aprovechamiento de recursos

Temperatura

La mayoría de las especies vegetales son sensibles al estrés por temperatura y sufren cuando estas son bajas o muy altas con respecto a los umbrales definidos para cada una. Por ejemplo, el rango óptimo de temperatura del frijol se encuentra entre 15-27° C y el rendimiento se reduce por estrés térmico (altas temperaturas) (Prasad *et al.*, 2002). Las plantas de maíz sometidas a temperaturas superiores a 35 °C por más de ocho días durante el desarrollo reproductivo, sufren una reducción del 74% en el rendimiento (Rincón *et al.*, 2006). En general, las altas temperaturas afectan la capacidad fotosintética de manera más drástica en plantas C₃ (frijol) que en las C₄ (maíz) (Chávez y Gutiérrez, 2017).

Cuando se intercalan cultivos, la tasa fotosintética y la productividad de las plantas cultivadas debajo del dosel de la especie dominante puede ser limitada si la sombra no es regulada de manera apropiada (Howden *et al.*, 2007).

Por el contrario, si la sombra es bien regulada se minimiza el estrés térmico, lo cual es una ventaja dado que el estatus hídrico de las plantas es una de las variables más afectadas cuando se tienen altas temperaturas porque éstas inducen un déficit hídrico, debido a aumentos significativos de la transpiración y a reducciones de la conductividad hidráulica, aún bajo condiciones de buen suministro de agua (Morales *et al.*, 2003).

Además, la sombra incrementada en el suelo por medio de los cultivos intercalados y la cobertura natural de las hojas caídas, estabilizan la temperatura del suelo y reducen considerablemente la pérdida de agua por evaporación (Camas, 2011).

Humedad y transpiración

La cantidad de agua que utiliza y transpira la planta depende de la especie y de las condiciones ambientales (Gariglio *et al.*, 2007).

Los factores ambientales más importantes que afectan la transpiración son: radiación solar, déficit de presión de vapor del aire, temperatura, velocidad del viento, concentración de CO₂ y disponibilidad de humedad y nutrientes del suelo (Sánchez y Aguirreolea, 2008).

Dentro y debajo del dosel de árboles asociados con cultivos la humedad relativa se incrementa y las tasas de evapotranspiración disminuyen a diferencia de condiciones sin sombra (Li *et al.*, 2002).

Por ejemplo, al evaluar las tasas de transpiración en diferentes estratos con árboles de Guayaba feijoa (*Acca sellowiana*) [O. BERG] BURRET) se obtuvieron tasas de transpiración más altas en el estrato superior respecto al inferior; 1.2 y 2.2 g H₂O cm⁻² s⁻¹ y 0,5 y 1,7g H₂O cm⁻² s⁻¹, respectivamente (Naizaque *et al.*, 2014).

Al respecto Kramer (1989) atribuyó el aumento de la transpiración a la mayor cantidad de estomas presentes en las hojas más expuestas al sol. A mayor irradiancia en estratos superiores en una planta, mayor la tasa de transpiración (Kozlowski y Pallardy, 1997).

Así mismo, las plantas por lo regular muestran mayores tasas de transpiración con un adecuado contenido de humedad en el suelo que suministra el agua que fluye a la atmósfera a través de las plantas. Cuando el suelo está muy seco, las plantas no pueden mantener la transpiración sin el riesgo de marchitamiento ya que el agua que se mueve en el xilema no es remplazada por agua proveniente del suelo. Esta situación provoca que las hojas pierdan turgencia o firmeza y con ello el cierre de los estomas. Si la pérdida de turgencia se extiende a toda la planta, la planta se marchita (Sterling y Hernández, 2017).

Radiación solar

Cuando se asocian cultivos, la competencia por luz es un proceso evidente. Sin embargo, esto es una función de la densidad de las especies componentes y del tamaño y cobertura del dosel.

Dentro de los doseles de las plantas la radiación solar neta es importante para describir la cantidad fundamental de energía disponible para el crecimiento de las plantas debido

a que impulsa los procesos de fotosíntesis, evaporación, transpiración y calentamiento del aire y del suelo (Tsubo *et al.*, 2003). La radiación solar es el recurso principal que determina la productividad de un cultivo cuando el agua y los nutrimentos no son factores limitantes en su crecimiento (Hamdollah, 2012).

En el sistema MIAF se han integrado tecnologías en el manejo de nutrientes para incrementar la producción agrícola, aprovechando las diferentes estrategias de absorción que tienen los árboles y las plantas anuales, así como la disposición espacial de las especies que faciliten la captación de la radiación solar (Juárez y Fragoso, 2014).

Cuando se intercalan el maíz y el frijol se aprovecha las diferencias entre ambas especies. El maíz tiene hojas grandes y largas, mientras que el frijol tiene hojas pequeñas y trifoliadas que ocupan los huecos dejados por el dosel del maíz. Estas diferencias permiten una mejor utilización de la radiación solar neta (energía radiante total entrante y saliente a una superficie), la cual es la principal contribuyente al equilibrio energético (Postma y Lynch, 2012).

La siembra en hileras de dos surcos alternantes (dos surcos de maíz seguidos de dos surcos de frijol) permite pasar de un tercio a dos tercios del follaje del maíz con acceso directo a la radiación fotosintéticamente activa (RFA) respecto al cultivo simple. En éste, el follaje del tercio superior tiene acceso a 100% de la RFA, mientras que los tercios medio e inferior solamente logran recibir el 24 y 17%, respectivamente, lo cual propicia que la eficiencia en el uso de la luz solar sea baja y disminuya la cantidad de materia seca producida por unidad de superficie (Cortés y Turrent, 2019).

En surcos individuales alternantes (uno de maíz seguido de uno de frijol), prácticamente todo el follaje del maíz tiene acceso directo a la RFA, sobre todo en surcos con una orientación este-oeste. De esta manera, se pueden manejar altas densidades de población sin detrimento en la capacidad fotosintética del maíz (planta C₄) e incrementar el rendimiento de grano por unidad de superficie, sin un aumento paralelo de la dosis de fertilizante (Turrent, 2006). En cambio, el frijol puede disminuir su rendimiento por efecto del sombreado por el maíz; no obstante, también puede beneficiarse dado que es una planta C₃ (Cortés y Turrent, 2019).

En las plantas de frijol la fotorrespiración se incrementa con la temperatura, debido a que se reduce la afinidad de la enzima Ribulosa 1,5-bisfosfato carboxilasa/oxigenasa (Rubisco) por el CO₂ y aumenta la tasa de difusión y la afinidad por el oxígeno. Las temperaturas elevadas también provocan aumento en la pérdida de agua, cierre de estomas y reducción en la disponibilidad de CO₂. En el caso del maíz no ocurre el proceso de fotorrespiración, debido a que el CO₂ producido mediante este proceso en las células de los haces vasculares tiende a difundirse a través del mesófilo para llegar al exterior; entonces el CO₂ es fijado nuevamente por la enzima Fosfoenol piruvato carboxilasa (PEPC) y es trasladado de nuevo a las mismas células, donde se produce un incremento en la concentración de CO₂ sin competencia del O₂, lo cual favorece la actividad carboxilasa de Rubisco que implica una reducción de la fotorrespiración en este tipo de plantas (Mosquera *et al.*, 1999).

Albino *et al.* (2015) reportan que en el cultivo simple de maíz hubo menos rendimiento de grano respecto de los arreglos intercalados, pues tuvo el valor más bajo de radiación fotosintéticamente activa transmitida al nivel del suelo (RFA_{ts}) y las raíces presentaron menos exploración lateral. En el frijol en etapa de prefloración, la RFA_{ts} no fue afectada por el arreglo topológico; sin embargo, en la etapa de llenado de vainas, los valores menores de RFA_{ts} se presentaron en los arreglos topológicos 2x2 y 1x1, por lo cual hubo disminución en el llenado de grano y por lo tanto en el rendimiento.

Se ha reportado que, con cultivos intercalados de maíz y frijol, la eficiencia de uso de la RFA fue 3.18 g MJ⁻¹, mientras que con los cultivos simples de maíz y frijol fue de 2.82 y 1 g MJ⁻¹, respectivamente (Tsubo *et al.*, 2003).

Eficiencia en el uso del agua

En el cultivo intercalado las diferencias fisiológicas y morfológicas entre las especies componentes contribuyen a incrementar la eficiencia en el uso de los recursos ambientales: agua, luz y nutrimentos (Albino *et al.*, 2015).

Cuando se intercaló el cultivo de maíz y frijol se tuvo una eficiencia de uso de agua de 50.2 kg ha⁻¹ mm⁻¹, mientras que con los cultivos simples de maíz y frijol se tuvo 44.7 y 24.1 kg ha⁻¹ mm⁻¹, respectivamente. La eficiencia en el uso del agua y radiación dio como

resultado un aumento en la producción (Tsubo, 2003). Esto es debido a que estas especies tienen arquitecturas radicales contrastantes que pueden ser la base de diferentes estrategias, potencialmente complementarias para la adquisición de agua y nutrientes del suelo (Postma y Lynch, 2012).

En los cultivos asociados existe el fenómeno del ascenso hidráulico, por el cual el agua se redistribuye a través de las raíces en la dirección del gradiente de potencial hídrico. De esta manera, el agua de lluvia puede almacenarse a mayor profundidad en el suelo, y se puede usar posteriormente cuando se devuelve a la capa superior del suelo (Burges, 1998).

Dado que el sistema MIAF es un sistema de cultivo para pequeños productores que generalmente desarrollan una agricultura de temporal y muchas veces con lluvias limitativas, se considera que el ascenso hidráulico por medio de las raíces de los árboles frutales beneficiaría a este sistema, por sus efectos en la aportación de agua tanto para las raíces superficiales del árbol frutal como para los cultivos anuales, sobre todo en época de secas (Camas, 2011).

Adquisición de nutrientes

Li *et al.* (2001) proponen un "principio de producción de recuperación de la competencia" basado en varios años de estudios sobre cultivos intercalados. Este principio significa que la interacción interespecífica aumenta el crecimiento, la absorción de nutrientes y el rendimiento de las especies dominantes, pero disminuye el crecimiento y la absorción de nutrientes de las especies subordinadas durante la etapa de coexistencia de ambas especies. Después de que se cosecha la especie dominante, la especie subordinada tiene un proceso de recuperación o complementario para que los rendimientos finales permanezcan sin cambios o incluso aumenten en comparación con las especies únicas correspondientes. El principio es adecuado para cultivos intercalados de especies de temporada corta/ temporada larga.

La competencia y la facilitación interespecífica existen simultáneamente y se ha observado facilitación interespecífica en algunos sistemas de cultivos intercalados como

el maíz que mejora la nutrición con hierro en cacahuete (*Arachis hypogaea* L.), el frijol mejora la absorción de nitrógeno y el maíz mejora la absorción de fósforo (Li *et al.*, 2001).

Al respecto, Li (2001) reporta que la adquisición de N y K en cultivos intercalados de maíz, trigo y soya reveló una facilitación interespecífica en la adquisición de nutrientes durante el crecimiento conjunto, comparado con los cultivos simples. El efecto del cultivo intercalado sobre el rendimiento y la adquisición de nutrientes se atribuyeron a la diferencia en la capacidad competitiva de nutrientes entre las especies componentes.

Además, Li *et al.* (2002), argumentan que las interacciones interespecíficas de las raíces, entre el frijol intercalado y el maíz jugaron un papel importante en la ventaja de rendimiento y la adquisición de N y P. Cuando las raíces de dos especies se traslaparon, la absorción de N y de P fueron 38.4 g N m⁻² y 4.2 g P m⁻², respectivamente. Sin embargo, cuando las raíces de las dos especies se separaron por completo, se redujeron a 31.8 g N m⁻² y 3.3 mg P m⁻².

En otro estudio, el cultivo intercalado con haba (*Vicia faba* L.), mejoró significativamente el rendimiento de grano de maíz, en comparación con el maíz cultivado con trigo (*Triticum* L.), a tasas más bajas de aplicación de fertilizante fosfatado. El mayor rendimiento del maíz resultó de la absorción de fósforo movilizado por la acidificación de la rizosfera a través de la liberación de ácidos orgánicos y protones de la raíz del haba. El aumento en el rendimiento del haba se debió a que el ciclo de crecimiento y la profundidad de las raíces diferían de las del maíz (Li *et al.*, 2007).

Así mismo, en cultivos asociados que incluyeron maíz, frijol y calabaza (*Cucurbita pepo* L.), la complementariedad causada por diferencias en la arquitectura de las raíces resultó en una eficiente absorción de nutrientes (Postma y Lynch, 2012). En la interacción entre maíz y frijol se favorece la captura de N atmosférico, ya que el frijol nodula más en asociaciones con el maíz (Gliessman, 1990).

Por otra parte, tanto el Fe como el Zn extractables en suelo calcáreo, y la concentración de Fe y Zn en guayaba (*Psidium guajava*), que es una especie ineficiente en la absorción de Fe, mejoraron cuando los árboles se intercalaron con maíz (Kraemer *et al.*, 2006).

3.2 Agricultura de conservación

La agricultura de conservación (AC) se practica en más de 155 millones de hectáreas en todo el mundo, cuyos usuarios son en su mayoría grandes agricultores, de países como Estados Unidos, Brasil, Argentina, Canadá, Australia y China con una superficie en millones de hectáreas de 35.613, 31.811, 29.180, 18.313, 17.695 y 6.670, respectivamente; en México se practica en 41 mil hectáreas (FAO, 2016).

La AC está basada en tres principios que son: (1) minimizar la perturbación del suelo de acuerdo con las prácticas de producción sostenibles, (2) maximizar la cubierta de la superficie del suelo mediante el manejo de cultivos de cobertura, pastos y residuos de cosechas, y (3) estimular la actividad biológica a través de la rotación de cultivos, incluyendo los de cobertura y manejo integrado de nutrientes y plagas (Verhulst *et al.*; 2010, FAO, 2017).

Por otro lado, Ramírez (2021) menciona que la labranza de conservación tiene implícito el uso de herbicidas, especialmente el glifosato, el cual impacta de forma negativa en el ambiente, en los sistemas de producción agrícola y en la salud humana.

Por ello, recientemente en México, por decreto presidencial de diciembre 2020, se establecieron las acciones que deberán realizar las dependencias y entidades que integran la Administración Pública Federal, en el ámbito de sus competencias, para sustituir gradualmente el uso, adquisición, distribución, promoción e importación de la sustancia química denominada glifosato y de los agroquímicos que lo contienen como ingrediente activo.

En su lugar se usarán alternativas sostenibles y culturalmente adecuadas, que permitan mantener la producción y resulten seguras para la salud humana, la diversidad biocultural del país y el ambiente. Así, se reducirá la importación y uso del glifosato hasta la eliminación total de su uso en el 2024, fomentando alternativas sostenibles. Lo que imposibilitaría la adopción de la agricultura de conservación en México.

Labranza de conservación (LC)

La labranza de conservación se define como un sistema de labranza en el que al menos el 30% de los residuos de cultivos se dejan en la superficie del suelo y es una práctica importante de conservación para reducir la erosión del suelo (Reji *et al.*, 2012) y contribuye a la reducción de emisiones de CO₂ a la atmósfera (Sifuentes *et al.*, 2018).

De igual manera, la labranza cero es una "piedra angular" de la AC, donde las únicas operaciones de labranza son técnicas de siembra de mínima perturbación del suelo para la siembra y aplicación de fertilizantes directamente en los residuos del cultivo anterior (Dumanski *et al.*, 2006).

Por otro lado, la LC es un sistema de manejo del suelo que tiene una alta capacidad potencial para secuestrar carbono orgánico en el suelo (COS), el cual favorece la formación de agregados y consecuentemente interviene en la distribución del espacio poroso, afectando diversas propiedades físicas, como la humedad aprovechable, el espacio poroso, movimiento de agua y gases en el suelo (Martínez *et al.*, 2008), y disminuye la densidad aparente del estrato superficial del suelo (Lingan, 2014).

El COS al estar formado por compuestos de diversa naturaleza química y estado de descomposición interviene en las propiedades químicas del suelo tales como: aumentar la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la capacidad amortiguadora del suelo (pH). También como resultado de la mineralización de la materia orgánica, se liberan diversos nutrientes para las plantas, muchos de los cuales son aportados en forma deficitaria por los minerales del suelo (Martínez *et al.*, 2008).

Las condiciones físicas y químicas del suelo modificadas por la labranza de conservación crean hábitats significativamente diferentes para los microorganismos y aumentan la población y la actividad microbiana, así como la biomasa microbiana (Staley, 1999).

Los efectos positivos de la LC en las propiedades físicas y químicas del suelo no son a corto plazo y dependen del tipo de suelo. Por ejemplo, en suelos arenosos en condiciones de secano la labranza cero con mantillo de residuos resultó ser una práctica prometedora (Wang *et al.*, 2012, citado por Lingan, 2015).

Empero, como ya ha sido mencionado la agricultura de conservación (agricultura industrial) es dependiente del uso de agroquímicos (Turrent *et al.*, 2017).

3.3 Labranza convencional (LCV)

La labranza convencional tiene como objetivos: roturar y revertir una capa profunda de suelo, incorporar residuos de plantas; exponer las plagas del suelo a la luz solar para controlarlas; desmoronar los terrones y nivelar el suelo (Araujo, 2015).

Sin embargo, el contenido de materia orgánica disminuye frecuentemente con la intensidad de labranza, lo cual afecta directamente la calidad y la fertilidad del suelo, debido a su influencia en las propiedades físicas, químicas y biológicas; todas ellas necesarias para el normal desarrollo de las funciones del suelo (Leyva *et al.*, 2014). No obstante, Ismail *et al.* (1999) encontraron que el contenido de materia orgánica puede mantenerse o restaurarse a través de prácticas de manejo tales como: abonos verdes o cultivos de cobertura y la incorporación de los residuos de cultivos al suelo. Por lo tanto, la calidad y la productividad del suelo a largo plazo se pueden mantener tanto con labranza de conservación como con labranza convencional.

Por otro lado, al evaluar la labranza cero sin mantillo, la labranza cero más residuos vegetales (3 ton ha^{-1}), la labranza superficial (8 a 15 cm) con rastra más el control mecánico de malezas (escarda), y la labranza con arado de discos, paso de rastra y control mecánico de malezas; se concluyó que con la labranza cero más residuos vegetales se tuvo menor estrés hídrico y fue efectiva en el incremento de rendimiento en suelos arenosos en comparación con la labranza cero sin mantillo, la labranza superficial y la labranza con arado de discos. Sin embargo, en suelos arcillosos, la respuesta del rendimiento a la labranza con arado de discos fue el más efectivo al favorecer la porosidad del suelo que ayuda a la mejor absorción de los nutrientes (Olguín *et al.*, 2017).

3.4 Efecto de la labranza en Vertisoles

En un experimento realizado en un Vertisol durante cuatro años de manejo con diferentes dosis de fertilización nitrogenada, sistemas de labranza y rotación de cultivos, se encontró que en labranza cero con residuos de cosecha en la superficie del suelo, el

contenido de humedad en la capa superficial se incrementó de 2 a 5%, mientras que la densidad aparente y la resistencia a la penetración fueron mayores comparadas con la labranza convencional con quema de residuos y la labranza convencional con incorporación de residuos; no obstante, con la labranza convencional la resistencia a la penetración fue mayor después de 30 cm de profundidad, sin afectar el rendimiento del cultivo (Mora *et al.*, 2001).

Por otro parte, al comparar los efectos que tiene la siembra directa en el contenido de carbono orgánico del suelo (COS) y de las fracciones húmicas (FH) en la capa de 0 a 15 cm de profundidad, con respecto al manejo convencional, después de 10 años, se encontró que las mayores reservas de COS y FH correspondían al suelo no cultivado; sin diferencia estadística en el COS entre suelo no cultivado y siembra directa con aporte parcial de los residuos sobre el suelo tras ser removidos mediante el empacado. En siembra directa con aporte total de residuos de cosecha sobre el suelo, el contenido de ácidos fúlvicos fue de 70%. La siembra directa con aporte parcial de los residuos incrementó la materia orgánica del suelo en 1% respecto a la siembra convencional con quema de los residuos de cosecha, en la cual, incluso el contenido de materia orgánica disminuyó en 1.6%, con respecto al suelo no cultivado. Todos los sistemas de manejo presentaron alta densidad aparente como indicador de la compactación del suelo, por tal motivo, en ningún caso se logró restablecer una porosidad favorable (García *et al.*, 2006).

Así mismo, al cuantificar los efectos a corto plazo (2.5 años, cinco ciclos de cultivo) de sistemas de labranza de conservación con dos alternativas de manejo de los residuos de cosecha (remoción parcial de los mismos vía empacado versus retención total), así como de la labranza convencional, se determinó que los contenidos de carbono y nitrógeno en la biomasa microbiana del suelo (0-15 cm) en labranza de conservación se incrementaron de 16% a 24% y 18%, respectivamente, comparados con la labranza convencional. Los mayores cambios de ambos indicadores se encontraron en el estrato de 0-5 cm de profundidad, incrementando la calidad del suelo en labranza de conservación (Fregoso, 2008).

Por otro lado, con labranza de conservación se obtuvo un incremento de 6% en el rendimiento de maíz y una productividad del agua de 1.51 kg m⁻³, mientras que con

labranza convencional la productividad del agua fue de 1.38 kg m⁻³. Además, se logró reducir 20% los costos de producción del maíz, con respecto al sistema tradicional, en los rubros preparación del terreno, cultivo y control de malezas (efecto de la cobertura con residuos). La LC podría ser una alternativa para reducir la vulnerabilidad de los sistemas de producción agrícola a eventos extremos (sequías/heladas) y cambio climático, además de mejorar las propiedades del suelo (Sifuentes, 2018). Sin embargo, con la agricultura de conservación no siempre se obtienen resultados que mejoren la calidad física de los Vertisoles sobre todo en zonas áridas (Kong *et al.*, 2014).

3.5 Costo de oportunidad del uso de los residuos de cosecha

Uno de los principios de la agricultura de conservación es el uso del rastrojo como cobertura del suelo, sin embargo, éste se ve afectado en los sistemas agropecuarios mixtos, debido que constituyen una fuente importante para la alimentación de rumiantes, especialmente en el período de sequía, ya sea mediante el uso directo del rastrojo; o bien, cortado, picado y empacado, suministrado como suplemento en la dieta de los animales (Correa, 2008; Arellano *et al.*, 2016).

El uso de residuos de cultivos está determinado por la interacción de las preferencias de los agricultores, los niveles de producción, la demanda de biomasa y el acceso a recursos alternativos (Valbuena *et al.*, 2015).

La interacción de estos determinantes puede dar lugar a costos de oportunidad (Caballero *et al.*, 2017), entre su uso como forraje para ganado vs como cobertura del suelo en la AC, que surge según Grimble y Wellard (1997) cuando una parte interesada en particular se enfrenta a más de un objetivo de un recurso que no puede ser alcanzado de manera simultánea.

Caballero *et al.* (2017) evaluaron el costo de oportunidad del uso del rastrojo de maíz como cobertura del suelo vs alimentación para ganado en dos localidades de Chiapas, México. El costo de oportunidad del uso de residuos de maíz como alimento del ganado bovino, para ambas comunidades, fue determinado en \$914.00 para Nuevo México y en \$52.00 para Francisco I. Madero, valores que indican limitación para su uso como cobertura del suelo en el sistema de AC, principalmente en la primera localidad. También

se determinó que, a mayor tamaño del hato ganadero, mayor demanda de rastrojo como forraje y menor disponibilidad para su uso como cobertura del suelo. Por el contrario, la disponibilidad aumenta a medida que los productores poseen potreros de mayor superficie.

Beuchelt *et al.* (2015) indicaron que la retención de residuos de cultivos *in situ* influye en los márgenes brutos y que la retención de aproximadamente el 45% de los residuos maximiza los márgenes brutos en situaciones en las que existen costos de oportunidad para el uso de residuos de cultivos. La retención parcial de residuos, la introducción secuencial y la combinación de tecnologías pueden facilitar la adopción de la AC, pero la AC sigue siendo un desafío para los agricultores de escasos recursos dada su liquidez limitada, el entorno de producción riesgoso y la dificultad para renunciar a los ingresos actuales para obtener beneficios futuros.

3.6 Arreglo topológico

El rendimiento de un cultivo depende de factores incontrolables: textura, profundidad del suelo, régimen de lluvias, radiación solar, heladas, viento y controlables: genotipo, fertilización, arreglos topológicos, composición del cultivo, densidades de plantación, etc. (Turrent, 1980). Por tanto, el manejo de los factores controlables ha sido objeto de múltiples investigaciones agrícolas enfocadas en incrementar el rendimiento y calidad de los cultivos.

En un experimento que se realizó en Acayucan, Veracruz durante tres años, se evaluaron diferentes arreglos topológicos de plantas de maíz, los cuales tuvieron distancia entre surcos de 70, 80 y 90 cm y distancia entre plantas de 20, 40 y 60 cm; con una planta por punto en el caso de 20 cm y dos plantas para 40 y 60 cm. Se concluyó que el mayor rendimiento (6.3 t ha^{-1}) se obtuvo con las distancias de 70 cm entre surcos y con las distancias entre plantas de 20 y 40 cm, debido a las mayores densidades de población ($71,428 \text{ plantas ha}^{-1}$); a medida que disminuyó la densidad de población, se obtuvo menor rendimiento por hectárea. Los rendimientos más altos se explican por la mayor cantidad de plantas que en su conjunto interceptaron una mayor cantidad de luz y realizaron un uso más eficiente del agua y de nutrientes (Tinoco *et al.*, 2008).

Osuna *et al.* (2012) realizaron un experimento en Sandoval y Pabellón, Aguascalientes para evaluar el rendimiento de la variedad de frijol Pinto Saltillo, a diferentes densidades de plantas (90 mil, 145 mil y 260 mil plantas ha⁻¹) y distanciamiento entre surcos (0.76, 0.40 y 0.20 m). Se observó, que el incremento de la densidad de plantas en el intervalo de 90 mil a 260 mil plantas ha⁻¹ afectó significativamente algunos componentes del rendimiento: mayor reducción del número de vainas por planta y número de granos por vaina. Sin embargo, no afectó el rendimiento de grano. Los máximos rendimientos se obtuvieron con la siembra a tres y seis hileras, en densidades de 145 mil y 260 mil plantas ha⁻¹, respectivamente. El rendimiento aumentó 28.6% y 41% al reducir la distancia entre surcos, del distanciamiento tradicional de 0.76 m, a 0.40 y 0.20 m, respectivamente.

Algunos autores sugieren que el aumento en el rendimiento que se observó al reducir la distancia entre surcos e incrementar la densidad de plantas se debió a mayores índices de cobertura y área foliar, menor pérdida de agua por evaporación directa, mayor intercepción de la energía solar desde etapas tempranas del cultivo, menor crecimiento de malezas y al mayor número de plantas cosechadas por metro cuadrado (Alves *et al.*, 2008; Soltero *et al.*, 2010).

Por otro lado, se estableció un experimento en el Campo Experimental Valle de México (Cevamex) “El Horno” del INIFAP, para analizar el efecto del arreglo topológico del maíz y frijol negro arbustivo, la dosis de fertilización y la densidad de población en el rendimiento de grano de maíz, contenido de proteína (ProtG), P y K. Se encontró, que por efecto del arreglo topológico; el rendimiento de grano, el contenido de proteína, P y K en el grano fueron mayores en el maíz intercalado que en el cultivo simple, aún con el nivel bajo de fertilización probado. El mayor rendimiento de grano de maíz se obtuvo con el arreglo topológico 1×1, y se debió al mayor número de mazorcas por planta y de granos por hilera de la mazorca, así como al peso y tamaño del grano (Albino *et al.*, 2016).

Al respecto, se ha reportado que el cultivo intercalado de maíz con frijol maximiza los efectos de complementariedad de las especies y se incrementa el rendimiento del maíz en comparación con el monocultivo bajo condiciones similares de fertilización y riego (Li *et al.*, 2001; Malézieux *et al.*, 2009).

En el mismo experimento de Albino *et al.* (2016) se determinó la mejor dosis de fertilizante y densidad de plantación para el cultivo de maíz y frijol negro arbustivo en tres arreglos topológicos. El criterio de selección fue la mayor ganancia, eficiencia relativa de la tierra (ERT) y eficiencia relativa de la ganancia (ERG). Se concluyó que el mayor ingreso neto se presentó con los arreglos topológicos intercalados 2x2 y 1x1, en comparación de los cultivos simples. Con el arreglo topológico 2x2 la ERT fue de 1.29 y la ERG de 2.01, mientras que en el 1x1 fue de 1.27 y 1.58, respectivamente, ambas estuvieron asociadas a un rendimiento alto de grano de maíz.

3.7 Efectos de la cobertura orgánica en el suelo

Los materiales orgánicos utilizados como cobertura, pueden ser hojas, ramas, corteza de árboles, paja, estiércol y una gran variedad de otros productos generalmente derivados de los residuos vegetales de las plantas cultivadas y su descomposición depende del tipo de material y las condiciones ambientales (Zribi *et al.*, 2011).

El acolchado constituye una alternativa a los métodos tradicionales de control de malezas, ya que no produce contaminación del medio (suelo o aguas subterráneas) por productos fitosanitarios ni ocasiona problemas de erosión (Zribi, 2013). También, amortigua las fluctuaciones de temperatura del suelo, reduce la evaporación directa del agua de la superficie del suelo, mantiene una mayor humedad, favorece la estabilidad estructural y fertilidad del suelo (Zribi *et al.*, 2011).

La aplicación de acolchados aumentó significativamente la humedad del suelo en la capa superficial de 0-5 cm (Zhang *et al.*, 2008). La tasa de infiltración aumentó alrededor del 30% en comparación con el suelo desnudo (Chaudhry *et al.*, 2004) y la evaporación del suelo se redujo en promedio 0.39 mm día^{-1} (Dahiya *et al.*, 2007).

En un huerto de ciruelo cv. Methley con sistema de fertirriego, regado a diferentes tensiones de humedad en combinación con dos tipos de cobertura orgánica y suelo desnudo (testigo), se encontró que la cobertura de estiércol bovino conservó más humedad en el suelo con un ahorro de agua de 20.1%, con la cobertura de paja de maíz fue de 13.1%, comparados con el testigo sin cobertura y el grado de tensión de humedad correspondiente a 30 kPa (Eduardo, 2001).

Respecto a la temperatura, el acolchado modifica la energía que llega al suelo, el intercambio de calor, el balance de energía y el régimen térmico (Cruz, 2009). Asimismo, disminuye las fluctuaciones de temperatura del suelo, amortiguando los máximos y mínimos principalmente en los primeros 15 cm de profundidad (Leal, 2007). Esta amortiguación genera un mayor crecimiento radical, especialmente en árboles jóvenes y en zonas con veranos muy cálidos (Lalitha *et al.*, 2001).

El acolchado orgánico permite mantener la temperatura del suelo más baja en verano y más alta en invierno, en comparación con el suelo desnudo (Stinson *et al.*, 1990).

Estas bondades del acolchado conllevan a un aumento en la productividad del sistema. En el estudio de Eduardo (2001), la interacción entre tipo de cobertura y contenido de humedad tuvo un efecto positivo en el rendimiento total de fruto del ciruelo. Los mayores rendimientos y calidad de fruto de primera y segunda clase se obtuvieron con las coberturas de estiércol seco de bovino, paja de maíz picada y riego diario, mientras que el tratamiento con tensión de humedad en el suelo de 150 kPa y sin cobertura produjo el mayor número de frutos pequeños clasificados como de tercera calidad. La calidad de los frutos en cuanto al diámetro ecuatorial, peso y concentración de azúcares se mejoró con la cobertura de estiércol.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Sitio experimental

Este estudio se realizó en el Campo Experimental Centro de Chiapas (CECECH) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). El sitio experimental se localiza en las coordenadas 16° 47' 08.17" latitud norte y 93° 24' 04.06" longitud oeste y está a una altitud de 796 m y mide aproximadamente 80 m de longitud y 50 m de ancho (Figura 1).

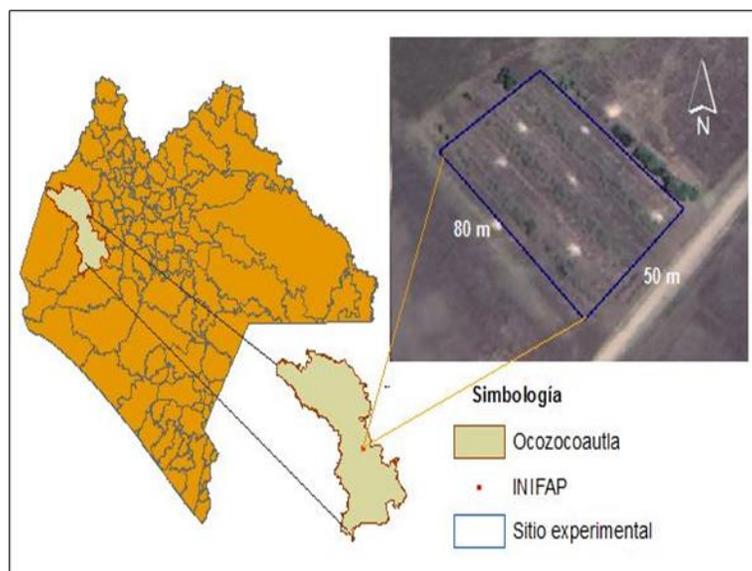


Figura 1. Localización geográfica del sitio experimental en el CECECH del INIFAP, ubicado en el municipio de Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas, México.

De acuerdo con la clasificación de Köppen, modificada por García (1984), el clima predominante es (Am) cálido húmedo con lluvias abundantes en verano. La precipitación media en el año que se realizó el experimento fue de 753 mm, siendo junio y agosto los meses más lluviosos con 167 y 158 mm, respectivamente. La temperatura mínima media anual fue de 12°C y la temperatura máxima media anual fue 30.77 °C. Durante el ciclo del cultivo la temperatura media fue 21.6°C, con una precipitación de 433 mm (Estación Meteorológica del Campo Experimental Centro de Chiapas, 2019).

El suelo se clasifica como Vertisol Pélico (Typic Haplusterts), el cual tiene un horizonte vértico de 100 cm de profundidad, con un contenido de arcilla $\geq 30\%$ entre la superficie

del suelo y el horizonte vértico en todo su espesor con grietas de expansión y contracción (WRB y ST, 2014). En este tipo de suelos la labranza se dificulta por la adhesividad cuando el suelo está húmedo y por la dureza cuando se encuentra seco (FAO, 2008).

4.2 El experimento

El experimento constó de dos subexperimentos: 1) el de maíz y frijol, y 2) el del árbol frutal guayaba.

4.2. Subexperimento de maíz y frijol

4.2.1 Factores de estudio, tratamientos y diseño experimental

Los factores estudiados fueron el arreglo topológico (AT) a tres niveles: 1x1, 2x2 y 2x2sa (surco angosto) y método de labranza (MDL) a dos niveles: labranza de conservación (LC) y labranza convencional (LCV), en combinación factorial (Cuadro 1), bajo un diseño experimental completamente al azar con dos repeticiones.

Cuadro 1. Tratamiento del sub-experimento maíz y frijol.

Tratamiento	Arreglo topológico†	Método de labranza‡
1	1x1	LCV
2	1x1	LC
3	2x2sa	LCV
4	2x2sa	LC
5	2x2	LCV
6	2x2	LC

†1x1= un surco de maíz alternado con un surco de frijol; 2x2sa= dos surcos de maíz alternados con dos surcos de frijol (surco angosto); 2x2= dos surcos de maíz alternados con dos surcos de frijol; ‡LCV= labranza convencional; LC= labranza de conservación.

Los AT 1x1 y 2x2 con ambos MDL fueron comparables entre sí, debido a que los factores controlables como fertilización y densidad de población se mantuvieron constantes. En cambio, en el AT 2x2sa además del surco angosto, la densidad de población y la fertilización fueron mayores. Por lo tanto, al comparar 1x1 y 2x2 con 2x2sa se confunden los efectos del AT con la fertilización y la densidad de población.

También se tuvieron dos tratamientos adicionales que correspondieron a los cultivos simples de maíz y de frijol, en los cuales no se consideraron repeticiones, por lo tanto, no se sometieron a análisis de varianza.

4.2.2 Descripción de los factores de estudio

4.2.2.1 Arreglo topológicos

Para los cultivos simples y los AT 1×1 y 2×2 se emplearon surcos de 0.80 m de ancho. El AT 1×1 consistió de un surco de maíz alternado con un surco de frijol, mientras que el AT 2×2 consistió de dos surcos de maíz alternados con dos surcos de frijol. El cultivo simple consistió en surcos de maíz y de frijol sin alternar.

El AT 2×2sa (surco angosto) consistió de dos surcos de maíz de 0.40 m de ancho cada uno alternados con dos surcos de frijol de 0.60 m cada uno.

4.2.2.2 Método de labranza

1) La labranza de conservación consistió en la no roturación del suelo y en dejar los residuos de cosecha en la superficie durante tres años y 2) en la labranza convencional, se preparó el suelo para la siembra con maquinaria agrícola y consistió en barbecho, rastreo del suelo y surcado. La siembra se realizó en forma manual en ambos métodos de labranza.

4.2.3 Establecimiento del experimento

Se tuvieron tres módulos MIAF que fueron divididos a la mitad de manera transversal; en los cuales se establecieron los seis tratamientos del experimento factorial 3×2. Los cultivos simples de maíz y frijol se consideraron para estimar la eficiencia relativa de la tierra (ERT) y se establecieron a un costado del tercer módulo MIAF.

Cada módulo es una franja de 40 m de largo y 14.4 m de ancho, dividida en tres sub-franjas de 4.8 m de ancho. La sub-franja central está destinada al árbol frutal (guayaba) y las dos sub-franjas flanqueadoras estuvieron destinadas para el maíz y el frijol.

En el módulo uno estuvo el tratamiento 1x1, ambas sub-franjas flanqueadoras (izquierda y derecha) tuvieron seis surcos de 0.80 m de ancho; tres surcos de maíz y tres de frijol.

En el módulo dos estuvo el tratamiento 2x2sa, la sub-franja derecha tuvo cuatro surcos de maíz de 0.40 m y seis surcos de frijol de 0.60 m de ancho cada uno y la sub-franja del lado izquierdo tuvo seis surcos de maíz y cuatro surcos de frijol; en total cada sub-franja tuvo 10 surcos.

En el módulo tres estuvo el tratamiento 2x2, la sub-franja derecha tuvo dos surcos de maíz y cuatro surcos de frijol y la sub-franja izquierda tuvo cuatro surcos de maíz y dos surcos de frijol; en total cada sub-franja tuvo seis surcos de 0.80 m de ancho (Figura 2).

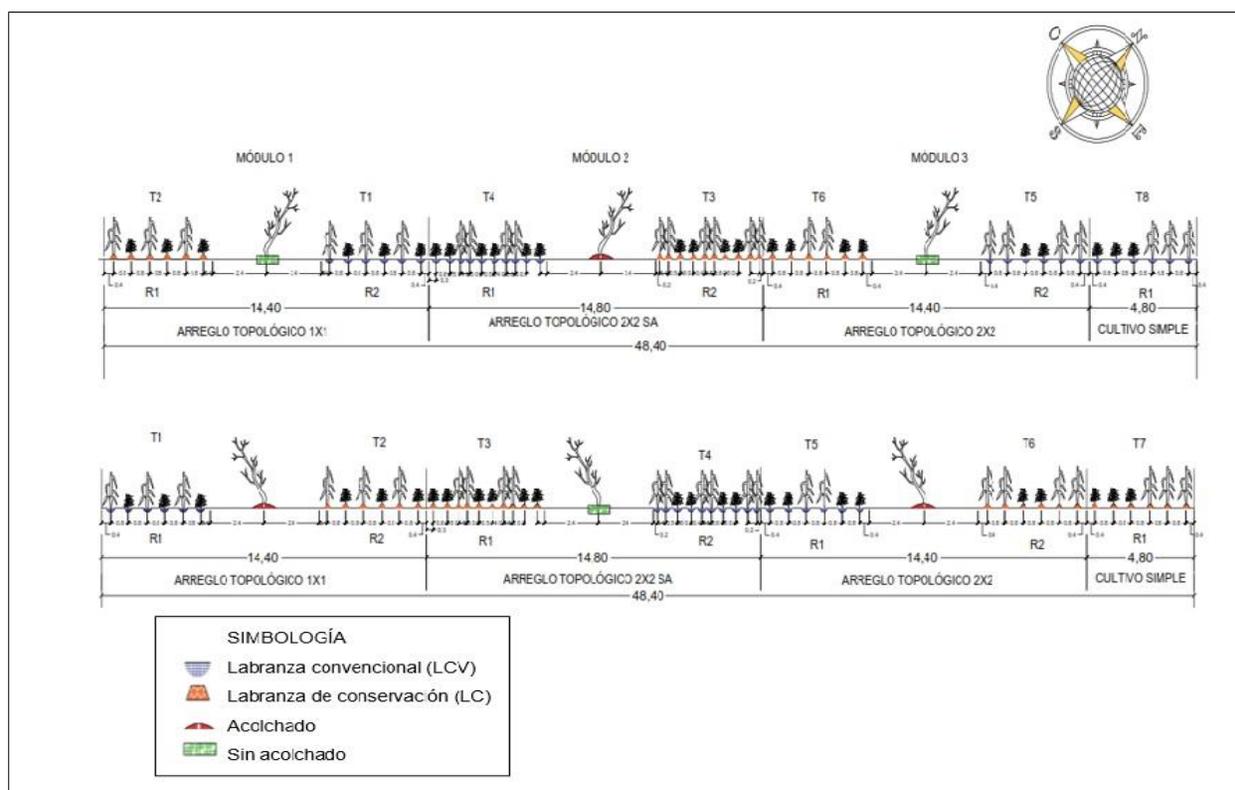


Figura 2. Vista frontal del croquis del sitio experimental.

Las unidades experimentales midieron 4.8 m de ancho x 20 m de largo. Para los tratamientos 1x1 LCV, 1x1 LC, 2x2 LCV y 2x2 LC, fue de seis surcos, mientras que para los tratamientos 2x2sa LC y 2x2sa LCV fue de 10 surcos y para los cultivos simples LCV y LC de seis surcos (Figura 2).

La parcela útil de los seis tratamientos midió 18 m de longitud y se conformó de cuatro surcos: dos surcos de maíz y dos de frijol; mientras que en cultivos simples fue el surco central.

4.2.3.1 Siembra del maíz

La siembra se realizó cuando las lluvias ya se habían establecido con normalidad el 05 de agosto del año 2019, usando dos densidades de población. En los tratamientos 1x1 LCV, 1x1 LC, 2x2 LCV y 2x2 LC fue de 23 333 plantas 0.33 ha^{-1} y en 2x2sa LCV y 2x2sa LC de 56 667 plantas 0.33 ha^{-1} . Con la primera densidad de población, la siembra se realizó en surcos de 80 cm de ancho y 18 cm entre plantas y con la segunda en surcos de 40 cm de ancho y 15 cm entre plantas.

4.2.3.2 Siembra del frijol

La siembra se realizó de manera simultánea con el maíz, con una densidad de 83 333 plantas 0.33 ha^{-1} en 1x1 LCV, 1x1 LC, 2x2 LCV y 2x2 LC y de 111 111 plantas 0.33 ha^{-1} en 2x2sa LCV y 2x2sa LC. Con la primera densidad de población, la siembra se realizó en surcos de 80 cm de ancho y con la segunda en surcos de 60 cm de ancho. Se sembraron tres semillas por postura con una distancia de 15 cm.

4.2.4 Materiales genéticos

4.2.4.1 Maíz

Se utilizó el híbrido de cruza simple H-383 de grano blanco formado por la combinación de las líneas progenitoras PAB7 y PAB8, obtenido en el campo Experimental Pabellón (CEPAB) del INIFAP. Es una cruza sobresaliente por rendimiento de grano y forraje, estabilidad de producción y sanidad de planta y mazorca.

El híbrido tiene una altura de 2.8 a 3.2 m, hojas curvadas de color verde oscuro, espiga abierta con 12 a 14 ramas primarias y estigmas de color vino claro. La mazorca es cilíndrica de 20 a 25 cm de longitud y de 5.1 a 6 cm de diámetro, con 16 hileras en promedio, de 41 a 50 granos por hilera y granos de color blanco de textura semidentada.

La floración masculina ocurre entre los 84 y 87 días y la madurez fisiológica entre los 150 a 160 días después de la siembra (Peña *et al.*, 2017).

4.2.4.2 Frijol

Se utilizó semilla de la variedad Verdín, generada en el Campo Experimental Cotaxtla del INIFAP. Esta variedad es tolerante a la sequía al final de la etapa reproductiva (terminal), tiene alto potencial de rendimiento, se adapta a las áreas tropicales y subtropicales de los estados de Veracruz y Chiapas, así como a regiones similares del sureste de México (Tosquy *et al.*, 2014).

Las plantas son de hábito de crecimiento indeterminado, arbustivas y erectas tipo II (Singh, 1982), con guías medianas y una altura del dosel de alrededor de 59 centímetros. Sus flores son de color violeta, vainas amarillas en la madurez fisiológica y su grano es negro, opaco y pequeño. Una de las características más sobresalientes de esta variedad es su precocidad, pues en áreas tropicales y subtropicales, su floración ocurre entre los 34 y 37 días y llega a la madurez fisiológica entre los 67 y 70 días después de la siembra, lo cual le permite disminuir riesgos de pérdida de rendimiento por la ocurrencia de periodos de sequía terminal, que comúnmente se presentan en las siembras con humedad residual. Otra cualidad que destaca en esta variedad, es su tolerancia a las enfermedades de antracnosis y virus del mosaico amarillo dorado del frijol, que inciden en las áreas frijoleras de los estados de Veracruz y Chiapas (Tosquy *et al.*, 2016).

4.2.5 Manejo del experimento

4.2.5.1 Fertilización del maíz y frijol

Para la fertilización del maíz en los tratamientos 2x2sa LCV y 2x2sa LC se utilizó la fórmula NPK 77-17-33 y 38-8-17 en los tratamientos 1x1 LCV, 1x1 LC, 2x2 LCV y 2x2 LC. Mientras que para el frijol se usó la fórmula NPK 18-18-18 en 2x2sa LCV y 2x2sa LC y 13-13-13 en 1x1 LCV, 1x1 LC, 2x2 LCV y 2x2 LC.

En el maíz se aplicó toda la dosis de fósforo y potasio en la siembra y la dosis de nitrógeno se fraccionó en tres aplicaciones; la primera aplicación se realizó en la siembra, la segunda en etapa V5 y la última en etapa V11.

En el frijol se aplicó todo el nitrógeno, fósforo y potasio en la siembra. Para ambas especies las fuentes de fertilizantes fueron urea, fosfato diamónico y cloruro de potasio.

4.2.5.2 Control de malezas

En maíz, en los tratamientos con labranza convencional se aplicó el herbicida pre-emergente Primagram® Gold (atrazina y s-metolaclor) a dosis de 2 L 0.3 ha⁻¹ y para el control post-emergente se aplicó el herbicida Gramoxone® SL (paraquat) a dosis de 1 L 0.3 ha⁻¹. En los tratamientos con labranza de conservación se aplicó glifosato a dosis de 1.5 L y paraquat a dosis de 1 L 0.3 ha⁻¹.

En frijol, en los tratamientos con labranza convencional se aplicó el herbicida pre-emergente acetoclor a dosis de 0.5 L 0.3 ha⁻¹ y para el control post-emergente se aplicó paraquat a dosis de 2 L 0.3 ha⁻¹. En los tratamientos con labranza de conservación se aplicó glifosato a dosis de 1.5 L y paraquat a dosis de 2 L 0.3 ha⁻¹.

4.2.5.3 Control de plagas

Se realizó control de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) y gusano trozador (*Agrotis ipsilon*) en sus primeros instares larvales en maíz, con la aplicación de Clorpirifos etil a dosis de 1 L 0.3 ha⁻¹.

También se realizó control de diabroticas (*Diabrotica spp.*), conchuela (*Epilachna varivestis*) y mosca blanca *Bemisia tabaci* (Gennadius) en frijol, con la aplicación de metamidofos a dosis de 0.75 L 0.3 ha⁻¹ cuando era necesario. Las aplicaciones realizadas al maíz también fueron efectivas en la disminución de insectos plagas del frijol.

4.2.6 Variables evaluadas

4.2.6.1 Índice de área foliar y área foliar específica en maíz y frijol

Para la medición del área foliar; en cada parcela útil se eligieron al azar cuatro plantas de frijol en la etapa de llenado de vainas (Medina *et al.*, 2003), y cuatro plantas de maíz en la etapa de floración (Tinoco *et al.*, 2008).

Se obtuvieron todas las hojas de cada planta, se colocaron en papel periódico y posteriormente en una prensa botánica para trasladarlas al laboratorio, en donde se determinó el área foliar mediante un medidor de área LI-3100C (LI-COR® Biosciences, Lincoln, NE, EE.UU.)

El índice de área foliar se estimó según Escalante y Kohashi (1993), mediante la siguiente ecuación:

$$IAF = \frac{AF \times DP}{10000 \text{ cm}^2}$$

Donde;

IAF = índice de área foliar, AF = área foliar por planta (cm²) y DP = Densidad de población (plantas m⁻²).

El área foliar específica es la relación entre el área foliar y el peso seco de la hoja. Se utiliza para conocer la cantidad de tejido vegetal empleado para la fotosíntesis por unidad de tejido foliar. Se estimó de acuerdo con Radford (1967) y Hunt (1978):

$$AFE = \frac{AF}{PSAF \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}}$$

Donde;

AF= área foliar y PSAF= peso seco del área foliar.

El peso de biomasa se determinó secando las muestras en un horno (Heraeus® modelo EU55) a 70 °C por 72 horas y se pesaron en una balanza analítica (A&D Weighing® modelo HF-2000G, EE. UU.).

4.2.6.2 Radiación fotosintéticamente activa en maíz

En cada parcela útil se midió la RFA con un Ceptómetro AccuPar LP 80 (Decagon Devices, Inc. EE. UU.), el cual consiste en una sonda que contiene 80 sensores independientes espaciados a cada centímetro, que miden la densidad de flujo de fotones fotosintéticos (DFFF) (μmol m⁻² s⁻¹) con una resolución de un μmol m⁻² s⁻¹ (Camas, 2011).

Las mediciones se realizaron a los 84 días después de la siembra, para lo cual se ubicó en el centro de la hilera de maíz la parte media del ceptómetro.

La medición se realizó en la parte alta, media y baja de la planta procurando no perturbar la disposición natural de las hojas y tallos del dosel y cuidando que no se provocara sombreado al operar el equipo (Camas, 2011; Albino *et al.*, 2015). En cada parcela útil de todos los tratamientos se hicieron cuatro mediciones al centro de la hilera.

La medición se llevó a cabo el 29 de octubre del 2019 iniciando a las 10:00 am y finalizando a las 14:00 h, debido a las condiciones del tiempo y nubosidad de manera intermitente.

Para el cálculo de RFA interceptada se consideró la RFA incidente (I) en el dosel (R_1), en la parte media (R_2) y a nivel del suelo (R_3), lo cual permitió obtener el porcentaje mediante la siguiente relación: $RFAI = (R_2/R_1 \text{ o } R_3/R_1) \times 100$ (Camas, 2011).

El valor de la RFA transmitida al suelo considera a la radiación directa y difusa, que no fue interceptada por el dosel de la planta (Albino *et al.*, 2015).

4.2.6.3 Rendimiento de grano

Para la estimación del rendimiento, en cada parcela útil de los tratamientos 1x1 LCV, 1x1 LC, 2x2 LCV y 2x2 LC, se hicieron seis muestreos a lo largo de los surcos en tramos de cinco metros lineales, mientras que en los tratamientos 2x2sa LCV y 2x2sa LC se hicieron 10 muestreos y en el cultivo simple tres muestreos.

La evaluación consistió en obtener el número de plantas totales, plantas estériles y de mazorcas. Posteriormente, se pesaron las mazorcas y el grano por separado usando una báscula digital colgante (modelo B40, Modavela®). Con el dato obtenido del peso de mazorcas y granos se calculó el factor de desgranado. La humedad del grano se midió con un medidor de humedad (modelo SW5300 John Deere®, EE. UU.). El rendimiento de grano con 14% de humedad se estimó para la superficie ocupada por el maíz en el sistema que fue de 0.33 ha.

Con los datos obtenidos se realizó el cálculo del rendimiento (kg 0.33 ha⁻¹) con la siguiente fórmula empleada por Pérez (2001), citado por Borroel *et al.* (2018).

$$R = X (100 - \text{PHG}) / 86 \times \text{FDG} \times (666.66 / D)$$

Donde;

R = rendimiento de grano (kg 0.33 ha⁻¹) estandarizado al 14% de humedad, X = peso del total de mazorcas (kg), PHG = % de humedad del grano al momento de pesar las mazorcas, 86 = factor para estandarizar el rendimiento al 14% de humedad, FDG = factor de desgranado (peso de grano/peso de mazorcas), 666.66 m = 3,3333 m²/5 m lineales de muestreo y D = ancho del surco.

4.2.6.4 Rendimiento de rastrojo de maíz

Para la estimación del rendimiento de rastrojo de maíz (MS) se consideraron 5 m lineales por muestra. Se eligieron surcos en los que se evaluó el rendimiento de grano y en cada parcela útil se hicieron dos muestreos. El material cosechado consistió en tallo, vaina, hojas, brácteas y panícula.

Se colocó una lona de plástico a un costado del surco a evaluar y se cortaron las plantas a ras de suelo, se recogió el material vegetal que ya se había desprendido y se encontraba en el suelo. Después de recoger y reunir todo el material se pesó con una báscula digital colgante (modelo B40, Modavela®). Por cada muestreo se tomaron aproximadamente 0.5 kg de rastrojo y se secaron en estufa a 70 °C por 72 horas hasta peso constante.

El porcentaje de materia seca del rastrojo (MS%) se expresó como:

$$\text{ms (\%)} = \left(\frac{\text{peso seco}}{\text{peso fresco}} \right) \times 100$$

Con los datos obtenidos se realizó el cálculo del rendimiento (kg 0.33 ha⁻¹) con la siguiente fórmula:

$$R = X \left(\frac{666.6}{D} \right)$$

Donde;

R = rendimiento de rastrojo (kg 0.33 ha⁻¹) en peso seco, X = kg de rastrojo en área muestreada, 666.6 m = 3333.33 m²/5 m lineales de muestreo, D = ancho del surco.

4.2.6.5 Rendimiento de frijol

El rendimiento de frijol se estimó cuando las plantas se encontraban en madurez de cosecha. En cada parcela útil se hicieron muestreos a lo largo de los surcos en tramos de tres metros lineales.

El peso seco fue estimado después de someter el grano a 70° C en una estufa con aire forzado durante 72 h hasta peso constante y finalmente se pesó con una balanza portátil (modelo Scout Pro SP-6000, OHAUS®, EE. UU.) con precisión de 1 g.

La determinación de humedad del grano se realizó de la siguiente manera:

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \left(\frac{\text{PI}-\text{PF}}{\text{PI}} \right) \times 100$$

Donde;

PI = peso de la muestra antes del secado y PF = peso de la muestra después del secado (INTA, 2017).

El rendimiento de grano fue estandarizado con un porcentaje de humedad del 14%, ya que en el campo el secado de los granos no fue uniforme. Para lo cual se usó la siguiente fórmula:

R = rendimiento de grano estandarizado al 14% de humedad (H).

$$\text{PGC} = \left(\frac{100 - \% \text{ H inicial}}{100 - 14\% \text{ H}} \right) \times \text{PIG}$$

Donde;

PGC = Peso total de grano corregido al 14% de humedad, % H inicial = Porcentaje de humedad inicial de grano y PIG = Peso inicial de grano en área muestreada.

El rendimiento de grano con 14% de humedad se estimó para la superficie ocupada por el frijol en el sistema que fue de 0.33 ha (Warnock *et al.*, 2006).

$$R = (\text{kg de frijol en área muestreada} \times 3333.3 \text{ m}^2) / \text{área muestreada (m}^2)$$

4.2.6.6 Eficiencia relativa de la tierra (ERT)

La ERT es el área total requerida en cultivo simple para alcanzar los rendimientos obtenidos en policultivo (Albino *et al.*, 2015).

La ERT de los tratamientos se calculó con la siguiente ecuación (Malézieux *et al.*, 2009).

$$ERT = \frac{\text{Rendimiento de frijol intercalado}}{\text{Rendimiento de frijol en monocultivo}} + \frac{\text{Rendimiento de maíz intercalado}}{\text{Rendimiento de maíz en monocultivo}}$$

Una ERT mayor a uno significa que el cultivo intercalado es mejor que el cultivo simple. Mientras más alto sea el valor de ERT el cultivo será más ventajoso (Albino *et al.*, 2015).

4.2.6.7 Análisis del costo de oportunidad del uso de los residuos de cosecha

Se evaluó el costo de oportunidad del uso del rastrojo de maíz como cobertura del suelo versus alimentación para el ganado de acuerdo a la metodología usado por Caballero *et al.* (2017).

Para estimar el costo de oportunidad de los usos competitivos, se determinó el rendimiento (kg 0.33 ha⁻¹) de los residuos de cosecha de maíz en todos los tratamientos. Adicionalmente, se estableció un consumo de materia seca (ms) por animal de 3.0% de su peso vivo por día (NRC, 1984). Para ello se usó el equivalente de una unidad animal (UA); animal con peso promedio de 450 kg (INIFAP, 2011). Por lo tanto, el consumo de ms día⁻¹ de una UA fue de 13.5 kg. Con esta información se estimó el periodo que podría mantener el rastrojo de maíz existente a un hato ganadero con cada tratamiento. Asimismo, tomando como referencia que en Ocozocoautla el precio promedio de venta de pastura por UA es de \$170.00 por mes, se calculó el ingreso económico que podría obtener cada productor con las cantidades de rastrojo producidas.

Por otra parte, para determinar la cantidad de N, P, K que aporta el rastrojo de maíz en el suelo se consideraron datos generados por Castellanos *et al.* (2019), quienes consideran que una cosecha de maíz con un rendimiento de 15 t ha⁻¹ genera residuos que contienen 120 kg de N, 25 kg de P₂O₅ y 350 kg de K₂O. Por lo cual se consideró un aporte de 8, 1.67, 23.3 kg ha⁻¹, respectivamente, por tonelada de rastrojo producido.

Para estimar el total de N, P, K incorporado al suelo con la retención del rastrojo de maíz, estas cantidades se multiplicaron con la cantidad de rastrojo producido (t ha⁻¹), en los distintos tratamientos.

Posteriormente, considerando los fertilizantes químicos existentes en el mercado local: urea (46-00-00), fosfato diamónico (18-46-00) y cloruro de potasio (00-00-60), se calcularon los kilogramos de N, P, K, que se podrían liberar en el suelo, con las cantidades de rastrojo existentes en cada tratamiento, multiplicando por los precios de estos fertilizantes, obtenidos del SNIIM (2019) en la primera quincena de agosto del mismo año (Cuadro 2).

Cuadro 2. Composición y costo de los fertilizantes.

Fuente	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Precio del kg de fertilizante
		(%)		(\$)
Urea	46	0	0	8.0
Fosfato diamónico	18	46	0	14.0
Cloruro de potasio	0	0	60	10.5

Fuente: SNIIM, 2019.

4.2.6.8 Determinación de las propiedades físicas y químicas del suelo

Para el análisis de las propiedades físicas y químicas del suelo, se tomaron muestras representativas de la parcela útil.

Muestreo del suelo

En cada parcela útil de los cultivos anuales se obtuvo una muestra de suelo compuesta de 15 submuestras a una profundidad de 0 a 20 cm de acuerdo a Hauser (1980). De esta

manera, se obtuvieron en total 14 muestras compuestas de un kg cada una (Sosa, 2012), las cuales se secaron al aire y a la sombra previo al traslado, para evitar que ocurrieran cambios químicos por la humedad cuando se encontraran dentro de la bolsa (SEMARNAT, 2002). Las muestras se procesaron de acuerdo a la metodología de James y Wells (1990). Después de secarlas y tamizar se almacenaron hasta el análisis, en el laboratorio.

Determinación de propiedades físicas

Las determinaciones fueron: textura por el método de la pipeta (Gee y Bauder, 1986), densidad aparente por el método de la parafina (Sparks, 1996), densidad real se dejó como constante con un valor de 2.65 g cm^{-3} . La porosidad se obtuvo relacionando la densidad real y la densidad aparente del suelo (Gandoy, 1992). La determinación de color se realizó en seco y húmedo mediante el Sistema de Notación Munsell.

Determinaciones de propiedades químicas

Las determinaciones fueron: materia orgánica por el método de Walkley y Black (1934), pH relación suelo/agua 1:2 por el método electrométrico (Bates, 1965), carbonato de calcio equivalente por el método de Horton y Newson (SEMARNAT, 2002), cationes intercambiables (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+) por extracción con acetato de amonio 1N pH 7 en un equipo de vacío centurión; los cationes se cuantificaron por absorción y emisión atómica (McKean, 1993). El nitrógeno total se determinó por el método Kjeldahl. El fósforo extraíble por el método Olsen (extracción con bicarbonato de sodio 0.5 M a pH 8.5 y determinación con ácido ascórbico diluido con molibdato de amonio en ácido sulfúrico (Watanabe y Olsen, 1965).

La interpretación de los análisis de nutrientes en el suelo se realizó de acuerdo con lo propuesto por Castellanos *et al.* (2019).

4.3 Subexperimento de guayaba

Este subexperimento se llevó a cabo en el año 2020 en árboles de guayaba para establecidos aproximadamente en el año de 1998. A estos árboles se les dejó de fertilizar

a partir del año 2010, y a partir del año 2016 el acolchado orgánico se ha estado aplicando a la mitad de los árboles en cada hilera de manera alterna.

4.3.1 Factor de estudio, tratamientos y diseño experimental

Aquí se estudió el factor acolchado a dos niveles; con y sin acolchado en un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones (Figura 2). La unidad experimental fue de seis árboles de guayaba con vigor similar, libres de plagas y enfermedades.

El suelo se ha mantenido con acolchado orgánico durante cuatro años. Esto ha consistido en dejar los residuos vegetales, provenientes del mismo árbol (residuos de podas, ramas secas, frutos) y de residuos de cosecha del cultivo de maíz y frijol sobre la superficie del suelo (Figura 3).



Figura 3. Árboles de guayaba con (A) y sin (B) acolchado orgánico sobre la superficie del suelo.

4.3.2 Material genético

El árbol de guayaba usado fue de la variedad comúnmente conocida como guayaba pera (*Psidium guajava* cv.). Esta variedad ha sido propagada por semilla en viveros del centro del estado de Chiapas. El fruto es bastante atractivo, adquiere forma piriforme de donde

obtuvo el nombre de “Pera”. Además, posee bajo contenido de semillas, alto porcentaje de pulpa de color blanco firme, es de sabor agradable y alcanza un peso entre los 130 y 160 g, con alto contenido de Vitamina C y sólidos solubles. Se ha observado que, aunque hay floraciones esporádicas en el mes de junio, la principal es en octubre y la cosecha en el mes de enero (Camas, 2011).

4.3.3 Densidad de población

Los árboles están plantados en hileras con una separación de 14.40 m y a una distancia entre árboles en la hilera de 1 m. Por lo tanto, cada árbol ocupa 14.40 m² y la densidad de plantación es de 695 árboles ha⁻¹ MIAF.

4.3.4. Manejo

4.3.4.1 Poda de los árboles

La conducción y poda de los árboles fue con el sistema Tatura modificado. El cual consistió en dejar una rama principal por árbol, con orientación opuesta a la hilera, con una inclinación de 30° aproximadamente con respecto al tronco del árbol. La rama del árbol contiguo se orienta en sentido opuesto al árbol anterior, y así sucesivamente.

4.3.4.2 Fertilización

La última fertilización que se realizó fue en el año 2009; la cual consistió en fertilización orgánica (pollinaza) e inorgánica (NPK), y del año 2010 a 2020 los árboles no fueron fertilizados.

4.3.4.3 Control de malezas y plagas

El control de las malezas se realizó mediante dos aplicaciones de herbicida (Diurón) a dosis de 1 L 0.3 ha⁻¹. El control preventivo de plagas como chinches, conchuelas y picudo se realizó mediante aplicaciones de (Clorpirifos) y (Metamidofos) a dosis de 3 L y 0.5 L 0.3 ha⁻¹, respectivamente.

4.3.5 Variables evaluadas

4.3.5.1 Rendimiento de fruto

Para obtener el rendimiento de fruto, a los seis árboles seleccionados se les cosechó y pesó los frutos cuando ya habían cambiado de verde a amarillo y se encontraban firmes, con intervalos de cosecha de tres a cuatro días (Mata y Rodríguez, 2005). La cosecha se realizó del 26/02/2020 al 01/04/2020.

El rendimiento obtenido se estimó a 695 árboles que componen una hectárea MIAF. Los resultados se expresaron en toneladas por hectárea MIAF (Camas *et al.*, 2011).

4.3.5.2 Calidad del fruto

Se seleccionaron tres árboles, de cada árbol se utilizaron 25 frutos que estaban en madurez de cosecha, sin daños mecánicos, ni plagas.

Las variables de calidad del fruto fueron las siguientes: peso del fruto (g), diámetro polar y ecuatorial (mm), °Brix o sólidos solubles (%), firmeza (kg), materia seca (%) y color (Gutiérrez, 2013).

El peso de fruto (g) se determinó mediante una báscula digital, (Silverline[®], China) con precisión de 1 g.

El diámetro polar y ecuatorial del fruto (mm) se obtuvo con un vernier digital (modelo 122200, Surtek[®], México).

Los sólidos solubles totales (°Brix) se determinaron en una mezcla de pulpa con un refractómetro digital portátil (modelo PAL-3, ATAGO[®], Japón), el cual utiliza un rango de medición Brix de 0.0 a 93.0%.

La firmeza se determinó con un penetrómetro analógico (modelo FT 327, TR[®], Italia) con punta pequeña.

Para determinar la materia seca, los frutos se partieron, se colocaron en charolas de aluminio y se secaron en estufa a 70 °C por 96 horas hasta peso constante. El porcentaje de materia seca del fruto se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$ms (\%) = \left(\frac{\text{peso seco}}{\text{peso fresco}} \right) \times 100$$

El color de los frutos se determinó mediante una carta de colores R.H.S.

4.3.5.3 Propiedades físicas y químicas del suelo

Muestreo del suelo

De acuerdo a Jones (2012), las muestras de suelo se obtuvieron de manera simultánea al muestro foliar de árboles de guayaba para el análisis nutrimental.

En cada hilera de árboles las muestras de suelo se obtuvieron del área donde se encontraban los cuatro árboles seleccionados para análisis foliar y se formó una muestra compuesta para cada profundidad (0-30 y 30-60 cm), con las cuales se obtuvieron seis muestras compuestas por cada repetición (Shigeura *et al.* 1997; SEMARNAT, 2002), usando una barrena para tal fin (Read y Warder, 1973).

Propiedades físicas

Las determinaciones físicas fueron las mismas que se hicieron en las muestras de suelo de los cultivos anuales: textura, densidad aparente, densidad real, porosidad y color.

Propiedades químicas

Las determinaciones químicas que se llevaron a cabo fueron: materia orgánica, pH, carbonato de calcio, cationes intercambiables, nitrógeno total, fósforo extraíble, de acuerdo a la metodología descrita anteriormente. Los micronutrientes (Fe, Cu, Zn, Mn) se extrajeron con DTPA 0.005 M a pH 7.3 y determinaron por espectrofotometría de absorción atómica (Lindsay y Norvell, 1978).

4.3.5.4 Determinación del estatus nutrimental del árbol de guayaba

Muestro foliar

Se seleccionaron cuatro árboles para formar una muestra compuesta. El muestreo foliar se llevó a cabo cuando los árboles estaban en la fase de 25 a 50 % de floración. Las hojas se colectaron de cuatro ramas (dos ramas por cada lado en sentido opuesto); que

se encontraban a una altura media del árbol. En cada rama se tomaron hojas recientemente maduras del tercer y cuarto par, contados a partir del ápice (Volke *et al.*, 2017). Se tomaron cuatro pares de la parte interna y cuatro de la parte externa de la rama; con ello se obtuvieron 16 hojas por árbol y 64 hojas por muestra compuesta (Natale *et al.*, 2002).

Las muestras se colocaron en bolsas de plástico previamente etiquetadas y se colocaron en hieleras para mantenerlas bajo una condición de enfriamiento hasta que llegaron al laboratorio (Téliz y Mora, 2007).

Preparación de las muestras

En el laboratorio las hojas se lavaron con agua corriente, luego se pasaron por una solución de HCl al 2%, posteriormente se hicieron tres enjuagues, dos con agua destilada y el último con agua desionizada (Young, 1976).

Posterior al lavado se colocaron en un recipiente limpio, se dejaron escurrir y secar. Enseguida se colocaron en bolsas limpias de papel, previamente perforadas e identificadas para secarlas en una estufa con ventilación forzada a una temperatura de 70° C durante 72 horas.

Finalmente, las hojas se molieron en un molino de acero inoxidable con malla No. 40 y se colocaron en sobres de papel para su análisis posterior (Salazar y Lascano, 1999).

Análisis foliar

Las determinaciones de nitrógeno total se hicieron con el método de Kjeldahl. En el análisis de P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn la solubilización de los elementos se realizó por digestión húmeda con ácido nítrico y ácido perclórico; la cuantificación de fósforo fue por colorimetría con el uso de la mezcla vanadomolibdica y la cuantificación de cationes y micronutrientes fue mediante absorción y emisión atómica (McKean, 1993).

Interpretación del análisis foliar

Para la interpretación del análisis foliar se utilizaron los intervalos de suficiencia nutrimental para el guayabo reportados por Dupleis *et al.* (1973) citado por Guerra y

Bautista (2002), Kotur *et al.* (1997) citado por Singh (2007) y Natale *et al.* (2002). Debido a que no se disponen de estudios específicos para la guayaba 'Pera' (*Psidium guajava* cv), se usaron intervalos de suficiencia generados para otras variedades.

4.3.3.5 Análisis económico

Se realizó un análisis económico a la variable de rendimiento de fruto, grano de maíz y frijol, considerando el costo total, ingreso total, ingreso neto y tasa de retorno expresados en pesos mexicanos con los precios de insumos y mano de obra del año 2019.

Para determinar el ingreso neto del sistema MIAF, se utilizó la siguiente relación (Volke, 1982, citado por Rojas *et al.*, 2017):

$$IN = Y \cdot P_y - (\sum X_i P_i + P_2)$$

Dónde:

IN = ingreso neto,

Y = rendimiento (kg 0.3 ha⁻¹),

P_y = precio del grano y fruto (pesos kg⁻¹),

$\sum X_i P_i$ = suma de costos variables (pesos 0.3 ha⁻¹),

P₂ = costos fijos (pesos 0.3 ha⁻¹).

Costo fijo (CF): incluye manejo del cultivo, manejo de plagas y enfermedades, manejo de maleza, mano de obra, transporte, cosecha.

Costo variable (CV): precio, cantidad de semilla y fertilizante.

Costo total (CT): costo fijo + costo variable

Ingreso total (IT): rendimiento por el precio de kg de grano de frijol (\$20.0), maíz (\$ 5.6) y guayaba (\$6.5).

Ingreso neto (IN): Ingreso total - costo total

Tasa de retorno (TR): IN/CT

4.4 Análisis estadístico

Los datos se analizaron con el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS) Version 9.0 (SAS Institute Inc., 2010). Se partió de la verificación de los supuestos necesarios para realizar un análisis de varianza (ANOVA); para ello se utilizó la prueba descrita por Shapiro-Wilk ($\alpha=0.05$) para determinar normalidad y la prueba de Levene ($\alpha=0.05$) para comprobar la homogeneidad de varianzas (estadística paramétrica). Al cumplir con lo anterior, a todas las variables medidas se les realizó un ANOVA y cuando se encontró diferencia significativa, se realizó comparación de medias a través de la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Subexperimento de maíz y frijol

5.1.1 Propiedades físicas y químicas del suelo

El suelo tuvo un contenido de arena, limo y arcilla de 27, 30 y 43 %, respectivamente, el cual corresponde a la clase textural arcillosa (USDA, 2014). Palma y Triano (2007) indican que el mayor contenido de arcilla le confiere al suelo una capacidad alta de retención de agua. Por lo general, los suelos arcillosos se anegan en la época de lluvia debido al drenaje lento y en la época de seca son duros y con grietas profundas.

El color del suelo seco fue gris negro (10YR 3/1) y húmedo fue negro (10YR 2/1), de acuerdo a la tabla de Munsell (FAO, 2009). El color se atribuye a los fuertes complejos de arcilla-orgánicos más que al contenido de carbono orgánico (Singh, 1956).

Estos resultados coinciden con los de Sotelo *et al.* (2013) quienes reportaron en su investigación que uno de los perfiles estudiados correspondió a un Vertisol ya que mostró >30% de arcilla y grietas que se abren y cierran en la época seca y húmeda, respectivamente. El color varió según la profundidad, en el horizonte Ap (0-15 cm) fue (10YR 4/1) seco y (10YR 2/1) húmedo.

En este tipo de suelo el anegamiento es una desventaja ya que suelos con buen drenaje y aireación son fundamentales para un desarrollo adecuado de las plantas de maíz y frijol y a la vez un buen rendimiento del cultivo.

Por otro lado, las propiedades físicas y químicas del suelo no presentaron diferencias estadísticas significativas (Cuadro 3).

Cuadro 3. Análisis de varianza de las propiedades físicas y químicas del suelo de acuerdo al arreglo topológico y al método de labranza.

Fuente de variación	Da†	Pt‡	CaCO ₃ §	MO¶	pH
Arreglo topológico (AT)	NS	NS	NS	NS	NS
Método de labranza (MDL)	NS	NS	NS	NS	NS
AT x MDL	NS	NS	NS	NS	NS

Fuente de variación	Da [†]	Pt [‡]	CaCO ₃ [§]	MO [¶]	pH
C.V. (%)	2.1	3.4	11.4	10.6	2.8
Media	1.7	36.9	0.3	2.7	7.7

C.V.= coeficiente de variación. NS= no significativo ($p > 0.05$); [†]Da= densidad aparente; [‡]Pt= porosidad total; [§]CaCO₃= carbonato de calcio; [¶]MO= materia orgánica.

El suelo tuvo Da alta y porosidad baja, con un contenido bajo de CaCO₃, moderadamente alto de MO y pH moderadamente alcalino (Ahmad 1983; SEMARNAT, 2002; Castellanos, 2019) (Cuadro 4).

Cuadro 4. Resultados de las propiedades físicas y químicas del suelo de acuerdo al arreglo topológico y al método de labranza.

Tratamiento		Da [§]	Pt [¶]	CaCO ₃ ^{††}	MO ^{‡‡}	pH ^{¶¶}
Arreglo topológico	Método de labranza	(g cm ⁻³)		(%)		
1x1	LCV	1.66	37.37	0.36	3.20	7.9
1x1	LC	1.68	36.46	0.12	2.53	7.7
2x2sa	LCV	1.65	37.73	Trazas	2.47	7.7
2x2sa	LC	1.67	36.84	0.17	2.53	7.9
2x2	LCV	1.68	36.61	0.58	2.53	7.6
2x2	LC	1.69	36.26	0.71	2.53	7.6

[§]Da= densidad aparente; [¶]Pt= porosidad total; ^{††}CaCO₃= carbonato de calcio; ^{‡‡}MO= materia orgánica; ^{¶¶}pH= reacción del suelo.

Vaca *et al.* (2014) indican que el suelo no presenta cambios significativos en la Da por efecto del MDL en un ciclo corto de tres años, lo que explica que la Da del suelo manejado con LC haya sido similar al del suelo manejado con LCV.

Así mismo, la Da de los Vertisoles está determinada en gran parte por la presencia de la montmorillonita y depende si la muestra se toma durante el ciclo húmedo o seco (lo que afecta el grado de contracción o de expansión de la masa del suelo), así como del tamaño de la muestra (lo que permite o no incluir cierto número de grietas) (Ahmad, 1983).

La Da de un Vertisol puede variar de aproximadamente 1 a 2 g cm⁻³ dependiendo del contenido de humedad; si están en estado de contracción (secos) presentan Da alta y cuando están en estado de expansión (húmedos) presentan Da baja (Virmani *et al.*,1982). En muestras pequeñas la Da oscila entre 1.3 y 2.0 g cm⁻³ (Ahmad 1983). Esto último explica los resultados, ya que se utilizaron terrones pequeños para determinar la Da del suelo.

Los resultados concuerdan con los de Ramírez *et al.* (2006) quienes reportaron en un Vertisol una Da de 1.59 g cm⁻³ bajo labranza cero durante tres años y una Da de 1.74 g cm⁻³ con labranza convencional, determinado con el método de la parafina, mientras que con el método del cilindro la Da fue de 0.86 y 1.07 g cm⁻³, respectivamente. Ellos mencionan que es posible que los valores altos, generados con el método de la parafina se deban a la fuerte contracción ocurrida en los terrones usados.

Por su parte García *et al.* (2006) reportaron para un vertisol manejado con labranza de conservación una Da de 1.75 g cm⁻³ y de 1.64 g cm⁻³ con labranza convencional con quema de residuos.

Así mismo, debido a la Da alta del suelo se obtuvo una Pt promedio de 36.87%, lo cual coincide con los resultados de García *et al.* (2006), quienes reportaron una porosidad muy baja (< 30% en todos los casos), principalmente donde no se remueve el suelo. En ambos casos se encuentran por debajo de 45%, porosidad mínima recomendable para un desarrollo adecuado de las plantas en suelos arcillosos (Aguilera 1989). Sin embargo, esto no afectó el rendimiento del cultivo.

Respecto al pH, Sahrawat (1980) menciona que los Vertisoles desarrollados a partir de materiales parentales ricos en alcalinotérreos tienen un pH más alto. Asimismo, Kumar *et al.* (2020) mencionan que los factores que contribuyen a un pH elevado del suelo son la presencia de CaCO₃ y un alto contenido de bases, especialmente calcio y magnesio, en el perfil.

Los resultados coinciden con los que reportan Ramírez *et al.* (2006) en un Vertisol en labranza convencional y con tres años de labranza cero, con un pH promedio de 7.6, en

ambos casos. Al respecto Ribón *et al.* (2003) mencionan que el pH del suelo no sufre cambios significativos a través de los años por efecto de método de labranza.

Por otro lado, García *et al.* (2006) reportaron que el Vertisol en condición natural presentó un pH de 7.2, que varió con los cambios de manejo del suelo. Este se acidificó ligeramente al cultivarse con siembra directa con aportación total de residuos de cosecha, aunque menos con el manejo convencional; esto se atribuyó principalmente al efecto de acidez residual que presenta el sulfato de amonio que se aplica ciclo tras ciclo a los cultivos como fuente nitrogenada.

Castellanos (2000) indica que el intervalo de pH del suelo que se considera adecuado para la mayor disponibilidad de los nutrimentos esenciales para las plantas es de 5.5 a 6.5. Cuando el suelo tiene un pH mayor a 6.5, la abundancia de iones OH^- produce la precipitación de compuestos insolubles de hierro, manganeso, cobre y zinc que no son asimilados por las raíces de las plantas. Además, la solubilidad del fósforo se ve afectada debido especialmente a la concentración alta de calcio, con el cual se forman compuestos insolubles como fósforo de calcio.

Por otra parte, un pH del suelo entre 7.3 a 8.4 indica la posibilidad de tener CaCO_3 (Castellanos, 2000). Sin embargo, a pesar de tener un pH mayor a 7.3 el contenido de CaCO_3 fue bajo; lo que concuerda con Sotelo *et al.* (2013) quienes en su investigación reportaron un contenido de CaCO_3 de 0.28 y 0.19% en un vertisol con pH de 8.2 y 7.1, respectivamente.

El suelo manejado con LC tuvo un contenido de MO similar al del suelo manejado con LCV. Lo que concuerda con los resultados de Martínez *et al.* (2014), quienes indicaron que la LC no tuvo influencia significativa sobre el contenido de MO, debido a que se requiere mayor tiempo para que los residuos orgánicos se transformen en humus. Asimismo, en el proceso la microbiología edáfica demanda N (Báez *et al.*, 2017). Al tener un contenido medio de N el suelo, afectó este proceso.

El contenido de nutrientes no presentó diferencias estadísticas significativas (Cuadro 5). Sin embargo, el contenido de P y K en el suelo tendió a aumentar ligeramente con el método de LC (Cuadro 6).

Cuadro 5. Análisis de varianza del contenido de nutrientes del suelo de acuerdo al arreglo topológico y el método de labranza.

Fuente de variación	N	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
Arreglo topológico (AT)	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Método de labranza (MDL)	NS	NS	NS	NS	NS	NS
AT x MDL	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C.V. (%)	12.3	7.8	12.6	10.9	8.7	4.3
Media	0.1	10.3	0.5	27.3	8.8	0.0

C.V.= coeficiente de variación. NS= no significativo ($p>0.05$). N= nitrógeno total; P= fósforo extraíble; K⁺= potasio intercambiable; Ca²⁺= calcio intercambiable; Mg²⁺= magnesio intercambiable; Na⁺= sodio intercambiable.

Cuadro 6. Efecto del arreglo topológico y el método de labranza en el contenido de nutrientes del suelo con maíz y frijol en un sistema MIAF.

Tratamiento		N	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
Arreglo topológico	Método de labranza	%	mg kg ⁻¹	meq 100 g ⁻¹			
1x1	LCV	0.14	9.86	0.42	26.71	7.73	0.01
1x1	LC	0.14	11.27	0.51	24.75	8.12	Trazas
2x2sa	LCV	0.14	8.31	0.36	25.03	8.92	0.02
2x2sa	LC	0.08	11.69	0.56	25.66	8.52	0.04
2x2	LCV	0.12	10.00	0.48	29.68	10.04	0.08
2x2	LC	0.14	10.85	0.48	32.25	10.00	0.05

N= nitrógeno total; P= fósforo extraíble; K⁺= potasio intercambiable; Ca²⁺= calcio intercambiable; Mg²⁺= magnesio intercambiable; Na⁺= sodio intercambiable.

El contenido de N varió de 0.08 a 0.14 %, lo que indica que el suelo tiene un contenido entre bajo (0.05-0.10) a medio (0.10-0.15) de este elemento.

Estos resultados difieren con los obtenidos por Ramírez *et al.* (2006) quienes reportaron que el contenido de Nt en la capa superficial de un Vertisol dístrico fue mayor en los sistemas de labranza cero y lo atribuyeron principalmente al aporte superficial de

residuos de cosecha y al aumento de MO, ya que el contenido de Nt se asocia significativamente con el contenido MO (Mohamed, 2017).

Por otro lado, Sánchez *et al.* (2003) mencionan que en algunas ocasiones no hay cambios en las variables químicas por la incorporación de residuos de cosecha, debido a su descomposición lenta que no permite cambios en Nt, P y pH.

Luo *et al.* (2018) mencionan que la aplicación directa al campo de residuos con bajo contenido de N y alta relación C: N por ejemplo de maíz, disminuye la disponibilidad del N para el crecimiento de los cultivos. En cambio, un cultivo que tiene una relación C: N más baja, como las leguminosas, permite que la descomposición se produzca con bastante rapidez y que el exceso de N esté disponible en el suelo para otras plantas en crecimiento (Ghosh *et al.* 2007). Esto explica los resultados de este trabajo ya que el residuo que se aporta al suelo es principalmente de maíz y la dosis de N por surco es igual para ambos métodos de labranza.

El contenido de P varió de 8.31 a 11.69 mg kg⁻¹, lo que indica que el suelo se clasifica como bajo a moderadamente bajo (5-15 mg kg⁻¹) en P.

Estos resultados podrían estar relacionados con el pH, debido a que la disponibilidad del P es máxima a valores de pH entre 6.5 y 7.0. En los suelos neutros o alcalinos la mayor proporción del fosfato se encuentra asociado con el Ca (Lindsay, 1979). Por otro lado, Mohammed (2017) reportó que el P disponible del Vertisol se asocia negativamente con el contenido de arcilla. Esto quiere decir que la disponibilidad de P para las plantas también fue afectada por el contenido alto de arcillas del suelo.

No obstante, el contenido de P tendió a aumentar ligeramente con el método de LC, debido a la poca movilidad del elemento y a que las aplicaciones de fertilizantes y de residuos son superficiales, lo que coincide con lo reportado por Ramírez *et al.* (2006).

También Pavinato y Rosolem (2008) mencionan que es normal el aumento de la disponibilidad de P en el suelo con la adición de residuos vegetales, tanto por el P presente en el residuo como por la competencia de los compuestos orgánicos de los residuos por los sitios de adsorción en el suelo.

En el suelo manejado con LCV el contenido de K varió de 0.36 a 0.48 meq 100 g⁻¹, por lo cual se clasifica como un suelo bajo (0.25-0.38 meq 100 g⁻¹) y moderadamente bajo (0.38-0.51 meq 100 g⁻¹) en K, mientras que con LC el contenido fue de 0.48 a 0.56 meq 100 g⁻¹. Esto indica que el contenido de K en el suelo es medio (0.51-0.76 meq 100 g⁻¹).

El contenido de K tendió a aumentar con el método de LC, lo que coincide con otros estudios en los que se ha encontrado una mayor concentración de K⁺ intercambiable en las capas superficiales del suelo sin labranza y con labranza mínima, lo cual se atribuye a que no se remueve el suelo y a la mineralización de los residuos del cultivo que se dejan en la superficie del suelo (Orihuela *et al.*, 2001).

Asimismo, Zúñiga *et al.* (2010) mencionan que la concentración de K intercambiable se modifica por la adición de fertilizante y se balancea por cambios en Ca y Mg intercambiables que se liberan a la solución del suelo y, por competencia iónica disminuyen la eficiencia de los fertilizantes potásicos. Esto también explica el contenido de K en el suelo, ya que tanto para el suelo manejado con LCV como para el suelo manejado con LC se aplicó la misma dosis de fertilizante y el contenido de Ca y Mg fue alto.

El contenido de Ca varió de 24.75 a 32.25 meq 100 g⁻¹ y el de Mg de 7.73 a 10.04 meq 100 g⁻¹. Por lo que el suelo es alto en ambos elementos (Ca > 10.00 meq 100g⁻¹ y Mg de 6.6-11.6 meq 100 g⁻¹). Espinosa y Molina (1999) señalan que el contenido alto de Ca afecta la disponibilidad de P debido a la afinidad de ambos elementos para la formación de compuestos insolubles. Además, el Ca y Mg en la solución del suelo, desplazan y compiten con otros cationes por las cargas negativas de la arcilla y de la materia orgánica.

El contenido de Na fue muy bajo, por lo cual no fue perjudicial en el crecimiento de las plantas.

5.1.2 Índices de área foliar, área foliar específica, radiación fotosintéticamente activa, rendimiento de rastrojo y de grano en maíz

El análisis de varianza del índice de área foliar (IAF), el área foliar específica (AFE), la radiación fotosintéticamente activa (RFA), el rendimiento de rastrojo (RR) y el rendimiento de grano de maíz (RG) indica un efecto significativo del AT en las cuatro primeras variables y del MDL en el RG (Cuadro 7).

Cuadro 7. Análisis de varianza del IAF, el AFE, la RFA, el RR y el RG obtenidos en el maíz cultivado en la milpa intercalada en árboles frutales (MIAF)-guayaba.

Fuente de variación	IAF	AFE	RFA	RR	RG
Arreglo topológico (AT)	**	*	**	*	NS
Método de labranza (MDL)	NS	NS	NS	NS	*
AT x MDL	NS	NS	NS	NS	NS
C.V. (%)	6.49	7.91	16.10	10.96	15.29

C.V.= coeficiente de variación. **= altamente significativo ($p \leq 0.001$); *=significativo ($p \leq 0.05$); NS=no significativo ($p > 0.05$).

El IAF y el AFE del maíz fueron más altos con el AT 2x2sa respecto al AT 1x1 y 2x2 (Figura 4A y B). Sin embargo, en la comparación se confunden los efectos del AT con la fertilización y la densidad de población porque en el AT 2x2sa, además del surco angosto, la densidad de población y la fertilización fueron mayores.

Tinoco *et al.* (2008) reportaron que la densidad de población y el arreglo espacial de plantas tienen un efecto directo sobre el crecimiento de las plantas y al variar las distancias entre surcos y entre plantas hay una respuesta diferente del IAF y de la capacidad productiva de la especie que esté bajo prueba. Además, con el incremento del área foliar por gramo de peso seco aumenta el AFE (Orozco *et al.* 2016).

En otros estudios, Albino *et al.* (2015), con el maíz híbrido 'H-155' sembrado en diferentes AT y en cultivo simple, reportaron IAF similares a los obtenidos con los AT 1x1 y 2x2 en este trabajo a los 66 días después de la siembra.

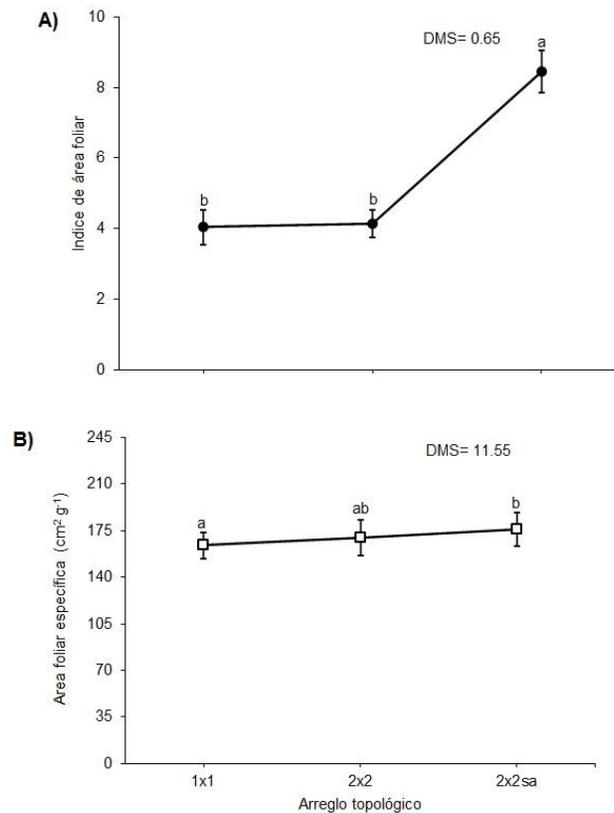


Figura 4. Efecto del arreglo topológico en (A) el índice de área foliar y (B) el área foliar específica.

Letras distintas dentro de la gráfica indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($p < 0.05$). DMS= diferencia mínima significativa. Las barras verticales indican la desviación estándar.

En este trabajo, el maíz sembrado con el AT 2x2sa rindió 2455 kg, es decir, 494 y 592 kg 0.33 ha^{-1} más respecto a los AT 2x2 y 1x1, respectivamente. Sin embargo, estos incrementos no fueron significativos estadísticamente.

Algunos autores sugieren que el aumento en el rendimiento que se obtiene al reducir la distancia entre surcos e incrementar la densidad de plantas se deben a mayores índices de cobertura y área foliar, mayor intercepción de la energía solar desde etapas tempranas del cultivo, menor crecimiento de malezas y al mayor número de plantas cosechadas por metro cuadrado (Alves *et al.*, 2008; Soltero *et al.*, 2010).

Pero, por otro lado, Farshbaf *et al.* (2014) reportan que, al aumentar el índice de área foliar, en consecuencia, aumenta el consumo de agua. Por lo tanto, el uso de altas

densidades de plantas con un suministro de agua limitado puede aumentar el estrés hídrico de las plantas y reducir drásticamente el crecimiento y el rendimiento de grano.

Esto explicaría porque el rendimiento obtenido con el AT 2x2sa no fue diferente significativamente en este trabajo, ya que la precipitación acumulada fue menor a los requerimientos hídricos del maíz y a que se presentaron periodos de sequía durante su ciclo (Pedrol *et al.* 2008).

La RFA interceptada a la mitad de la altura de la planta de maíz y al nivel del suelo fue afectada por el AT. La mayor RFA interceptada se obtuvo con el AT 1x1 (Cuadro 8).

Cuadro 8. Comparación de medias para la variable RFA interceptada a la mitad de la altura de la planta de maíz y al nivel del suelo en función del arreglo topológico.

Arreglo topológico†	RFA	
	A la mitad de la altura de la planta	Al nivel del suelo
	%	
1x1	44.41 ± 7.15 a	38.86 ± 7.39 a
2x2	32.05 ± 5.12 b	22.52 ± 4.95 b
2x2sa	25.11 ± 4.29 b	21.32 ± 4.69 b
DMS	8.90	8.96

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($p < 0.05$). ± Desviación estándar. DMS= Diferencia mínima significativa.

Con el AT 2x2sa y 2x2, la RFA interceptada a la mitad de la altura de planta disminuyó 19.3 y 12.3%, respecto al 1x1 (Cuadro 8). Esto indica que en el AT 1x1 hubo más hojas de la planta para interceptar la RFA, a diferencia de los otros arreglos en el que la interceptación de la RFA disminuyó de la parte superior del dosel al inferior (Albino *et al.*, 2015).

Además, con los mismos AT, la RFA al nivel del suelo disminuyó 17.5 y 16.3 %, respecto al 1x1 (Cuadro 8). Esto significa que, en este arreglo, las hojas basales de las plantas de maíz no tuvieron limitación en la disponibilidad de RFA, a diferencia de las hojas basales del maíz en los otros AT (Albino *et al.*, 2015).

La diferencia del porcentaje de RFA interceptada entre AT se explica porque el arreglo 1x1 favorece que tanto las hojas del estrato superior como las hojas inferiores tengan mayor acceso a la radiación a ambos lados de la planta, mientras que con el arreglo 2x2 tanto las hojas del estrato superior como las hojas inferiores del costado con dirección hacia las plantas de frijol reciben radiación directa durante el día, en cambio las hojas inferiores del costado con dirección hacia la segunda hilera de maíz, quedan autosombreadadas, tal y como ocurre en el cultivo simple (Cortés *et al.*, 2007).

Además, se ha encontrado una relación entre la intensidad relativa de luz e índice de área foliar acumulado, teniéndose que la luz se extingue exponencialmente en función del incremento del área foliar (Van Heemst, 1988, citado por Tinoco *et al.*, 2008), como ocurrió con el arreglo 2x2sa; con el que se obtuvo el mayor IAF y el menor porcentaje de RFA interceptada en ambas alturas de la planta.

Albino *et al.* (2015) reportaron que la mejor distribución de la RFA con el AT 1x1 se reflejó en un mayor rendimiento de maíz. Sin embargo, esto difiere con los resultados del estudio, ya que hubo efecto del surco angosto, de la mayor densidad de plantas y de la fertilización (Turrent, 1980; Tinoco *et al.*, 2008; Contreras *et al.*, 2012).

Se obtuvieron diferencias estadísticas entre MDL para el rendimiento de grano (Cuadro 7). El mayor rendimiento se obtuvo en los tratamientos con el método de LC con el cual se obtuvo un incremento de 737 kg equivalente a 41%, respecto a LCV (Figura 5).

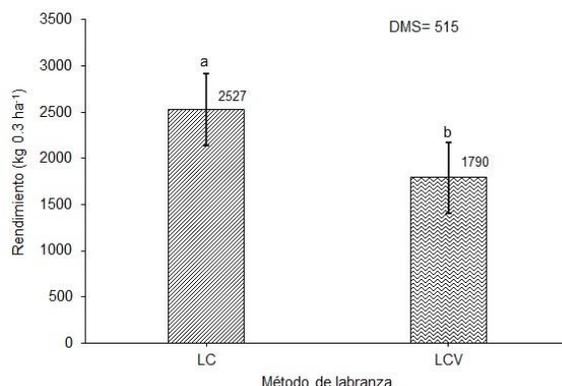


Figura 5. Rendimiento de maíz en función del método de labranza.

Letras distintas dentro de la gráfica indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). DMS= Diferencia mínima significativa. Las barras verticales indican la desviación estándar.

El incremento del rendimiento en LC coincide con los resultados de Martínez *et al.* (2019) quienes reportaron que el rendimiento de maíz en el tratamiento con el método de LC fue en promedio 51.68% superior al registrado con el tratamiento con el método de LCV en los últimos cinco años. Esto se atribuyó a que en el tratamiento con LC el suelo registró menor compactación, mayor porosidad, mayor aporte de materia orgánica al suelo, más estabilidad de agregados y mayor velocidad de infiltración, por lo que el cultivo tuvo mejores condiciones en el suelo para lograr rendimientos superiores al obtenido con LCV. Sin embargo, en el presente estudio, las propiedades físicas y químicas del suelo fueron similares con ambos MDL, por lo tanto, esa no fue la razón del incremento en el rendimiento.

Asimismo, Ellos reportaron que el rendimiento de grano fue afectado por las condiciones ambientales que tuvo el cultivo durante su período de desarrollo, principalmente de precipitación.

En el año del estudio la precipitación total del 05 de agosto al 24 de diciembre fue más baja que la precipitación promedio histórica, con periodos alternos de sequía y humedad durante el ciclo de cultivo. En agosto y septiembre la lluvia estuvo por debajo de la precipitación promedio histórica y en octubre, noviembre y diciembre por arriba de esta (Cuadro 9). La distribución de las lluvias fue atípica, debido probablemente al efecto del cambio climático (Osuna *et al.*, 2012).

Cuadro 9. Precipitación mensual del año 2019 y promedio mensual histórico en el Campo Experimental Centro de Chiapas-INIFAP.

Mes	Precipitación	
	2019†	Histórica
	mm	
Agosto	155.00	176.90
Septiembre	91.00	194.63
Octubre	105.00	78.84
Noviembre	48.90	34.10
Diciembre	33.50	22.72
Total	433.4	507.19

Fuente: López L., A. (2021). †= Año en el que se llevó a cabo el estudio con maíz y frijol.

El ciclo del maíz fue de 141 días de la siembra a la madurez de cosecha, en el cual se tuvo una precipitación acumulada de 433 mm. Al respecto, Pedrol *et al.* (2008) indicaron que los requerimientos hídricos del maíz durante su ciclo son alrededor de 550 a 575 mm, superior a lo reportado para este estudio.

De acuerdo a Bergamaschi *et al.* (2006) el rendimiento del cultivo está fuertemente influido por el comportamiento de la precipitación y el estrés hídrico. El mayor impacto en la reducción del rendimiento de grano ocurre cuando se presenta estrés hídrico dos semanas antes a tres semanas después de R1 (floración femenina) (Ritchie *et al.*, 1986). Asimismo, Carvallo *et al.* (2004) mencionan que las fases más sensibles del cultivo de maíz al estrés hídrico, en orden decreciente son: floración, llenado de grano y desarrollo vegetativo.

Ante la presencia de períodos secos antes de la floración (70 dds), se presentó mayor rendimiento con el método de LC al haber incremento de la retención de humedad en el suelo por la aplicación de los residuos de cosecha. De acuerdo a Erenstein (1997), la conservación de residuos en el suelo funciona como una medida de conservación del agua, ya que al disminuir las pérdidas (menor evaporación directa de la superficie del suelo, menor escurrimiento, mayor infiltración) aumenta la cantidad de agua disponible para el cultivo. La humedad del suelo favorece la absorción de nutrientes por las plantas (Zribi *et al.*, 2011).

Mora (2001) menciona que en LC hay menor abatimiento de humedad diaria, a causa de la permanencia de los residuos en la superficie del suelo. Por lo que el estrés hídrico afectó mayormente a las plantas con LCV.

Para el rendimiento de rastrojo se obtuvieron diferencias estadísticas entre AT (Cuadro 7). El mayor rendimiento se obtuvo con el AT 2x2sa (Figura 6), con el cual hubo un incremento de 845 y 910 kg, respecto al rendimiento obtenido con el AT 2x2 y el 1x1, respectivamente.

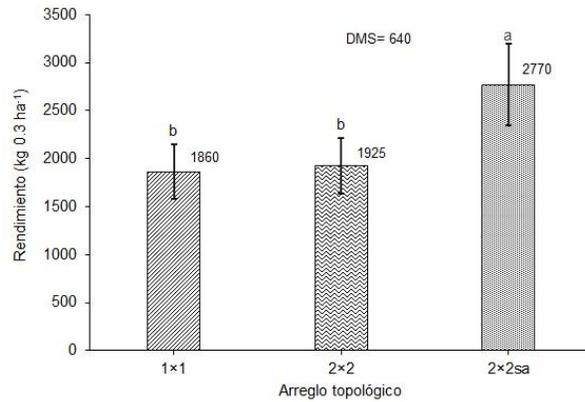


Figura 6. Rendimiento de rastrojo de maíz en base seca en función del arreglo topológico. Letras distintas dentro de la gráfica indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). DMS= Diferencia mínima significativa. Las barras verticales indican la desviación estándar.

El mayor rendimiento de rastrojo obtenido con el AT 2x2sa se debe a que tuvo mayor índice de área foliar por efecto del surco angosto, de la mayor densidad de plantas y de la mayor fertilización (Turrent, 1980; Tinoco *et al.*, 2008; Contreras *et al.*, 2012).

Con los AT 1x1 y 2x2 se obtuvo un promedio de 1000 kg de grano por cada 1000 kg de rastrojo y con el AT 2x2sa un promedio de 900 kg de grano por 1000 kg de rastrojo. De acuerdo con algunos autores se estima que por cada tonelada de grano producido se obtienen de 900 a 1000 kg de residuos (MS) (Muñoz, 2011 y Macedo, 2000 citado por Borja *et al.*, 2013; Castellanos *et al.*, 2019).

Estos resultados concuerdan con Albino *et al.* (2015) quienes reportaron un rendimiento (por planta) de 1 g de grano por 1 a 1.10 g de rastrojo, con los arreglos topológicos 1x1 y 2x2 en el sistema MIAF.

Por otra parte, en todos los tratamientos la cantidad obtenida de rastrojo sobrepasa el umbral de 2 t ha⁻¹ que se requieren para un mantillo efectivo en labranza de conservación, por debajo de este umbral es difícil explicar la influencia del mantillo en el rendimiento (Erenstein e Iñiguez, 1997).

5.1.3 índice de área foliar, área foliar específica y rendimiento de grano en frijol

El análisis de varianza de el índice de área foliar (IAF), el área foliar específica (AFE) y el rendimiento de grano (RG), indica un efecto significativo de la interacción AT x MDL en la primera y tercera variable. El AFE fue afectada por el AT y el MDL de manera individual (Cuadro 10).

Cuadro 10. Análisis de varianza del IAF, el AFE y el RG obtenidos en el frijol cultivado en la milpa intercalada en árboles frutales (MIAF)-guayaba.

Fuente de variación	IAF	AFE	RG
Arreglo topológico (AT)	NS	**	*
Método de labranza (MDL)	*	*	*
AT x MDL	*	NS	*
C.V. (%)	19.80	12.64	12.49

C.V.= coeficiente de variación. **= altamente significativo ($p \leq 0.001$); *=significativo ($p \leq 0.05$); NS=no significativo ($p > 0.05$).

En la Figura 7 se observa un aumento en el IAF cuando las plantas de frijol estuvieron con el AT 2x2 con LC. Sucedió lo contrario cuando se combinó con LCV y cuando estuvieron con AT 1x1. También, se observa que no hubo efecto significativo del MDL en los AT 2x2sa y 1x1.

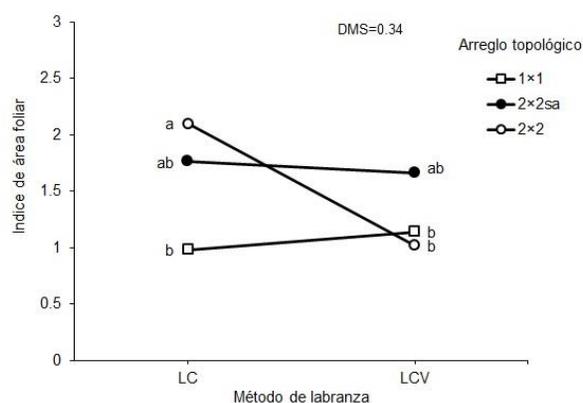


Figura 7. Efecto de la interacción arreglo topológico x método de labranza en el índice de área foliar de plantas de frijol.

Letras distintas dentro de la gráfica indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). DMS= Diferencia mínima significativa.

El IAF más alto obtenido se debe a que en el AT 2 x 2, el frijol que es una planta C₃ se benefició del sombreado de las plantas de maíz sin afectar la fotosíntesis (Camas, 2011).

En el AT 2x2sa fue efecto del surco angosto, de la mayor densidad de población y de la mayor fertilización (Tinoco *et al.*, 2008; Contreras *et al.*, 2012).

El IAF más alto indica que en la etapa de llenado de la vaina de frijol, hubo un porcentaje mayor de RFA interceptada y mejor eficiencia en el uso de ese recurso (Morales *et al.* 2008), que se relaciona con un incremento en el rendimiento.

Así mismo, en LC los residuos de cosecha en el suelo amortiguan las fluctuaciones de temperatura, disminuyen la evaporación directa del suelo, aumentan la tasa de infiltración y mantienen una mayor humedad del suelo (Chaudhry *et al.* 2004; Zribi *et al.*, 2011).

Los resultados del presente trabajo concuerdan con los de Albino *et al.* (2015) quienes reportaron en su investigación que en la etapa de llenado de la vaina (84 dds) el IAF no fue significativamente diferente entre el AT 1x1 y 2x2 manejados con el método de LCV. Sin embargo, el IAF que ellos reportaron fue superior, probablemente porque el cultivo se mantuvo con riego rodado, sin limitaciones de humedad.

Por su parte, Camas (2011) reportó que la medición del área foliar del frijol coincidió con la etapa de floración masculina del maíz cuando éste había aumentado su área foliar y provocó mayor sombreado sobre el frijol disminuyendo la RFA interceptada respecto al cultivo simple.

Por otro lado, cuando se asoció frijol con girasol se observó un efecto de competencia, expresado en el menor IAF que limitó su crecimiento y desarrollo, el cual fue provocado por el sombreado del girasol, que a su vez redujo la radiación interceptada y como consecuencia de esto la baja producción de biomasa y distribución de fotoasimilados para el rendimiento de grano (Hawkins 1982; Tsubo y Walker, 2004, citado por Morales *et al.*, 2008). Esto explicaría el menor IAF y rendimiento de frijol obtenido con AT 1x1.

Asimismo, los valores de IAF obtenidos en este estudio son menores comparados a los que obtuvieron Morales *et al.* (2008) y Albino *et al.* (2015). Esto puede estar relacionado al estrés hídrico que sufrieron las plantas. Debido a que la reducción del área foliar como

resultado del estrés por sequía se considera un mecanismo de adaptación, mediante el cual la planta evita la deshidratación y se minimizan las pérdidas por transpiración (Purwanto, 2003).

El AFE presentó diferencias significativas por efecto del AT y el MDL (Cuadro 11).

Cuadro 11. Comparación de medias para la variable AFE de las plantas de frijol en función del arreglo topológico y el método de labranza.

Arreglo topológico	AFE cm ² g ⁻¹	Método de labranza	AFE cm ² g ⁻¹
1x1	246.13 ± 27.68 a	LCV	272.67 ± 45.43 a
2x2sa	304.44 ± 29.41 b	LC	306.20 ± 52.83 b
2x2	317.74 ± 30.33 b		
DMS	31.70		21.49

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($p < 0.05$). ± Desviación estándar. DMS= Diferencia mínima significativa.

Las plantas de frijol con AT 2x2sa y 2x2, así como con el método de LC presentaron las medias más altas del AFE. Esto indica un incremento del área foliar por gramo de peso seco y que las hojas son más grandes, pero más delgadas (Orozco *et al.*, 2016). En el AT 2x2sa se debe al surco angosto, a la mayor densidad de plantas y a la mayor fertilización (Tinoco *et al.*, 2008; Contreras *et al.*, 2012).

El valor más bajo del AFE con LCV indica menor área foliar por gramo de peso seco y que las hojas son más pequeñas y gruesas, esto ayuda a mantener temperaturas favorables en las hojas y una mayor eficiencia fotosintética y del uso del agua bajo la combinación de alta radiación solar y baja disponibilidad de agua (Amanullah, 2015).

El rendimiento de frijol fue afectado por la interacción AT × MDL (Cuadro 10). El rendimiento fue más alto cuando el frijol se sembró con el AT 2x2 en LCV y viceversa con el AT 1x1 en LCV. No se observa un efecto significativo del MDL en los AT 2x2 y 2x2sa (Figura 8).

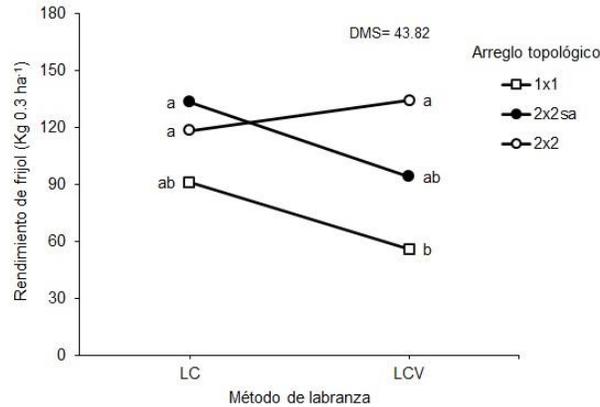


Figura 8. Efecto de la interacción arreglo topológico x labranza en el rendimiento de frijol. Letras distintas dentro de la gráfica indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$). DMS= Diferencia mínima significativa.

Albino *et al.* (2015) reportaron que con el AT 2x2 el frijol incrementó su rendimiento pues las hojas basales recibieron más RFA, en cambio en el AT 1x1 la disminución en el rendimiento se debió al mayor sombreo de las plantas de maíz sobre el frijol y a que las hojas basales interceptaron menos RFA.

Así mismo, en el AT 1x1 el rendimiento fue menos afectado con LC, pues la cobertura del suelo con residuos de cosecha aumenta la cantidad de agua disponible en el suelo debido a una mayor infiltración y menor evaporación directa de la superficie del suelo (Zhang *et al.*, 2008).

Sin embargo, en general, el rendimiento obtenido en este estudio estuvo por debajo de los resultados de Tosquy *et al.* (2016) quienes reportaron para la variedad de frijol verdín un rendimiento de 517 kg 0.33 ha⁻¹ en el ciclo de verano en condiciones de temporal en el año 2012 y de 229 kg 0.33 ha⁻¹ en el año 2013 en el ciclo otoño-invierno en condiciones de sequía.

Debido a que las lluvias fueron muy escasas, no hubo suficiente agua retenida en la zona radical, de tal manera que el cultivo sufrió estrés hídrico durante la etapa de floración y de llenado de vainas. Las lluvias que se presentaron en esta etapa fueron menores a 10 mm por día (Figura 9).

Acosta *et al.* (2000) señalan que los bajos rendimientos en condiciones de temporal se deben principalmente a los frecuentes periodos de sequía, altas temperaturas durante la etapa reproductiva, las cuales pueden ocasionar pérdidas significativas del rendimiento.

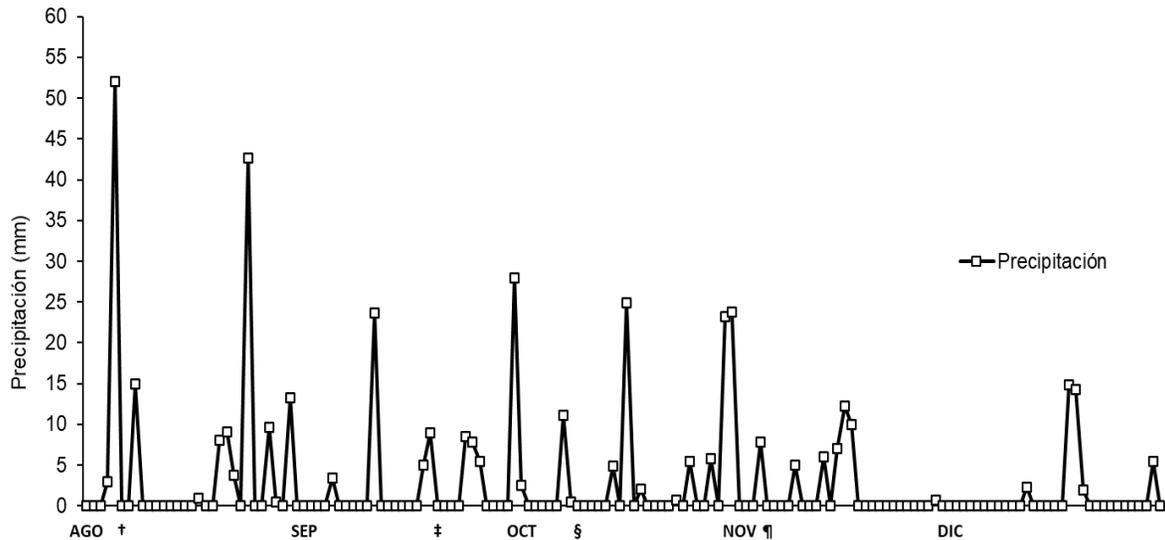


Figura 9. Precipitación diaria durante el ciclo del maíz y frijol en el Campo Experimental Centro de Chiapas-INIFAP, en el año 2019. †siembra; §floración; §llenado de vainas; ¶cosecha.

5.1.4 Eficiencia relativa de la tierra

Las eficiencias relativas de la tierra (ERTs) individuales del maíz (ERTm) y frijol (ERTf) y la ERT total (ERT) variaron a través de los seis tratamientos resultantes de la combinación arreglo topológico y método de labranza. En el maíz, la ERT individual varió de 0.76 a 1.25 y en el frijol, la variación fue de 0.28 a 0.68. La ERT varió de 1.05 a 1.81 (Cuadro 12). De acuerdo al valor de ERT para evaluar la ventaja de un cultivo intercalado como el MIAF, todos los tratamientos tuvieron una ERT mayor a 1, lo que indica una ventaja de rendimiento de 5 a 81%; es decir, que se requeriría de 5 a 81% más de tierra de labor para que el maíz y el frijol en cultivo simple produzcan los mismos rendimientos obtenidos en el sistema MIAF.

Cuadro 12. Rendimientos promedio de grano de maíz, frijol y eficiencia relativa de la tierra: MIAF en relación a los cultivos simples de maíz y de frijol, en condiciones de temporal.

Tratamiento		Maíz	Frijol	ERT†		ERT‡
Arreglo topológico	Método de labranza	(kg 0.5 ha ⁻¹)		Maíz	Frijol	
1x1	LCV	2505	83	1.08	0.28	1.36
1x1	LC	3142	138	0.76	0.30	1.05
2x2sa	LCV	2898	142	1.25	0.48	1.73
2x2sa	LC	4541	202	1.10	0.43	1.53
2x2	LCV	2611	205	1.13	0.68	1.81
2x2	LC	3330	180	0.80	0.39	1.19
		(kg ha ⁻¹)				
CS	LCV	2318	299			
CS	LC	4146	465			

†ERT= eficiencia relativa de la tierra individual del maíz y frijol, dividiendo el rendimiento en MIAF en 0.5 ha entre el rendimiento del cultivo simple (CS) en 1 ha; ‡ERT= eficiencia relativa de la tierra que es la suma de las ERT individuales de maíz y frijol.

Albino *et al.* (2016) reportaron una ERT de 1.12 para el AT 2x2 y 1.07 para 1x1, y una ERT individual del maíz y frijol de 0.64 y 0.47 en 2x2; y 0.67 y 0.34 en 1x1. Comparados con los resultados del presente estudio, todas las ERTs individuales del maíz fueron menores y las del frijol mayores en los tratamientos 2x2 LC, 1x1 LCV y 1x1 LC.

Asimismo, ellos mencionan que tanto para las familias campesinas como para el diseño del sistema MIAF, es prioritario obtener el mayor rendimiento de grano de maíz, pues es básico en la alimentación. De esta forma, el agricultor podría no optar por el sistema con mayor ERT, sino aquel que le genere más rendimiento de la especie de su interés, siempre que no eleve los costos de producción.

Por otra parte, Camas (2011) con el sistema MIAF logró una ERT de 1.96 cuando se cultivó maíz y frijol intercalados en el ciclo primavera-verano, frijol en relevo en el ciclo otoño-invierno y árboles de guayaba lo que redundó en beneficios para los productores con limitada extensión de terreno, además que es factible incrementarla a través de los

años en la medida que el sistema se estabilice y sea mayor su contribución en la conservación del suelo y agua, así como en el aporte de nutrientes para los árboles al área del filtro de escurrimientos.

En este estudio, las mayores eficiencias relativas de la tierra se obtuvieron con el método de LCV debido a que el rendimiento del cultivo simple de maíz y frijol fue menor con LCV que con LC.

5.1.5 Costo de oportunidad del uso de los residuos de cosecha de maíz

Se estimó que un animal de 450 kg consume 13.5 kg ms día⁻¹ (NRC, 1984) y se supuso que el rastrojo producido por tratamiento era la única fuente de materia seca para la alimentación del ganado especialmente en época de estiaje.

De acuerdo a lo anterior, se muestra que el rastrojo producido en el sistema MIAF en los tratamientos 2x2sa LC y 2x2sa LCV soportan una carga animal mayor que el resto de tratamientos (Cuadro 13). Debido a que, el mayor rendimiento de rastrojo obtenido con el AT 2x2sa se debió a que tuvo mayor área foliar por efecto del surco angosto, de la mayor densidad de plantas y de la mayor fertilización. Por ello con estos tratamientos se soporta una carga animal mayor por mes, respecto a los otros.

Cuadro 13. Carga animal soportada en 0.33 ha de acuerdo a la cantidad de rastrojo de maíz obtenida en cada tratamiento en un sistema MIAF.

Tratamiento		Rastrojo aportado	Carga animal mes ⁻¹
Arreglo topológico	Método de labranza	Kg	UA [§]
1x1	LCV	2007	5
1x1	LC	1714	4
2x2sa	LCV	2766	7
2x2sa	LC	2775	7
2x2	LCV	2039	5
2x2	LC	1811	4

[§]UA= Una unidad animal equivale a 450 kg de peso vivo.

Por otro lado, en el Cuadro 14 se indica la cantidad de nutrientes que aportan los residuos de cosecha en cada tratamiento. Castellanos *et al.* (2019), reportaron que, de la extracción unitaria de N, P y K, el 35, 22.2 y 79.8%, respectivamente regresa al suelo vía residuo de cultivo. Es decir que por cada tonelada de rastrojo dejada *in situ* podría incorporarse al suelo 8, 1.67 y 23.33 kg de N, P₂O₅ y K₂O o bien, 8, 0.72 y 19.3 kg de N, P y K, respectivamente.

Cuadro 14. Kilogramos de N, P₂O₅ y K₂O aportados al suelo de acuerdo a la cantidad de rastrojo en cada tratamiento en 0.3 ha.

Tratamiento		Rastrojo aportado	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Arreglo topológico	Método de labranza	Kg 0.3 ha ⁻¹			
1x1	LCV	2007	16	3	47
1x1	LC	1714	14	3	40
2x2sa	LCV	2766	22	5	65
2x2sa	LC	2775	22	5	65
2x2	LCV	2039	16	3	48
2x2	LC	1811	14	3	42

Los tratamientos con mayor rendimiento de rastrojo como se indicó anteriormente, son los que cuentan con AT 2x2sa. Por lo tanto, aportan más N, P y K, respecto a los otros tratamientos.

Sin embargo, los resultados de este estudio difieren con los de Caballero *et al.* (2017), quienes reportaron que los residuos de cosecha de maíz en monocultivo generados a nivel productor de 31.95 t ha⁻¹, en Nuevo México, Chiapas podrían incorporar 288, 64 y 447 kg de N, P y K, respectivamente, mientras que, en Francisco I. Madero, Chiapas, el rastrojo promedio producido de 3.79 t podría incorporar 34, 8 y 53 kg de N, P y K, respectivamente.

También se realizaron los cálculos para obtener la cantidad necesaria de fertilizante para compensar lo que aportan los residuos de cosecha. La fuente de fertilizante fue la misma

que se usó en el experimento. Se observa que el fertilizante que se tendría que aportar en mayor cantidad cuando se retira el rastrojo es el cloruro de potasio, seguido de urea y al último fosfato diamónico, sobre todo con los tratamientos 2x2sa LC y 2x2sa LCV (Cuadro 15).

Cuadro 15. Kilogramos de fertilizantes requeridos para compensar los nutrientes Nitrógeno, Fósforo y Potasio cuando se retira el rastrojo.

Tratamiento		Urea	Fosfato diamónico	Cloruro de potasio
Arreglo topológico	Método de labranza	Kg		
1x1	LCV	32	7	78
1x1	LC	27	6	67
2x2sa	LC	44	10	108
2x2sa	LCV	44	10	108
2x2	LCV	33	7	79
2x2	LC	29	7	70

En el Cuadro 16 se presenta el costo de oportunidad del uso de rastrojo tanto para alimentación de ganado *in situ* y *ex situ*, como para cobertura de suelo.

Cuadro 16. Costo de oportunidad del uso de rastrojo de maíz para alimentación de ganado versus cobertura del suelo en un sistema MIAF.

Tratamiento		Valor económico			Costo de oportunidad	
Arreglo topológico	Método de labranza	Rastrojo (cobertura)	Rastrojo (pastoreo)	Rastrojo (molido)	Rastrojo (pastoreo)	Rastrojo (molido)
1x1	LCV	1178	843	2409	-335	1231
1x1	LC	1006	719	2056	-286	1051
2x2sa	LCV	1623	1161	3319	-462	1696
2x2sa	LC	1628	1165	3329	-464	1701
2x2	LCV	1196	856	2447	-341	1250
2x2	LC	1062	760	2173	-303	1110

Se muestra que el valor económico de rastrojo para alimentación de ganado *in situ* es menor que el valor económico del rastrojo como cobertura de suelo, mientras que el valor económico del rastrojo molido para alimentación de ganado *ex situ* es mayor que el valor económico del rastrojo como cobertura de suelo. Los tratamientos con un valor económico y costo de oportunidad más alto son 2x2sa LC y 2x2sa LCV.

Los resultados de costo de oportunidad indican que si se utiliza el rastrojo para cobertura de suelo en vez de usarlo como rastrojo para alimentación de ganado *in situ* se obtendrían ganancias. En cambio, si se usa para cobertura de suelo en lugar de obtener el rastrojo molido para alimentación de ganado no se obtendrían ganancias económicas.

Sin embargo, su uso como cobertura de suelo se ve limitado, dado que coincide con el inicio, propiamente, de la época crítica para la ganadería regional, precisamente cuando hay carencia de pasturas por falta de lluvia y explica por qué en la zona se utiliza ampliamente en la alimentación bovina. Es claro que su uso no puede ser diferido, ya sea por los resultados percibidos por los productores en la producción animal, por la necesidad imperante en la época o bien por la costumbre de la actividad (Arellano *et al.*, 2016).

Por otro lado, el interés de los productores por obtener beneficios económicos inmediatos con el rastrojo como forraje, promueve la degradación paulatina de los suelos al no restituir los nutrientes extraídos por la producción de biomasa del maíz (Caballero *et al.*, 2017).

5.1.6 Análisis económico

Al realizar el análisis económico de maíz se obtuvo que los tratamientos con mayor tasa de retorno (TR) fueron el 2x2 LC (\$1.11), 2x2sa LC (\$1.09) y 1x1 LC (\$0.99), mientras que la tasa de retorno más baja fue con los tratamientos 2x2 LCV (\$0.62), 1x1 LCV (\$0.55) y 2x2sa LCV (\$0.36) (Cuadro 17). Lo anterior se atribuye a que el rendimiento fue mayor con el método de LC.

Con el tratamiento 2x2sa LC se obtuvo mayor rendimiento respecto al 2x2 LC y 1x1 LC; sin embargo, el costo total también se incrementó, por ello la TR no fue superior a los

otros tratamientos. Estos resultados indican que la siembra de maíz con surcos angostos, mayor densidad de plantas y mayor fertilización por metro cuadrado no fue lo más rentable económicamente.

Cuadro 17. Costos fijos (CF), costos variables (CV), costos totales (CT), ingresos totales (IT), ingresos netos (IN) y tasa de retorno (TR) en función del rendimiento de maíz (RM) obtenido en cada tratamiento.

Tratamiento		RM	CF [§]	CV [¶]	CT [#]	IT ^{††}	IN ^{‡‡}	TR ^{§§}
Arreglo topológico	Método de labranza	Kg 0.3 ha ⁻¹	\$					
1x1	LCV	1653	4372	1585	5956	9257	3301	0.55
1x1	LC	2074	4242	1585	5826	11614	5788	0.99
2x2sa	LCV	1913	4742	3154	7896	10713	2816	0.36
2x2sa	LC	2997	4883	3154	8037	16783	8747	1.09
2x2	LCV	1723	4372	1585	5956	9649	3693	0.62
2x2	LC	2198	4242	1585	5826	12309	6482	1.11

[§]CF= incluye costos de preparación del terreno, siembra, manejo de cultivo, cosecha, transporte; [¶]CV= semilla y fertilizante; [#]CT= costo fijo + costo variable; ^{††}IT= rendimiento x costo de kg de maíz (\$5.6); ^{‡‡}IN= ingreso total – costo total; ^{§§}TR= ingreso neto/costo total.

Respecto al frijol, la tasa de retorno de todos los tratamientos fue negativa. Esto debido a que el rendimiento fue bajo; por lo tanto, el ingreso total fue menor que el costo total (Cuadro 18). Estos resultados indican que la siembra de frijol con surcos más angostos a los surcos convencionales de 0.80 m usados en el sistema MIAF no fue más rentable económicamente.

Cuadro 18. Costos fijos (CF), costos variables (CV), costos totales (CT), ingresos totales (IT), ingresos netos (IN) y tasa de retorno (TR) en función del rendimiento de frijol (RF) obtenido en cada tratamiento.

Tratamiento		RF	CF [§]	CV [¶]	CT [#]	IT ^{††}	IN ^{‡‡}	TR ^{§§}
Arreglo topológico	Método de labranza	Kg 0.3 ha ⁻¹	\$					
1x1	LCV	55	2660	1546	4206	1100	-3106	-0.74

Tratamiento		RF	CF [§]	CV [¶]	CT [#]	IT ^{**}	IN ^{**}	TR ^{§§}
Arreglo topológico	Método de labranza	Kg 0.3 ha ⁻¹	\$					
1x1	LC	91	2200	1546	3746	1820	-1926	-0.51
2x2sa	LCV	94	2660	1546	4206	1880	-2326	-0.55
2x2sa	LC	133	2200	1546	3746	2660	-1086	-0.29
2x2	LCV	135	2660	1546	4206	2700	-1506	-0.36
2x2	LC	119	2200	1546	3746	2380	-1366	-0.36

[§]CF= incluye costos de preparación del terreno, siembra, manejo de cultivo, cosecha; [¶]CV= semilla y fertilizante; [#]CT= costo fijo + costo variable; ^{**}IT= rendimiento x costo de kg de frijol (\$20); ^{**}IN= ingreso total – costo total; ^{§§}TR= ingreso neto/costo total.

5.2 Subexperimento con árboles de guayaba

5.2.1 Propiedades físicas y químicas del suelo

Las propiedades físicas y químicas del suelo no presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (Cuadro 19), y fueron similares a las obtenidas en el sub-experimento de maíz y frijol.

Cuadro 19. Análisis de varianza de las propiedades físicas y químicas del suelo de acuerdo al acolchado del suelo.

Fuente de variación	Da [†]	Pt [‡]	CaCO ₃ [§]	MO [¶]	pH ^{**}
Acolchado	NS	NS	NS	NS	NS
C.V. (%)	2.05	5.04	15.64	15.66	4.01
Media	1.86	29.75	0.24	2.57	7.51

C.V.= coeficiente de variación. NS= no significativo ($p > 0.05$); [†]Da= densidad aparente; [‡]Pt= porosidad total; [§]CaCO₃= carbonato de calcio; [¶]MO= materia orgánica; ^{**}pH= reacción del suelo.

Cuadro 20. Propiedades físicas y químicas del suelo con y sin acolchado en la sub-franja de árboles de guayaba.

Propiedad del suelo	Acolchado			
	Con		Sin	
	Profundidad (cm)			
	0 a 30	30 a 60	0 a 30	30 a 60
pH	7.16	7.6	7.42	7.88
CaCO ₃ [†] (%)	Trazas	Trazas	0.46	0.52
MO [‡] (%)	2.98	2.58	2.84	1.91
Da [§] (g cm ⁻³)	1.83	1.88	1.86	1.88
Pt [¶] (%)	31	29	30	29

[†]CaCO₃= carbonato de calcio; [‡]MO= materia orgánica; [§]Da= densidad aparente; [¶]Pt= porosidad total.

Se observa que la Da a ambas profundidades del suelo, con y sin acolchado fue alta (Cuadro 20). Sin embargo, como ya ha sido mencionado, la Da de los Vertisoles varía mucho dependiendo de si la muestra se toma durante el ciclo húmedo o seco, así como del tamaño de la muestra utilizada para la determinación (Ahmad, 1983).

Estos resultados concuerdan con los que obtuvieron Alvarado y Forsythe (2005) quienes reportaron una Da que varió de 0.92 a 1.83 g cm⁻³ en tres profundidades del perfil de suelo, atribuyéndolo a la mineralogía de la fracción arcillosa. Mientras que Ahmad (1983) reportó que en muestras pequeñas la Da osciló entre 1.3 y 2.0 g cm⁻³.

De acuerdo con Orozco *et al.* (2016) el incremento de la Da disminuye la capacidad de almacenamiento de agua y la porosidad del suelo. Así también Kumar *et al.* (2020) señalan que la Da afecta el rendimiento del cultivo de varias formas, incluido el control de la disponibilidad de humedad del suelo, la aireación y la penetración de las raíces.

La Pt fue de 30% en promedio, la cual se encuentra por debajo de 45%, porosidad mínima recomendable para un adecuado desarrollo de las plantas en suelos arcillosos (Aguilera, 1989). Según Zribi *et al.* (2011) el suelo acolchado permanece más aireado y con una porosidad mayor que la del suelo desnudo, lo que favorece un buen desarrollo del sistema radical y un uso eficiente de los nutrientes. Sin embargo, en el presente

estudio la Da fue alta y la Pt baja, tanto en el suelo acolchado como en el suelo descubierto. Esto debido a que no ha habido efecto del acolchado en el contenido de MO (Ingaramo *et al.*, 2003).

A medida que el espacio poroso disminuye, la raíz tiene que hacer mayor esfuerzo para explorar el suelo, para lo cual necesita más energía que se traduce en mayores necesidades de agua y nutrientes, que le son más difíciles de obtener en estas condiciones. Esto conlleva a una menor producción de materia seca, con disminución del crecimiento y de la producción con un mismo consumo de agua y nutrientes (Herrera, 2017), lo anterior explica en parte los rendimientos bajos obtenidos en el estudio.

El pH del suelo con acolchado es de neutro a moderadamente alcalino y sin acolchado es moderadamente alcalino (SEMARNAT, 2002). De acuerdo a Castellanos (2000) el pH se encuentra por arriba del óptimo. Sin embargo, Mata y Rodríguez (2005) indican que los árboles de guayaba prosperan en suelos moderadamente alcalinos con pH de 7.6 a 8.2.

El contenido de CaCO_3 varió de trazas a 0.51%, lo que indica que es un suelo muy bajo en CaCO_3 .

El contenido de MO en el suelo acolchado a la profundidad de 0-30 y 30-60 cm varió de 2.98 a 2.58%, por lo cual el suelo se clasifica como moderadamente alto en MO. En cambio, en el suelo sin acolchado varió de 2.84 a 1.91%, por lo que es moderadamente alto y bajo en MO (Castellanos, 2019). Esto indica que solo hubo diferencias en el contenido de MO a la profundidad de 30-60 cm.

Alcántar *et al.* (2016) mencionan que los factores que afectan la velocidad de descomposición de la MO en el suelo son la naturaleza de sus componentes, agua y oxígeno disponible, pH del suelo, relación C/N, estado físico de los residuos incorporados, temperatura y tiempo.

Por otra parte, el contenido de nutrientes no presentó diferencias estadísticas significativas (Cuadro 21).

Cuadro 21. Análisis de varianza del contenido de nutrientes del suelo en la franja con árboles frutales de guayaba con y sin acolchado orgánico.

Fuente de variación	N	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe	Cu	Zn	Mn
Acolchado	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C.V. (%)	17.3	22.5	21.2	11.3	22.2	22.7	16.6	22.2	21.3
Media	0.09	8.13	0.44	28.26	10.4	18.73	2.48	0.47	17.82

C.V.= coeficiente de variación. NS= no significativo ($p > 0.05$). N= nitrógeno total; P= fósforo extraíble; K= potasio intercambiable; Ca= calcio intercambiable; Mg= magnesio intercambiable; Na= sodio intercambiable; Fe= hierro; Cu= cobre; Zn= zinc; Mn= manganeso.

En el estrato de 0-30 cm, el suelo con y sin acolchado tuvo un contenido moderadamente bajo en Zn, medio de N y K, moderadamente alto de Fe, alto de P, Ca y Mg, y muy alto de Cu. El contenido de Mn fue alto y moderadamente alto, respectivamente.

Mientras que en el estrato de 30-60 cm tuvo un contenido bajo en N y P, medio en Mn, moderadamente alto en Fe, alto en Ca, Mg y Cu. El contenido de Zn fue bajo y muy bajo, el K fue moderadamente bajo y bajo, respectivamente.

La mayoría de los nutrientes variaron de acuerdo a la profundidad del muestreo, encontrándose mayor cantidad de N, P, K, Cu, Zn y Mn en el estrato de 0-30 cm (Cuadro 22).

Cuadro 22. Contenido de macro y micronutrientes del suelo en la franja con árboles frutales de guayaba con y sin acolchado orgánico.

Nutriente	Acolchado			
	Con		Sin	
	Profundidad (cm)			
	0 a 30	30 a 60	0 a 30	30 a 60
N (%)	0.13	0.07	0.12	0.07
P (mg kg ⁻¹)	13.8	1.50	15.59	1.63
K (meq 100 g ⁻¹)	0.53	0.39	0.52	0.35
Ca (meq 100 g ⁻¹)	23.22	27.44	29.01	33.39

Nutriente	Acolchado			
	Con		Sin	
	Profundidad (cm)			
	0 a 30	30 a 60	0 a 30	30 a 60
Mg (meq 100 g ⁻¹)	8.90	12.01	9.23	11.46
Fe (mg kg ⁻¹)	26.69	14.60	20.49	13.17
Cu (mg kg ⁻¹)	3.02	2.30	2.54	2.07
Zn (mg kg ⁻¹)	0.70	0.31	0.62	0.26
Mn (mg kg ⁻¹)	28.10	11.60	19.89	11.71

El contenido de N fue mayor en los primeros 30 cm, debido a la acumulación de hojarasca en la superficie del suelo, que cuando se mineraliza libera N (Arriaga *et al.*, 2020).

Sin embargo, debido a la naturaleza de los componentes del acolchado que consiste en residuos de podas, ramas secas, frutos y de residuos de cosecha del cultivo de maíz, no hay liberación inmediata de nitrógeno aprovechable en el suelo. Cuando los residuos tienen una alta relación C/N ocurre un abatimiento temporal conocido como inmovilización microbiológica del N mineral del suelo. Al momento de la descomposición de los residuos, los microorganismos encargados de esa función utilizan N del suelo en lugar de suministrarlo (Alcántar *et al.*, 2016).

El contenido de P fue mayor en los primeros 30 cm. El P presenta escasa movilidad en el suelo y cuando se aplican dosis altas mediante fertilizantes, residuos y enmiendas orgánicas, se acumula en el suelo y, por lo tanto, la cantidad disponible para las plantas, también se incrementa (Castellanos, 2016).

El contenido de K fue similar en el estrato de 0-30 cm y en el de 30-60 cm fue moderadamente bajo en el suelo acolchado y bajo sin acolchado. Esto indica que los residuos de cosecha han aumentado escasamente el contenido de K.

La cantidad de K intercambiable de un suelo se relaciona con la capacidad de intercambio de cationes y la mineralogía del suelo, el cual puede ser modificado por el manejo (Rodríguez, 1990).

El K intercambiable se considera como la fuente primaria de K para las plantas, puesto que reemplaza rápidamente al K absorbido de la solución del suelo. Los componentes del sistema de K en el suelo (soluble, intercambiable y no intercambiable) se encuentran en equilibrio dinámico, el cual se modifica por las entradas de K al sistema, a través de la fertilización y los residuos de cosecha, y por las salidas del mismo mediante la absorción de K por los cultivos. Si las dos primeras son bajas, los suelos deben ser complementados con fertilizantes potásicos para incrementar su disponibilidad (Aguado *et al.*, 2002).

Cuando el K extraído por los cultivos no se reincorpora al suelo se requiere aplicaciones elevadas de K como fertilizante, ya que sólo después de la saturación de los sitios altamente específicos (bordes y espacios entre las capas de arcilla), el K aplicado ocupará la superficie plana de las arcillas, de donde puede abastecer a la solución del suelo y los cultivos (Zúñiga *et al.*, 2010).

En cuanto al Ca y Mg, el suelo tuvo contenidos altos de ambos elementos. La presencia de Ca y Mg en el proceso de intercambio de cationes, también podría conducir a bajas concentraciones de K en el suelo (Rendana *et al.*, 2016).

Por otro lado, el contenido de micronutrientes en el suelo fue de muy bajo a bajo en zinc, de medio a moderadamente alto en manganeso, moderadamente alto en hierro y de muy alto a muy alto en cobre.

La mayor concentración de estos elementos se obtuvo en los primeros 30 cm y de acuerdo a Estévez *et al.* (1998) la mayor disponibilidad de metales como Fe, Cu, Zn y Mn está en los primeros centímetros y se relaciona con los ciclos orgánicos.

Por otro lado, Sadeghzadeh (2013) señala que la disponibilidad de micronutrientes, con excepción del molibdeno, generalmente disminuye a medida que aumenta el pH del suelo, lo cual se observó únicamente con los elementos Zn y Mn.

El aumento del pH del suelo estimula la adsorción de Zn a la superficie de varios componentes del suelo, como los óxidos metálicos y minerales arcillosos; esto da como resultado disminuciones en la solubilidad y disponibilidad de Zn para las plantas. El Zn puede precipitarse en forma de $Zn(OH)_2$, $ZnCO_3$ y Zn_2SiO_4 a pH alto (Sadeghzadeh, 2013).

Los síntomas visuales de deficiencia de Zn en los cultivos, generalmente ocurren solo en casos de deficiencia relativamente severa. En la deficiencia marginal, la calidad y el rendimiento del cultivo pueden verse reducidos debido a la deficiencia oculta de Zn sin síntomas notorios (Alloway, 2004).

La concentración de Mn disminuye porque la forma Mn^{2+} es oxidada por los microorganismos a Mn^{3+} o Mn^{4+} al disminuir el O_2 para formar H_2O , generando de manera simultánea óxidos insolubles (MnO_2). Aunque, también, química y espontáneamente el Mn^{2+} se oxida en suelos alcalinos aireados y se convierte de Mn soluble a hidróxidos ($MnOOH$), los cuales, a su vez, reaccionan con O_2 y forman MnO_2 (McBride, 1994).

Por su parte Uvalle y Osorio (1999) señalan que la reducción de la disponibilidad de Mn en el suelo se atribuye a pH alto, suelos con alto contenido de carbonatos, exceso de humedad y pobre aireación, bajas temperaturas del suelo, interacción con altas concentraciones de Cu, Fe y Zn en el suelo.

El análisis de suelo indica un abastecimiento suficiente de Ca, Mg, Fe y Cu para el cultivo, mientras que los contenidos de N, P, K, Zn y Mn ponen de manifiesto la importancia de la fertilización para mejorar el rendimiento y la calidad de la guayaba, ya que la última fertilización se realizó hace 10 años con N, P, K y pollinaza de la cual ya no hay efecto residual en el suelo. Esto debido a que los estiércoles se mineralizan en 70% a partir del primer año de aplicación, con efecto residual en el suelo hasta por 2 años y el resto se transforma en humus, que se incorpora al suelo y produce un efecto benéfico en la estructura del suelo durante el primer año (Barber *et al.* 1992).

5.2.2 Estatus nutrimental del árbol de guayaba

Los árboles con y sin acolchado del suelo presentaron concentraciones adecuadas de P, Ca, Mg, Fe, Cu y Zn, mientras que las de N, K y Mn fueron bajas, de acuerdo a los valores de referencia de Dupleis *et al.* (1973); Kotur *et al.* (1997); Natale *et al.* (2002).

Cuadro 23. Concentración nutrimental en materia seca de hojas de árboles de guayaba 'Pera' en etapa de floración cultivados con y sin acolchado del suelo en el sistema MIAF.

Nutriente	Acolchado	
	Con	Sin
N (%)	1.71	1.68
P (%)	0.20	0.20
K (%)	1.26	1.24
Ca (%)	1.16	1.10
Mg (%)	0.35	0.30
Fe (mg kg ⁻¹)	98.42	80.52
Cu (mg kg ⁻¹)	15.27	16.34
Zn (mg kg ⁻¹)	32.17	30.48
Mn (mg kg ⁻¹)	71.40	47.50

En este estudio la deficiencia de N, K y Mn están asociadas con el contenido de estos nutrientes en el suelo, al contenido alto de Ca y Mg en el suelo y a la nula aplicación de fertilizantes potásicos, nitrogenados y micronutrientes.

Esto debido a que, en los frutales, los factores que influyen en la concentración nutrimental son: el crecimiento vegetativo, la edad de la hoja, la posición de la hoja en el brote, la fertilización (Young y Koo, 1976), el portainjerto, la variedad, la carga de frutos (Fallahi *et al.*, 2002), las condiciones del suelo, el clima y el manejo del árbol (Volke *et al.*, 2017).

Young y Koo (1976) reportaron que el alto nivel de Ca en el suelo favorece la absorción de Ca a través del flujo de masa, pero tiende a impedir la absorción de otras bases que están "fijadas" en suelos alcalinos, o pueden estar en niveles bajos en el suelo.

Además, Volke *et al.* (2017) observaron un efecto negativo del Mg del suelo sobre la absorción de Mn y Fe por la planta, así como de fertilizantes cálcicos y amoniacales sobre la absorción de K. Esto se atribuyó al efecto antagónico que ocurre ya sea por las reacciones a nivel del suelo o en la superficie de la raíz.

Por otro lado, el contenido de P fue bajo en la capa de 30-60 cm y el zinc varió de moderadamente bajo a muy bajo, respectivamente; sin embargo, la concentración en la hoja fue adecuada (Natale *et al.* 2002). Esto debido a que el análisis de suelo puede no ser un estimador adecuado del estatus nutrimental del árbol por el volumen de suelo explorado (Volke *et al.*, 2017).

El contenido de macronutrientes en las hojas concuerda con los resultados de Natale *et al.* (2002) quienes reportaron el siguiente orden de extracción N > K > Ca > Mg > P.

Carranca *et al.* (2018) indican que el N a menudo se considera el nutriente mineral más importante. Es un componente de la molécula de clorofila, enzimas, vitaminas y participa en la síntesis de aminoácidos y en la síntesis de proteínas. Es importante para la división celular y el crecimiento de tejidos jóvenes (por ejemplo, brotes, flores y hojas).

Los árboles con y sin acolchado del suelo presentaron concentraciones similares de nutrientes en los frutos (Cuadro 24). Esto debido a que el acolchado no afectó el contenido de nutrientes del suelo, las propiedades físicas y químicas del suelo y la carga de frutos fue similar.

Cuadro 24. Concentración nutrimental en materia seca de frutos de guayaba ‘Pera’ cultivados con y sin acolchado en el sistema MIAF.

Nutriente	Acolchado	
	Con	Sin
N (%)	0.72	0.73
P (%)	0.10	0.11
K (%)	1.28	1.30
Ca (%)	0.13	0.14
Mg (%)	0.07	0.08
Fe (mg kg ⁻¹)	60.43	52.80

Nutriente	Acolchado	
	Con	Sin
Cu (mg kg ⁻¹)	10.78	10.87
Zn (mg kg ⁻¹)	13.65	13.45
Mn (mg kg ⁻¹)	4.36	4.14

El orden de extracción nutrimental en los frutos de guayaba ‘Pera’ fue: K> N> Ca> P> Mg> Fe> Zn> Cu> Mn.

En su investigación Natale *et al.* (2002) reportaron que los cultivares de guayaba Rica y Paluma presentaron el siguiente orden de extracción y acumulación de nutrientes en los frutos: K> N> P> S≥ Mg≥ Ca > Mn>Fe>Zn>Cu>B. Los resultados del presente estudio concuerdan con el orden de extracción de K y N, así como con Fe, Zn y Cu, y difiere con la de Mn, ya que fue el micronutriente con menor concentración en el fruto, probablemente porque fue deficiente en las hojas de los árboles de guayaba “Pera”.

Por otra parte, concuerdan con el orden de extracción de macronutrientes reportada por Araujo *et al.* (1997). Con excepción de N y K, la guayaba “Criolla Roja” extrajo nutrientes en el siguiente orden N > K> Ca> P> Mg.

Se encontró que los nutrientes que más se movilizaron de las hojas a los frutos fue K, P y N, en menor cantidad Mg y Ca (Cuadro 23, 24), lo cual coincide con lo que reportaron Chetri *et al.* (1999), los frutos en desarrollo se consideran puntos de alta demanda de N, P y K, ya que estos nutrientes se movilizan desde las hojas hacia los frutos.

También Mishra (2014) encontró que los frutos eran una fuente importante de remoción de N, P y K. El concluyó que los frutos del árbol de guayaba extraen una gran cantidad de N, P y K del suelo. Para producir una cosecha abundante año tras año, estos nutrientes deben reponerse en forma de abono y fertilizantes.

En el cuadro 25 se muestra que en frutos de guayaba “Pera” la extracción nutrimental de todos los nutrientes excepto de Mn fue mayor que los que reportaron Natale *et al.* (2002). Ellos reportaron una extracción en kg Mg⁻¹ de fruta fresca de: 1.17-1.32 N, 0.12-0.16 P,

1.55-2.18 K, 0.09-0.11 Ca, 0.10-0.11 Mg y en g Mg⁻¹ de fruta fresca de: 1.88-2.21 Fe, 0.83-1.34 Cu, 1.52-1.88 Zn y 1.88-2.90 Mn.

Por otro lado, en frutos de guayaba del tipo “Criolla Roja” se reportó una extracción superior al del cv. “Pera”, excepto en K. La extracción de nutrientes en kg Mg⁻¹ de fruta fresca fue 1.83 N, 1.62 K, 0.90 Ca, 0.39 P y 0.22 Mg kg Mg⁻¹ (Araujo *et al.*, 1997).

La información sobre la composición mineral de los frutos es importante no solo para los programas de fertilización y restauración de suelos, sino también para el mantenimiento de la fertilidad del suelo (Natale *et al.* 2002).

Cuadro 25. Concentración y extracción nutrimental por el fruto de guayaba ‘Pera’ cultivados con y sin acolchado del suelo en el sistema MIAF.

Nutriente	Acolchado			
	Con	Sin	Con	Sin
	Concentración nutrimental (g kg ⁻¹ ms)		Extracción nutrimental (kg Mg ⁻¹ de fruto fresco)	
N	7.2	7.3	1.41	1.53
P	1.0	1.1	0.20	0.23
K	12.8	13	2.50	2.72
Ca	1.3	1.4	0.25	0.29
Mg	0.7	0.8	0.14	0.17
	(mg kg ⁻¹ ms)		(g Mg ⁻¹ de fruto fresco)	
Fe	60.43	52.80	11.80	11.04
Cu	10.78	10.87	2.11	2.27
Zn	13.65	13.45	2.67	2.81
Mn	4.36	4.14	0.85	0.87

5.2.3 Rendimiento y calidad de fruto

De acuerdo al análisis de varianza, la variable que presentó diferencia estadística por el acolchado del suelo fue la materia seca (ms) del fruto (Cuadro 26).

Cuadro 26. Análisis de varianza del rendimiento y de la calidad de fruto de guayaba ‘Pera’ cultivados con y sin acolchado del suelo en el sistema MIAF.

Fuente de variación	PF†	RF‡	MS§	FI¶	DP**	DE‡‡	SST§§
Acolchado	NS	NS	*	NS	NS	NS	NS

Fuente de variación	PF†	RF‡	MS§	FI¶	DP**	DE‡‡	SST§§
C.V. (%)	17.4	18.2	7.64	27.41	6.51	7.63	11.94
Media	68.09	3068	20.22	15.31	54.21	50.61	11.94

C.V.= coeficiente de variación. **= altamente significativo ($p \leq 0.001$); *=significativo ($p \leq 0.05$); NS=no significativo ($p > 0.05$). †PF= peso de fruto; ‡RF= rendimiento de fruto; §MS= materia seca; ¶FI= firmeza; **DP= diámetro polar; ‡‡DE= diámetro ecuatorial; §§SST= sólidos solubles totales.

El peso del fruto varió de 64.14 a 72.05 g fruto⁻¹ y el rendimiento de 2991 a 3145 kg ha⁻¹ MIAF y no fueron afectados por el acolchado del suelo (Figura 10).

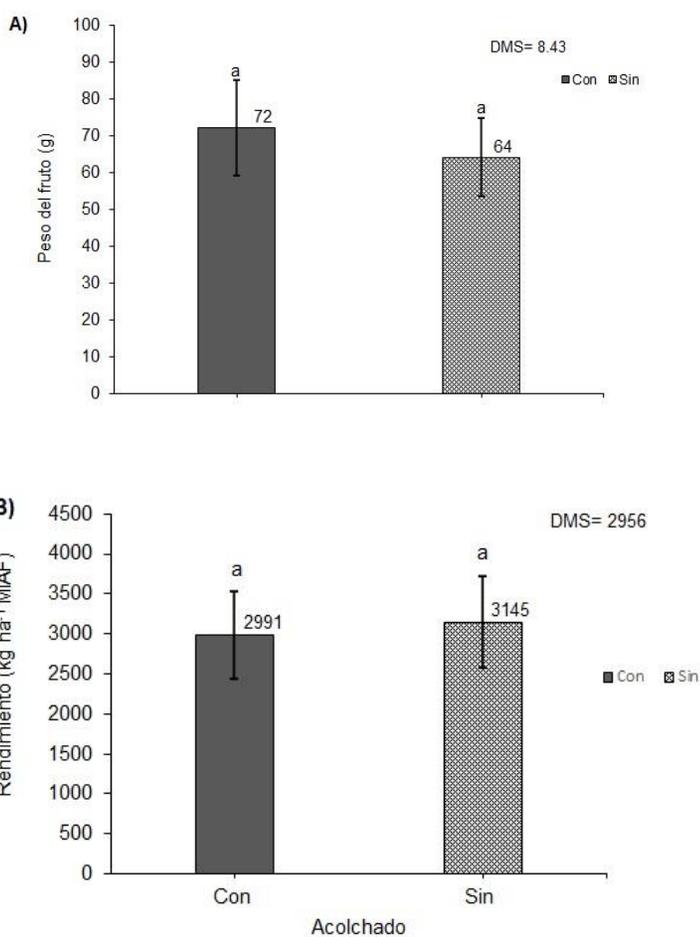


Figura 10. Efecto del acolchado en (A) el peso y (B) el rendimiento de fruto de guayaba 'Pera'.

Letras distintas dentro de la gráfica indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($p < 0.05$). Las barras verticales indican la desviación estándar.

De acuerdo a González *et al.* (2002) los frutos son de primera clase pues su peso está en el intervalo de 60 a 90 g. Sin embargo, de acuerdo con Rojas y Narváez (2009) el peso de los frutos es bajo, ya que ellos reportaron un peso promedio de 136 g para la variedad de guayaba “Pera”.

Esto se atribuye a la concentración deficiente de N en el suelo y en las hojas; ya que Terán *et al.* (1996) reportaron diferencias significativas para el tamaño, peso y número de frutos de guayaba por árbol con la aplicación de N.

Por otro lado, Laguado *et al.* (2002) reportaron que los frutos de guayaba con una curva de crecimiento de tipo doble sigmoide, durante la etapa III el tamaño del fruto puede disminuirse por estrés hídrico, indicando la necesidad de un buen suministro de agua (Araujo *et al.*, 1997).

En el presente estudio, de la etapa de floración a madurez de cosecha fueron aproximadamente 125 días (11 de octubre a 21 de febrero), por lo tanto, la etapa III pudo haber ocurrido a partir de mediados de enero a febrero, periodo en el cual la precipitación varía de 0 a 18 mm mensuales, por lo que el fruto pudo estar creciendo bajo condiciones de agobio hídrico. Por esta razón sería importante conocer el crecimiento y acumulación de nutrientes en esta variedad.

El rendimiento de fruto también se relaciona con la deficiencia de N, ya que es un nutriente fundamental de moléculas biológicas como nucleótidos, aminoácidos y proteínas, y constituye un nutrimento clave para el crecimiento y desarrollo del árbol; por lo tanto, la aplicación de fertilizantes nitrogenados resulta crucial para elevar la productividad (Gómez *et al.*, 2015). Los árboles con deficiencia de N tienen una baja carga de fruta y son muy erráticos en su hábito de fructificación (Carranca *et al.*, 2018).

Por otra parte, Volke *et al.* (2018) reportaron que la caída de fruto cuando inicia el desarrollo se considera causa de bajo rendimiento, y los micronutrientes que se asociaron con esto fueron B, Cu y Mn. En el caso de Cu y Mn la caída del fruto se asoció con el contenido de estos nutrientes en el suelo y no con las concentraciones en las hojas en la etapa de 25-50% de floración. La caída del fruto fue abundante con un contenido

de Mn de 20 a 30 mg kg⁻¹ y de medio a abundante con un contenido de 1 a 3 mg kg⁻¹ de Cu.

En este estudio las concentraciones de Mn y Cu en el suelo variaron de 11.60-28.10 y 2.07-3.02, respectivamente. Esto también podría estar relacionado con los bajos rendimientos de guayaba. Por ello es necesario la aplicación de fertilizantes al suelo.

Camas (2011) reportó un rendimiento de guayaba Pera de 3.8 t 0.33 ha⁻¹ en el quinto año, en el mismo sitio experimental. A pesar que en los primeros años del árbol los rendimientos son más bajos (Volke *et al.* 2018), este rendimiento superó el rendimiento que se obtuvo en el año del estudio.

Por otro lado, de acuerdo a Fischer *et al.* (2012) la vida productiva del árbol de guayaba se encuentra entre 15 a 20 años (Fischer *et al.*, 2012) y hasta 22 años según Volke *et al.* (2018), dependiendo de la variedad y del manejo. Tomando en cuenta lo anterior, los árboles de la parcela MIAF deberían ser reemplazados debido a que tienen aproximadamente 22 años de establecidos y 18 años en producción.

Cuadro 27. Comparación de medias para la calidad de fruto de guayaba ‘Pera’ cultivado con y sin acolchado del suelo en el sistema MIAF.

Acolchado	MS [†]	FI [‡]	DP [§]	DE [¶]	SST ^{**}
	%	N	mm		° Bx
Con	19.5 ± 1.4 a	13.4 ± 2.7 a	54.34 ± 3.0 a	51.84 ± 2.7 a	11.73 ± 1.3 a
Sin	20.9 ± 1.9 b	17.2 ± 5.1 a	53.52 ± 4.2 a	48.85 ± 4.7 a	12.23 ± 1.4 a
DMS	1.31	3.83	5.0	5.0	2.0

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($p < 0.05$). ± Desviación estándar. DMS= Diferencia mínima significativa. [†]MS= materia seca; [‡]FI= firmeza; [§]DP= diámetro polar; [¶]DE= diámetro ecuatorial; ^{**}SST= sólidos solubles totales.

El contenido de materia seca (ms) del fruto presentó diferencias estadísticas entre tratamientos (Cuadro 27); sin embargo, en ambos casos concuerda con reportes que señalan que los frutos de guayaba contienen entre 12 y 26% de ms (Arenas *et al.*, 1999).

Damián *et al.* (2004) reportaron que en los meses con máxima fructificación (mayo y junio) el contenido de ms del fruto cv. "Media China" fue de 25.3%, mientras que en "Criolla Roja" el fruto tuvo 18.6% ms (Araujo *et al.*, 1997).

Arenas de moreno *et al.* (1999) mencionan que la acumulación de ms y el contenido de humedad de los frutos del guayabo dependen del manejo agronómico y de las condiciones agroecológicas de donde proceden, así como del mes en el que se realiza la cosecha de los frutos.

La firmeza no presentó diferencias estadísticas, pero el tratamiento sin acolchado tendió a ser más alta con 17.2 Newtons (N) comparado con el tratamiento con acolchado que tuvo 13.4 N (Cuadro 27).

De acuerdo con Toivonen y Brummell (2007) la firmeza está determinada en gran medida por la anatomía física del tejido, en particular el tamaño, la forma y el empaquetamiento de las células, el grosor y la resistencia de la pared celular y el grado de adhesión de una célula a otra, junto con el estado de turgencia. Las paredes celulares del fruto sufren una degradación natural durante la maduración, lo que reduce la firmeza de la pared celular y la adhesión intercelular

Además, Vicente *et al.* (2007) mencionan que la despolimerización de la pectina parece ser la principal causa de pérdida de firmeza en algunas bayas blandas, como la guayaba.

Por otro lado, Contreras *et al.* (2011) señalan que los iones de calcio mantienen la estructura de la pared celular de los frutos al retener niveles altos de pectinas unidas iónicamente para formar pectatos de calcio, los cuales proporcionan una mejor firmeza al tejido.

Con base en lo anterior, la firmeza se asoció con la maduración, ya que los frutos no presentaron diferencias en la concentración de calcio.

Estos resultados son corroborados por Gutiérrez *et al.* (2012) quienes reportaron en frutos de guayaba 'Pera' una firmeza inicial de ± 19.61 N y de 9.80 N a los 12 días postcosecha, e indicaron que a medida que avanza el proceso de maduración, el fruto presenta menor resistencia a la penetración.

El DP y DE varió de 5.35 a 5.43 cm y de 4.88 a 5.18 cm, respectivamente (Cuadro 27). Para el DE del fruto la Norma Mexicana NMX-FF-040-SCFI-2002 especifica cuatro categorías: A= >5.0 cm; B= 4.0-4.9 cm; C= 3.0-3.9 cm y D= < 2.9 cm; por lo tanto, los frutos del tratamiento con acolchado se encuentran en la categoría A y los frutos con tratamiento sin acolchado se encuentran en la categoría B.

La relación de los diámetros indica la forma del fruto. Así, los frutos con valores cercanos a 1.0 son más redondos, mientras que valores entre 1.1 y 1.2 son frutos de forma ovoide y mayores de 1.2 tienden a ser de forma aperada. El intervalo para esta variable fue de 1.04 a 1.09 lo que indica que se obtuvieron frutos redondos, diferente de lo que se espera obtener en frutos de guayaba 'Pera'.

Además, los valores son menores a los reportados por Rojas y Narváez (2009) quienes reportaron un DP y DE de 6.6 y 5.1 cm, respectivamente, con una relación de diámetros de 1.29 cm, es decir, frutos con la forma aperada.

Los SST (°Brix) variaron de 11.73 a 12.23, que son superiores a los que obtuvieron Rojas y Narváez (2009) en guayaba "Pera" cultivadas en Colombia (7.5 °Brix), y similares a los que reportaron Aguilera *et al.* (2020) de 10.7° Brix. Mientras que, en un estudio en el Bajío, Guanajuato realizado por Mondragón, *et al.* (2009) en genotipos de pulpa rosa y salmón reportaron 10.1 a 13.1 °Brix y para el testigo "Media China" 11.6 °Brix, que son similares con los obtenidos en este estudio.

Padilla *et al.* (2010) señalan que esta característica puede ser influenciada por el clima, especialmente por la temperatura del aire y la humedad del suelo que prevalecen en la última etapa de maduración del fruto. Temperaturas más bajas y menores precipitaciones en la semana previa a la maduración del fruto de guayaba favorecen la acumulación de SST. En este estudio la maduración de los frutos ocurrió en el periodo de invierno; durante el cual se presentan las menores temperaturas y precipitaciones del año.

Además, una mayor concentración de K en las hojas de los árboles favorece la tasa de transporte de sacarosa en el floema (Havlin *et al.*, 2017). La concentración de K fue similar en ambos tratamientos. Esto explica porque no hubo diferencia en los °Brix.

De acuerdo a la carta de colores de la Royal Horticultural Society (2015) los frutos cosechados pertenecen a los grupos “amarillo claro”, “amarillo medio” y “naranja amarillento medio”.

De los frutos del tratamiento con acolchado el 89% correspondió a amarillo claro, 8% amarillo medio y 3% naranja amarillento medio”, mientras que del tratamiento sin acolchado fue el 90, 9 y 1%, respectivamente.

La guayaba presenta una respiración climatérica y es causada por la producción de etileno en el fruto, lo cual incide en la maduración generando el cambio de textura y color de verde a amarillo (Bidwell, 1979).

García (2011) señala que el color y su uniformidad son dos de las principales características que determinan la calidad de un fruto u hortaliza y se utiliza frecuentemente como un índice de frescura, palatabilidad y valor nutricional del producto, ya que se relaciona con la intensidad del sabor y la dulzura, siendo el más importante en la aceptabilidad del producto.

5.2.4 Análisis económico

Cuadro 28. Costos fijos (CF), costos variables (CV), costos totales (CT), ingresos totales (IT), ingresos netos (IN) y tasa de retorno (TR) en función del rendimiento de fruto de guayaba ‘Pera’ cultivado con y sin acolchado del suelo en el sistema MIAF.

Acolchado	RG [†]	CF‡	CV [§]	CT [¶]	IT [#]	IN ^{††}	TR
	Kg						
Con	2991	5540	1994	7534	19,441	11907	1.58
Sin	3145	4990	2097	7087	20,443	13356	1.88

[†]RG= rendimiento de guayaba; [‡]CF= incluye costos de filtro de escurrimiento (en caso del suelo con acolchado), manejo de cultivo, podas, cosecha, transporte; [§]CV= compra de rejas de madera para fruta; [¶]CT= costo fijo + costo variable; [#]IT= rendimiento x costo de kg de guayaba (\$6.50); ^{††}IN= ingreso total – costo total; ^{*}TR= ingreso neto/costo total.

El análisis económico de fruto de guayaba ‘Pera’ indicó que el tratamiento con mayor tasa de retorno (TR) fue sin acolchado del suelo; por cada peso invertido se recuperó \$1.88, mientras que con acolchado del suelo se recuperó \$1.58. Lo anterior se atribuye a que el rendimiento fue mayor por 154 kg que equivalen a \$1,000.00 (Cuadro 28).

Asimismo, el costo total fue menor debido a que no se gastó en mano de obra para colocar el filtro de escurrimientos o acolchado del suelo.

VI. CONCLUSIONES

- El arreglo topológico en surcos con una anchura menor a 80 cm no incrementó significativamente el rendimiento de maíz y frijol.
- El método de labranza de conservación incrementó el rendimiento de maíz en un año en el que se presentaron periodos de sequía durante el ciclo del cultivo.
- El acolchado orgánico del suelo en la franja de los árboles de guayaba no incrementó el rendimiento y calidad del fruto.
- El índice de área foliar y el área foliar específica influyeron solo en el rendimiento de frijol.
- El rendimiento de maíz no fue afectado por una menor interceptación de radiación fotosintéticamente activa.
- El estatus nutrimental de los árboles de guayaba fue igual con y sin acolchado del suelo.
- Con el sistema MIAF se incrementó la eficiencia relativa de la tierra y el ingreso neto.

VII. RECOMENDACIONES

- Para futuras investigaciones en las que se evalúe el arreglo topológico, se recomienda utilizar la misma densidad de población y dosis de fertilización en todos los arreglos topológicos para que no haya confusión en la comparación.
- Se recomienda establecer un experimento con surcos de 60 cm de ancho con el arreglo topológico 1x1 y 2x2 e incluir al cultivo simple con repeticiones.
- Evaluar densidades de población menores a 170 mil plantas ha⁻¹ de maíz debido se observó más daños a la mazorca por diplodia y fusarium en el arreglo topológico 2x2sa.
- Realizar trabajos con otros materiales genéticos, por ejemplo, con materiales nativos de la región.
- En los sistemas MIAF que se utilice guayaba Pera, se recomienda establecer rangos de suficiencia nutrimental foliar, en la región, así como evaluar el crecimiento y acumulación de nutrientes de esta variedad.
- Eliminar los árboles de guayaba y replantar con una especie de árboles frutales diferente a la guayaba, como limón persa o guanábana.

VIII. LITERATURA CITADA

- Acosta G. J. A., R. Rosales S., R. Navarrete M., E. López S. (2000). Desarrollo de variedades mejoradas de frijol para condiciones de riego y temporal en México. *Agricultura Técnica en México*. 26(1):79-98.
- Aguado-Lara, G., Etchevers-Barra, JD, Hidalgo-Moreno, C., Galvis-Spínola, A. y Aguirre-Gómez, A. (2002). Dinámica del potasio en suelos agrícolas. *Agrociencia*, 36 (1), 11-21.
- Aguilera N. (1989). Tratado de Edafología de México, Tomo I, Laboratorio de Investigación de Edafología, Departamento de Biología, Facultad de Ciencias Universidad Nacional Autónoma de México. México. 222 p.
- Aguilera-Arango, G. A., Rodríguez-Henao, E., Chaparro-Zambrano, H. N., y Orduz-Rodríguez, J. O. (2020). Estado actual de la investigación para el cultivo de guayaba en Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 845–860. <https://doi.org/10.15517/am.v31i3.40207>
- Ahmad, N. (1983). Vertisols. In: L.P. Wilding, N.E. Smeck and G.F. Hall (eds.). Pedogenesis and Soil Taxonomy. II. The Soil Orders. Developments in Soil Science IIB. *Elsevier*. Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo, pp. 91-123.
- Albino G. R., A. Turrent F., J. I. Cortés F., M. Livera M. y M. C. Mendoza C. (2015). Distribución de raíces y de radiación solar en el dosel de maíz y frijol intercalados. *Agrociencia* 49: 513-531.
- Albino G. R., A. Turrent F., J.I. Cortés F., A. González E., M.C. Mendoza C., V.H. Volke H. y H. Santiago M. (2016). Optimización económica de N, P, K y densidades de población de maíz y frijol intercalados. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 7:993-1004.
- Albino-Garduño R., A. Turrent-Fernández, J. I. Cortés-Flores, H. Santiago-Mejía, M. Mendoza-Castillo y C. Jacinto-Hernández. (2016). Rendimiento y proteína del maíz intercalado con frijol en arreglos topológicos, densidades y fertilización. *Acta agrícola y pecuaria*, 2: 62-71.
- Alcántar G., G., Trejo T., L. y Gómez M., F. (2016). Nutrición De Cultivos. 2da. edición. Colegio de Postgraduados, Texcoco, México. 440 p.
- Alvarado, A. y Forsythe, W. (2005). Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. *Agronomía costarricense*, 29:85-94
- Alves A. F., M. J. Andrade, N. M. Vieira and P. M. Rezende. (2008). Grain yield of four new bean cultivars based on plant density. Ann. Report Bean Improv. Coop. 51: 242-243.
- Amanullah, A. (2015). Specific Leaf Area and Specific Leaf Weight in Small Grain Crops Wheat, Rye, Barley, and Oats Differ at Various Growth Stages and NPK

- Araujo, F., Quintero, S., Salas, J., Villalobos, J. y Casanova, A. (1997). Crecimiento y acumulación de nutrientes del fruto de Guayaba (*Psidium guajava* L.) del tipo “Criolla Roja” en la planicie de Maracaibo. *Revista de La Facultad de Agronomía*, 14 (3).
- Arellano V., I., Pinto R., R., Guevara H., F., Reyes M., L., Hernández S., D., y Ley de Coss, A. (2017). Caracterización del uso directo del rastrojo de maíz (*Zea mays* L.) por bovinos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(5), 1117-1129. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i5.236>
- Arenas de Moreno, L., Marín, M., Peña, D., Toyo, E., and Sandoval, L. (1999). Contenido de humedad, materia seca y cenizas totales en guayabas (*Psidium guajava* L.) cosechadas en granjas del municipio Mara del estado Zulia. *Revista De La Facultad De Agronomía De La Universidad Del Zulia*, 16(1).
- Arriaga-Vázquez, A. M., M. R. Martínez-Menez, J. E. Rubiños-Panta, D. S. Fernández-Reynoso, J. Delgadillo-Martínez y A. Vázquez-Alarcón. (2020). Propiedades químicas y biológicas de los suelos en milpa intercalada con árboles frutales. *Terra Latinoamericana* 38: 465-474. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.599>
- Báez P., A., Limón O., A., González M., L., Ramírez B., C. E., y Bautista- Cruz, A. (2017). Efecto de las prácticas de agricultura de conservación en algunas propiedades químicas de los Vertisoles. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(4), 759. <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i4.5>
- Barber, K. L., Maddux, L. D., Kissel, D. E., Pierzynski, G. M., and Bock, B. R. (1992). Corn Responses to Ammonium- and Nitrate-Nitrogen Fertilization. *Soil Science Society of America Journal*, 56(4), 1166–1171. <https://doi.org/10.2136/sssaj1992.03615995005600040027x>
- Base Referencial Mundial del recurso suelo, WRB (2015). Base referencial mundial del recurso suelo, 2014, Actualización, 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. FAO, Roma. <https://www.iec.cat/mapasols/DoculInteres/PDF/Llibre59.pdf> (noviembre, 2020).
- Bates, R. G. (1965) Electrometric pH determination. John Wiley and sons, New York, USA. Coleman et al. 1951. on the validity of interpretations potentiometrically measured soil pH. *J. Soil Science Society of American Journal*. 15:106-110.
- Bergamaschi, H., Dalmago, G. A., Comiran, F., Bergonci, J.I., Müller, A. G., França, S., Pereira, P. G. (2006). Deficit hídrico e produtividade na cultura do milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41(2), 243–249. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2006000200008>

- Beuchelt T.D., C. T. Camacho V., L. Göhring, V. M. Hernández R., J. Hellin, K. Sonder and O. Erenstein. (2015). Social and income trade-offs of conservation agriculture practices on crop residue use in Mexico's central highlands. *Agricultural Systems* 134:61-75. <https://sci-hub.se/https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.09.003>
- Borja B., M., Reyes M., L., Espinosa G., J. A., y Vélez I., A. (2013). Producción y consumo de rastrojos en México. Rastrojos: manejo, uso y mercado en el centro y sur de México. pp. 12-35.
- Borroel G.V.J., L. Salas P., M.G. Ramírez A., J.D. López M. y J. Luna A. (2018). Rendimiento y componentes de producción de híbridos de maíz en la Comarca Lagunera. *Terra Latinoamericana* 36:423-429.
- Burgess S.S.O., M. A. Adams, N.C. Turner N.C and C.K. Ong (1998). The redistribution of soil water by tree root systems. *Oecologia* 115:306-311.
- Caballero S. J., A. Moreno R., J. L. Reyes C., J. García V., W. López B. y J.A. Jiménez T. (2017). Competencia del uso del rastrojo de maíz en sistemas agropecuarios mixtos en Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8: 89-102
- Camas G.R. (2011). "Erosión hídrica, captura de carbono y uso de la radiación solar y agua en tres sistemas de manejo, para la agricultura de laderas en el trópico subhúmedo de México", tesis de doctorado en Ciencias, Colegio de Postgraduados, campus Montecillo, Estado de México, México.
- Carranca, C., Brunetto, G., and Tagliavini, M. (2018). Nitrogen nutrition of fruit trees to reconcile productivity and environmental concerns. *Plants*, 7:1-12. <https://doi.org/10.3390/plants7010004>
- Carvalho. M., R. Soratto., M. Athayde., O. Arf., M. As de. (2004). Produtividade do milho em sucessão a adubos verdes no sistema de plantio direto e convencional. *Pesq. Agropc. Brás.* 39:47-53.
- Castellanos J. Z., J. D. Etchevers B., M. Peña D., S. García H., I. Ortiz M., A. Arango G., J. Macías C. y C. Venegas V. (2019). ¿Cómo crece y se nutre una planta de maíz? El Refugio, Querétaro, México. pp: 124.
- Castellanos J. Z., J. X. Uvalle-Bueno y A. Aguilar-Santelises (2000). Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas. 2a ed. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola. San Miguel de Allende, Guanajuato, México. 226 p.
- Chaudhry M.R., A. Malik and M. Sidhu (2004). Mulching impact on moisture conservation, soil properties and plant growth. *Pakistan Journal of Water Resources* 8: 1-8.
- Chaves B. N. y M. V. Gutiérrez S. (2017). Respuestas al estrés por calor en los cultivos. I. Aspectos moleculares, bioquímicos y fisiológicos. *Agronomía Mesoamericana* 28:237-253, <http://dx.doi.org/10.15517/am.v28i1.21903>.
- Chetri, K., Sanyal, D., and Kar, P. L. (1999). Changes in nutrient element composition of guava leaves in relation to season, cultivar, direction of shoot, and zone of leaf

sampling. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 30(1–2), 121–128. <https://doi.org/10.1080/00103629909370189>

- Contreras R., A., Martínez R., C. G., y Estrada C., G. (2012). Eficiencia en el uso de la radiación por híbridos de maíz de valles altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 35(2): 161-169. <https://doi.org/10.35196/rfm.2012.2.161>
- Contreras-Angulo, L. A., Heredia, J. B., Sánchez-Álvarez, C. E., Angulo-Escalante, M. Á., y Villarreal-Romero, M. (2011). Efecto del genotipo y sales de calcio en la calidad de tomates frescos cortados. *Revista Chapingo serie horticultura*, 17 (1), 39-45.
- Correa L. M. (2008). Pastoreo de rastrojos de maíz y soja en cría bovina intensiva. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Oliveros, Santa Fe, Argentina. pp: 15.
- Cortés F. J. I., A. Turrent, P. Díaz, E. Hernández, R. Mendoza y E. Aceves. (2005). Manual para el establecimiento y manejo del sistema milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) en laderas. Colegio de postgraduados, México. 27 p.
- Cortés F. J.I. y A. Turrent F. (2019). MIAF: una tecnología multiobjetivo sustentable para la agricultura tradicional, Campo Experimental Valle de México, CIRCE-INIFAP. Colegio de Postgraduados, Estado de México. pp. 189-204.
- Cortés F. J.I., A. Turrent F., E. Hernández R., N. F. Nicolás, J. P. Torres Z., A. Zambada M. y P. Díaz V. (2006). Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF), Colegio de Postgraduados, Especialidad de Edafología, Texcoco México, 11 p.
- Cortés, J. I. y A. Turrent F. (2012a). Una tecnología multiobjetivo para pequeñas unidades de producción. *In: Calva, J. L. (Coord.). Agenda para el desarrollo agropecuario forestal y pesquero*. UNAM. México. pp:162-178.
- Cortés, J. I., J.P. Torres, Z., A. Turrent F., E. Hernández R., S.A. Ramos y L. Jiménez (2012b). Manual Actualizado para el establecimiento y manejo del sistema milpa intercalada con árboles frutales (MIAF) en laderas. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México. 30 p.
- Cortés, J. I., Turrent, A., Díaz, P., Claro, P., Hernández, E., Aceves, E. y Mendoza, R. (2007). La milpa intercalada con árboles frutales (MIAF), una tecnología multiobjetivo para las pequeñas unidades de producción. En J. Calva (Ed.) *Desarrollo Agropecuario, Forestal y Pesquero Ciudad de México: Editorial M. A. Porrúa-Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)-Cámara de Diputados*. pp. 100-116.
- Cruz R.G., (2009). Manejo de suelos en condiciones de escasez de agua, *In: Actas del I y II Seminario del Agua*, Instituto de Estudios Almerienses (eds), España, 1997,145-166.

- Dahiya R, J. Ingwersen and T. Streck (2007). The effects of mulching and tillage on the water and temperature regimes of a loess soil: Experimental findings and modeling. *Soil and Tillage Research* 96: 52-63, <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2007.02.004>.
- Damián N., A., González H., V. A., Sánchez G., P., Peña V., C. B., Livera M., M., y Brito G., T. (2004). Crecimiento y fenología del guayabo (*Psidium guajava* L.) cv. Media China en Iguala, Guerrero. (2004). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 27(4), 349–358.
- Delgado, J. (2016). *In: ¿Cómo Crece y Se Nutre Una Planta De Maíz?* Castellanos, J. (ed.). Fertilab. Celaya, Guanajuato, México. pp:5-13.
- Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, USDA (2014). Claves para la taxonomía de suelos. https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051546.pdf (diciembre, 2020).
- Dumanski J., R. Peiretti, J. R. Benites, D. McGarry and C. Pieri. (2006). The paradigm of conservation agriculture. *Proceedings of World Association of Soil and Water Conservation* 7:58-64.
- Eduardo D. J., L. Tijerina C., R. Acosta H. y A. López J. (2001). Producción de ciruelo con fertirriego en función de contenidos de humedad y coberturas orgánicas. *Terra Latinoamericana* 19: 317-326.
- Erenstein, O., and Iñiguez, P. C. (1997). The adoption of conservation tillage in a hillside maize production system in Motozintla, Chiapas. NRG Paper 97-01. Mexico, D.F.: CIMMYT.
- Espinosa, J., y Molina, E. (1999). Acidez y encalado de los suelos. *Accs*, 1, 1-46. <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/libros/Acidez y encalado de suelos>
- FAO, Organización De Las Naciones Unidas Para La Agricultura Y La Alimentación, (2009). Guía para la descripción de suelos - Cuarta edición. Roma, Italia.99 p.
- Farshbaf-Jafari, S., Pirzad, A., Tajbakhsh, M., Ghassemi-Golezani, K. (2014). Effects of Water Supply and Plant Density on Leaf Characteristics of Amaranth (*Amaranthus Caudatus* L.). *International Conference on Sustainable Environment and Agriculture*, 76:17-21.
- Fischer, G., Melgarejo, L. M. y Miranda, D. (2012). Guayaba (*Psidium guajava* L.). Editorial Produmedios, Bogotá, pp. 526-549
- Fregoso T. L. (2008). Cambios en las características químicas y microbiológicas de un Vertisol inducidos por sistemas de labranza de conservación. *Terra Latinoamericana* 26:161-170.
- García S. R., D. Espinosa V., B. Figueroa S., N. E. García C. y J. F. Gallardo L. (2006). Reservas de carbono orgánico y de fracciones húmicas en un Vertisol sometido a siembra directa. *Terra Latinoamericana* 24: 241-251.

- García T., Y., García P., A., Hernández G., A., y Pérez P., J. (2011). Estudio de la variación del Índice de Color durante la conservación de la piña variedad Cayena Lisa a temperatura ambiente. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20:12-16.
- Garduño-González J., E. J. Morales-Rosales, S. Guadarrama-Valentín, y J.A. Escalante-Estrada, (2009). Biomasa y rendimiento de frijol con potencial ejotero en unicultivo y asociado con girasol. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 15:33-39.
- Gariglio N.F., R.A. Pilatti y M.A. Fonfría (2007). Requerimientos ecofisiológicos de los árboles frutales. *In: Árboles Frutales. Ecofisiología, cultivo y aprovechamiento*. Editorial Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires (Argentina). pp:41-82.
- Gebhardt, S., Fleige, H., and Horn, R. (2009). Effect of compaction on pore functions of soils in a saalean moraine landscape in North Germany. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 172:688-695. <https://doi.org/10.1002/jpln.200800073>
- Gee, G. W. and J. W. Bauder (1986). Particle size analysis. Part 1 *In: Klute, A. (ed.). Methods of soil analysis*. Am. Soc. Agron. Madison, Wisconsin, USA., 383-409.
- Ghosh, P. K., Bandyopadhyay, K. K., Wanjari, R. H., Manna, M. C., Misra, A. K., Mohanty, M., and Rao, A. S. (2007). Legume effect for enhancing productivity and nutrient use-efficiency in major cropping systems - An Indian perspective: A review. *Journal of Sustainable Agriculture*, 30:59-86. https://doi.org/10.1300/J064v30n01_07
- Gliessman S. R. (1990). Applied ecology and agroecology: Their role in the design of agricultural projects for the humid Tropics. *In: Race to save the tropics: Ecology and economics for a sustainable future*. F. Montagnini and R. Goodland (eds.). Island Press. Washington, DC, USA. pp: 33-47.
- Gómez M., F.C., L.I. Trejo, y A. Alarcón. (2015). Nutrición molecular de N, P y K en plantas. *In: Nutrición De Cultivos*. G. Alcántar G., L. Trejo y F. Gómez (eds). Colegio de Postgraduados, Texcoco, México. pp: 371-439
- González, E., Padilla R.J.S., Reyes M.L., Perales de la C.M.Á. y Esquivel, F. (2002). Guayaba su cultivo en México. México: Libro Técnico No. 1. INIFAP-CIRNOC-CEPAB. 182 p
- Grimble, R., and Wellard, K. (1997). Stakeholder methodologies in natural resource management: A review of principles, contexts, experiences and opportunities. *In Agricultural Systems*, 55:173-193. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(97\)00006-1](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(97)00006-1)
- Guerra, E., y Bautista, D. (2002). Contenido foliar de elementos nutricionales en tres clones de guayaba (*Psidium guajava* L.) en época de alta actividad de crecimiento. *Bioagro*, 14:99-104.
- Gutiérrez G., N., Dussan S., S. y Castro C., J. (2012). Fisiología y atributos de calidad de la guayaba “pera” (*Psidium guajava* cv.) en postcosecha. *Revista de Ingeniería*, 37: 26-30. <https://doi.org/10.16924/revinge.37.4>

- Gutiérrez-Castorena E. V., M. C. Gutiérrez-Castorena and C. A. Ortiz-Solorio. (2015). Carbon capture and pedogenetic processes by change of moisture regime and conventional tillage in Aridisols. *Soil and Tillage Research* 150: 114-123, <https://doi.org/10.1016/j.still.2015.02.001>.
- Hamdollah E. (2012). Intercropping of maize (*Zea mays*) with cowpea (*Vigna sinensis*) and mungbean (*Vigna radiata*): Effect of Complementarity of Intercrop components on resource consumption, dry matter production and legumes forage quality. *Journal of Basic and Applied Scientific Research* 2: 355-360.
- Hauser G.F. (1980). Diagnóstico de la fertilidad del suelo. *In: Nutrición De Cultivos*. G. Alcántar G., L. Trejo y F. Gómez (eds). Colegio de Postgraduados, Texcoco, México. pp: 221-238
- Havlin, J. L, Tisdale, S. L., Nelson, W. L. and Beaton, J. D. (2017). Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management. Eighth (Ed.). India. 520 p
- Havlin, J. L., S. L. Tisdale, W. L. Nelson, and J. D. Beaton. 1999. Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management. Prentice-Hall. Upper Saddle River, NJ, USA.
- Howden S.M., J.F. Soussana, F.N. Tubiello, N. Chhetri, M. Dunlop and H. Meinke. (2007). Adapting agriculture to climate change. *PNAS* 104:19691-19696, <https://doi.org/10.1073/pnas.0701890104>.
- Hunt R., 1978. Plant growth analysis. The Institute of Biology's Studies in Biology No. 96. Edward Arnold (Publishers) Limited. London, Great Britain. 67 p.
- Ingaramo, O., Paz, A., y Dugo, M. (2003). Evaluación de la densidad aparente en diferentes sistemas de laboreos de suelo, en el No de la Península Ibérica. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*, 1-4.
- Ismail I., R. L. Blevins and W. W. Frye. (1994). Long-Term No-tillage Effects on Soil Properties and Continuous Corn Yields. *Science Society of America Journal* 58:193-198. <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800010028x>.
- Juárez R. D., C. Fragoso (2014). Comunidades de lombrices de tierra en sistemas agroforestales intercalados, en dos regiones del centro de México. *Acta zoológica Mexicana* 30:637-654.
- Kalra, Y. P., and G. Maynard (1991). Methods manual for forest soil and plant analysis Forestry Canada, Northwest Region, Northern Forestry Centre, Edmonton, Alberta. Canada.
- Kindohoundé, N. S., Nodichao, L., Aholoukpè, N. S. H., and Saïdou, A. (2021). Mapping of soil nutrient deficiency in oil palm plantations of southern benin. *African Crop Science Journal*. 29:141-156. <https://doi.org/10.4314/acsj.v29i1.10>

- Kong, L. (2014). Maize residues, soil quality, and wheat growth in China. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. EDP Sciences, 34:405–416. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0182-5>
- Kozłowski T., S. Pallardy. (1997). *Physiology of woody plants*. 2a. ed. Academic Press. San Diego, C. 411p.
- Kraemer S., D. Crowley and R. Kretschmar (2006). Geochemical aspects of phytosiderophore-promoted iron acquisition by plants. *Advances in Agronomy* 91:1-46, [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(06\)91001-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(06)91001-3).
- Kramer P. (1989). *Relaciones hídricas de suelos y plantas*. Editorial Harla. México. 538p.
- Kumar, U., Mishra, V. N., Kumar, N., Srivastava, L. K., and Bajpai, R. K. (2020). Soil Physical and Chemical Quality under Long-Term Rice-based Cropping System in Hot Humid Eastern Plateau of India. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 51:1930-1945. <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1812628>
- Laguado, N., Marín, M., Arenas de Moreno, L., Araujo, F., Castro de Rincón, C., and Rincón, A. (2002). Crecimiento del fruto de guayaba (*Psidium guajava* L.) del tipo Criolla Roja. *Revista de La Facultad de Agronomía (LUZ)*, 19: 273-283.
- Lalitha BS, Nagaraj KH and Anard TN. (2001). Effect of soil solarisation on weed dynamics and yield of groundnut-tomato sequence. *Mysore Journal of Agricultural Sciences*, 35: 226-231.
- Leal G.R. (2007). "Influence of reflective mulch on Pinot noir grape and wine quality", Thesis of Master of Applied Science, Lincoln University.
- Levene, Howard (1960). Robust tests for equality of variances. En Ingram Olkin, Harold Hotelling, et alia, ed. Stanford University Press. pp. 278-292.
- Leyva, Santa L. y Masaguer, A. y Baldoquin, Aimé (2014). Efecto de sistemas de labranza en luvisoles dedicados a la producción de pastos. *Pastos y Forrajes*, 37:408-412.
- Li L, J. Sun, F. Zhang, X. Li, S. Yang and Z. Rengel. (2001). Wheat/maize or wheat/soybean strip intercropping. I. Yield advantage and interspecific interactions on nutrients. *Field Crops Research* 71:123-137, [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(01\)00156-3](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(01)00156-3).
- Li L, Li SM, Sun J.H., Zhou L.L., Bao X.G., Zhang H.G and Zhang F.S. (2007). Diversity enhances agricultural productivity via rhizosphere phosphorus facilitation on phosphorus-deficient soils. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104:11192-11196, <https://doi.org/10.1073/pnas.0704591104>.
- Li L, Zhang F S, Li X L, Christie P, Sun J H, Yang S C and Tang C (2002) Interspecific facilitation of nutrient uptakes by intercropped maize and faba bean. *Nutr. Cycl. Agroecosystems*. 65:61-71

- Lindsay W. L. and W.A. Norvell (1978). Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of American Journal*. 42:421-428.
- Lindsay, W.L. (1979). El suelo como medio natural en la nutrición de cultivos. *In: Nutrición De Cultivos*. G. Alcántar G., L. Trejo y F. Gómez (eds). Colegio de Postgraduados, Texcoco, México. pp: 105-144
- Lingan K. (2014). Maize residues, soil quality, and wheat growth in China. (2014). A review. *Agronomy for Sustainable Development* 34:405-416.
- Luo, G., Li, L., Friman, V. P., Guo, J., Guo, S., Shen, Q., and Ling, N. (2018). Organic amendments increase crop yields by improving microbe-mediated soil functioning of agroecosystems: A meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 124:105-115. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.06.002>
- Machado M., M., García P., A. y Machado G., N. (2015). Sistema automatizado para la determinación del estado de maduración en fruta bomba. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 24:56-61.
- Malézieux E., Y. Crozat, C. Dupraz, M. Lawrans, D. Makowski, H. Ozier-Lafontaine, B. Rapidel, S. de Tourdonnet, and M. Valantin. (2009). Mixing plant species in cropping systems: concepts, tools and models. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 29: 43-62, <https://doi.org/10.1051/agro:2007057>.
- Martínez G., M. Á., Jasso C., C., Osuna C., E. S., Reyes M., L., Huerta D., J., y Figueroa S., B. (2014). Efecto del fertirriego y labranza de conservación en propiedades del suelo y el rendimiento de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5:937-949, <https://doi.org/10.29312/remexca.v5i6.880>
- Martínez G., M. Á., Osuna Ceja, E. S., y Espinosa Ramírez, M. (2019). Impacto acumulado de la agricultura de conservación en propiedades del suelo y rendimiento de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10:765-778. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1640>
- Martínez H. E., J.P. Fuentes y E. Acevedo H. (2008). Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal* 8:68-96, <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-27912008000100006>
- Mata B., I. y Rodríguez M., A. (2005). Cultivo y producción del guayabo. 2da. Edición. Editorial Trillas, México. 160 p.
- Mata, G. B. (2002). La participación campesina en la innovación tecnológica (memoria). Universidad Autónoma de Chapingo (UACH). 45-55 pp.
- McKean, S. J. (1993). Manual de análisis de suelos y tejido vegetal. Centro Internacional de Agricultura Tropical-CIAT. Colombia. 99 p.
- Medina G., G. Tiscareño L., M. Báez G., A.D., Acosta D., E., Gutiérrez L., R., Echavarría Ch., F.G. y M.D. Amador. (2003). Sistema de monitoreo agroclimático y predicción de cosechas para el estado de Zacatecas (Avances). *In: Memoria del simposio*

- binacional de modelaje y sensores remotos en agricultura. México-USA. Aguascalientes, México. pp:212-218.
- Mishra, D. (2014). Nutrient removal studies in guava under high density orcharding system. *Journal of Agricultural Science and Crops*, 36-38.
- Mohammed, Y. M. (2017). Impact of land use and management practice on soil physical and chemical quality indicators of Vertisols at Pawe, Northwestern Ethiopia. *African Journal of Agricultural Research*, 12:1306-1313. <https://doi.org/10.5897/ajar2016.12096>
- Mondragón C., L. M. Toriz A. y S. H. Guzmán M. (2009). Caracterización de selecciones de guayaba para el Bajío de Guanajuato, México. *Agricultura técnica en México*. 35:315-322.
- Mora M., V. Ordaz, J. Z. Castellanos, A. Aguilar S., F. Gavi y V. Volke H. (2001). Sistemas de labranza y sus efectos en algunas propiedades físicas en un Vertisol, después de cuatro años de manejo. *Terra Latinoamericana* 19: 67-74.
- Morales R. E.J., J. Escalante E. y J. López S. (2008). Crecimiento, índice de cosecha y rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en unicultivo y asociado con girasol (*Helianthus annuus* L.). *Universidad y ciencia* 24:1-10.
- Morales, D., P. Rodríguez, J. Dell'amico, E. Nicolas, A. Torrecillas, and M.J. Sánchez. (2003). High-temperature preconditioning and thermal shock imposition affects water relations, gas exchange and root hydraulic conductivity in tomato. *Biologia Plantarum* 47:203-208.
- Mosquera L. P., N.M. Riaño H., J. Arcila P. y C. Ponce D. (1999). Fotosíntesis, respiración y fotorrespiración en hojas de café *Coffea sp.* *Cenicafé* 50:215-221
- Moussadek, R. (2021). Impactos de la agricultura de conservación sur les propriétés y la productivité des vertisols du Maroc Central. *Afrika Focus*, 25:147-151. <https://doi.org/10.1163/2031356x-02502013>
- Muñoz T. F., J. Guerrero R., P. A. López, A. Gil M., H. López S., E. Ortiz T., J. A. Hernández G., O. Taboada G., S. Vargas L. y M. Valadez R. (2013). Producción de rastrojo y grano de variedades locales de maíz en condiciones de temporal en los valles altos de Libres-Serdán, Puebla, México. *Revista Mexicana de ciencias pecuarias* 4:515-530.
- Naizaque J., G. García, G. Fischer y L.M. Melgarejo (2014). Relación entre la densidad estomática, la transpiración y las condiciones ambientales en feijoa (*Acca sellowiana* [O. Berg] Burret). *U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 17:115-121, <https://doi.org/10.31910/rudca.v17.n1.2014.946>
- Natale, W., Coutinho, E. L. M., Pereira, F. M., and Boaretto, A. E. (2002). Nutrients foliar content for high productivity cultivars of guava in Brazil. *Acta Horticulturae* 594:383-386. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.594.48>

- Olguín L. J., R. Guevara, J. Carranza, E. Scopel, O. Barreto G., O. Mancilla V. y A. Talavera V. (2017). Producción y rendimiento de maíz en cuatro tipos de labranza bajo condiciones de temporal. *Idesia (Arica)*, 35: 51-61, <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292017005000018>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO. (2008). Base referencial mundial del recurso suelo. <http://www.fao.org/3/a-a0510s.pdf> . (noviembre, 2020).
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO. (2016). Base de Datos Principal AQUASTAT. <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=es> . (diciembre, 2020).
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO (2017). Agricultura de conservación. <http://www.fao.org/conservation-agriculture/en/>. (marzo, 2020).
- Orozco-Vidal, J. A., Ramírez-Torres, R., Segura-Castruita, M. Á., Yescas-Coronado, P., Trejo-Valencia, R., y Vidal-Alamilla, J. A. (2016). Fuentes de nitrógeno en el crecimiento y producción de biomasa en maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7:185-194, <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i1.382>
- Osuna C. E. S., L. Reyes M., J. S. Padilla R. y M. A. Martínez G. (2012). Rendimiento de frijol Pinto Saltillo en altas densidades de población bajo temporal. *Revista Mexicana de ciencias agrícolas* 3:1389-1400.
- Padilla R.J.S., González G.E., Osuna G.J.A., Pérez B.M.H., Sánchez L.R. (2010). Influencia de la temperatura y precipitación sobre los sólidos solubles de la guayaba (*Psidium guajava* L.). In: Memoria de la V Reunión Nacional de Innovación Agrícola. Campeche, Cam. 251 p.
- Padilla-Ramirez, J. S., Cortés-Penagos, C. J., Maldonado-Sierra, N. E., and Sánchez-Rico, T. (2012). Comparative analysis for °Brix and ascorbic acid concentration of guava fruits under two fertilization treatments in Zacatecas, Mexico. *Acta Horticulturae*, 959:111-116. <https://scihub.se/https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.959.13>
- Palma-López D.J. y A. Triano S. (2007). Plan de uso sustentable de los suelos de Tabasco, Vol. II. 2da edición. Ed. COLEGIO DE POSTGRADUADOS-ISPROTAB. Villahermosa Tabasco, México. 180 p.
- Pavinato, P. S., and Rosolem, C. A. (2008). Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *Revista Brasileira de Ciência Do Solo*, 32:911-920. <https://doi.org/10.1590/s0100-06832008000300001>

- Pedrol, H. M., Castellarín, J. M., Ferraguti, F., y Rosso, O. (2008). Respuesta a la fertilización nitrogenada y eficiencia en el uso del agua en el cultivo de maíz según nivel hídrico. *Informaciones Agronómicas*, 40, 17–20.
- Peña R. A., O. I. Santana, D. Briones R., J.L. Ramírez D., V.A. Vidal M. y A. Ledesma M. (2017). H-383: híbrido de maíz blanco intermedio para grano y forraje para el norte, centro y occidente de México. *Revista Mexicana de ciencias agrícolas*, 8: 1891-1896, <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i8.712>
- Pérez-Camarillo, J. P. (2001). Metodología para la evaluación de cosecha de maíz en parcelas comerciales. CIR-Centro. Despegable para productores núm. 5. Pachuca, Hidalgo, México.
- Postma J. A. and J.P. Lynch (2012). Complementarity in root architecture for nutrient uptake in ancient maize/bean and maize/bean/squash polycultures. *Annals of botany*, 110: 521-534, <https://doi.org/10.1093/aob/mcs082>.
- Prasad V. P., K. J. Boote, L. H. Allen J. and J. M. G. Thomas. (2002). Effects of elevated temperature and carbon dioxide on seed-set and yield of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Global Change Biology* 8:710-721, <https://scihub.se/https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2002.00508.x>
- Purwanto, E. (2003). Photosynthesis activity of soybean (*Glycine max* L.) under drought stress. *Agrosains*. 5:13-18
- Radford, P. J., (1976). Growth analysis formulae, their use and abuse. *Crop Sci.* 7:171-175., <https://scihub.se/https://doi.org/10.2135/cropsci1967.0011183X000700030001x>
- Ramírez M., F. (2021). El herbicida glifosato y sus alternativas. (Serie Informes Técnicos IRET; 44). Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas.
- Ramírez-Barrientos, C.E., Figueroa-Sandoval, B., Ordaz-Chaparro, V.M. y Volke-Haller, V. H. (2006). Efecto del sistema de labranza cero en un Vertisol. *Terra Latinoamericana*, 24:109-118.
- Read, D. W.L. and F.G. Warder, (1973). Influence of Soil and Climatic Factors on Fertilizer Response of Wheat Grown on Stubble Land in Southwestern Saskatchewan. *Agronomy Journal*, 66: 245-248. <https://doi.org/10.2134/agronj1974.00021962006600020019x>
- Reji P. M., Y. Feng, L. Githinji, R. Ankum H. and K. S. Balkcom. (2012). Impact of No-Tillage and Conventional Tillage Systems on Soil Microbial Communities. *Applied and Environmental Soil Science* 2012:1-10, <https://doi.org/10.1155/2012/548620>.
- Rendana, M., Rahim, S. A., Idris, W. M. R., Lihan, T., and Rahman, Z. A. (2016). Mapping nutrient status in oil palm plantation using geographic information system. *Asian Journal of Agricultural Research*, 10:144-153. <https://doi.org/10.3923/ajar.2016.144.153>

- Ribón C., M.A, García, S., Palma-López, D.J, y Lagunes-Espinoza, L. del C. (2003). Propiedades químicas y físicas de un vertisol cultivado con caña de azúcar. *Interciencia*, 28:154-159.
- Rincón J.A., S. Castro N., J.A. López S., A.J. Huerta, C. Trejo L. y F. Briones E. (2006). Temperatura alta y estrés hídrico durante la floración en poblaciones de maíz tropical. *PHYTON* 75:31-40.
- Ritchie, S., Hanway, J., and Benson, G. (1986). *In: ¿Cómo Crece y Se Nutre Una Planta De Maíz?* Castellanos, J. (ed.). Fertilab. Celaya, Guanajuato, México. pp:15-30.
- Rodríguez S., J. 1990. La Fertilización de los Cultivos: un Método Racional. Pontificia Universidad Católica. Santiago, Chile. 275 p.
- Rojas V. N. J., J. A. S. Escalante E. F. Víctor Conde M., J. A. Mejía C., R. Díaz R. (2017). Rendimiento del frijol ayocote y maíz del agrosistema asociado en función del número de plantas por mata. *Terra Latinoamericana*, 35:219-228. <https://doi.org/10.28940/terra.v35i3.214>
- Rojas-Barquera, D., y Narváez-Cuenca, C.E. (2009). Determinación de vitamina C, compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante de frutas de guayaba (*Psidium guajava* L.) cultivadas en Colombia. *Química Nova*, 32:2336-2340. <https://doi.org/10.1590/s0100-40422009000900019>
- Sadeghzadeh, B. (2013). Una revisión de la nutrición del zinc y el fitomejoramiento. *Revista de ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 13:905-927. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162013005000072>
- Salazar C., R. y Toro M., J. (1986). Dos variedades mejoradas de guayaba. Boletín Técnico - Instituto Colombiano Agropecuario (Colombia). 8 p.
- Salazar-García S. y I. Lascano-Ferrat (1999). Diagnóstico nutrimental del aguacate 'Hass' bajo condiciones de temporal. Horticultura. *Revista Chapingo Serie Horticultura*. 5: 173-184.
- Sánchez H., R, Palma L., D.J., Obrador O., J.J. y López N., U. (2003). Efecto de los rastrojos sobre las propiedades físicas y químicas de un suelo vertisol y rendimientos de caña de azúcar (*Saccharum officinarum* L.) En tabasco, México. *Interciencia*, 28:404-407.
- Sánchez M. J. Aguirreolea. (2008). Transpiración y control estomático. In: Azcón-Bieto, J.; Talón, M. (Eds.). *Fundamentos de fisiología vegetal*. McGraw-Hill Interamericana de España, Madrid. pp:41-56.
- Secretaría De Economía (2002). Productos alimenticios no industrializados para consumo humano - fruta fresca - guayaba (*Psidium guajava* L.) – especificaciones (cancela a la NMX-FF-040-1993-SCFI). https://caisatech.net/uploads/XXI_2_MXD_C107_NMX-FF-040-SCFI-2002_R0_9AGO2002.pdf . (septiembre 2021).

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2002). Norma oficial mexicana NOM-021- SEMARNAT que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. Diario Oficial. <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2280n.pdf>. (abril, 2019).
- Sifuentes I. E., J. Macías C., C. Mendoza P., D.A. Vázquez D., D.A. Salinas V. y M.A. Inzunza I. (2018). Efecto de la siembra directa en las propiedades del suelo y aprovechamiento de riego en maíz en Sinaloa, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 9:4235-4243, <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i20.993>.
- Singh, H. P., and Singh, G. (2007). Nutrient and water management in guava. In *Acta Horticulturae* International Society for Horticultural Science, 735:389-397. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2007.735.55>
- Singh, S. (1956). The formation of dark-coloured clay-organic complexes in Black Soils. *Journal of Soil Science*, 7:43-58. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1956.tb00860.x>
- Singh, S. P. (1982). A key for identification of different growth habits of *Phaseolus vulgaris* L. Ann. Rep. *Bean Improv. Coop.* 25:92-95.
- Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados, SNIIM (2019). Mercados nacionales: Insumos agrícolas. <http://www.economia-sniim.gob.mx/nuevo/>. (mayo, 2021).
- Soltero D. L., C. Garay L. y J.A. Ruiz C. (2010). Respuesta en rendimiento de híbridos de maíz a diferentes distancias entre surcos y densidades de plantas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 1:149-158.
- Sosa D.A. (2012). Técnica de toma y remisión de muestreo de suelos, edición Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, centro regional Misiones. In: Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. Sparks D.L., A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P. N. Soltanpour, M. A. Tabatabai, C. T. Johnston, M y E. Sumner (eds), Soil Science Society of America. Madison, WI, USA.1996. p.4.
- Sotelo-Ruiz, E. D., Gutiérrez-Castorena, M. D. C., Cruz-Bello, G. M., and Ortiz-Solorio, C. A. (2013). Physical, chemical, and mineralogical characterization of vertisols to determine their parent material. *Interciencia*, 38:488-495.
- Staley, T. E. (1999). Soil microbial biomass alterations during the maize silage growing season relative to tillage method. *Soil Science Society of America Journal*, 63:1845-1847. <https://doi.org/10.2136/sssaj1999.6361845x>
- Sterling, T.M. y Hernández R., I. (2017). La Transpiración: Movimiento del Agua a Través de las Plantas. <https://passel2.unl.edu/view/lesson/d08b772bc7e4/6>
- Stinson J, Brinen GM, Connell D and Black R, (1990). Evaluation of landscape mulches. *HortScience*, 103: 372-377.

- Terán L. I. Meléndez, L. García A., J. G. Acuña y M. Urdaneta. (1996). Efecto de la aplicación de nitrógeno y potasio en el rendimiento del cultivo de la guayaba (*Psidium guajava* L.). *Revista de La Facultad de Agronomía (LUZ)*, 13: 363-370.
- Tinoco A. C., A. Ramírez F., E. Villareal F. y A. Ruiz C. (2008). Arreglo espacial de híbridos de maíz, índice de área foliar y rendimiento. *Agricultura técnica en México* 34: 271-278.
- Toivonen, P. M., and Brummell, D. A. (2008). Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.09.004>
- Torres Z. J. P. (2016). El sistema agrícola milpa intercalada con árboles frutales en una ladera de la Sierra Mixe Oaxaca: Interacciones agronómicas y productividad en un suelo con humedad residual. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México. 73 p.
- Tosquy V. O. H., E. López S., N. Francisco N., J. A. Acosta G. y B. Villar S. (2014). Genotipos de frijol negro opaco resistentes a sequía terminal, *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5:1205-1217.
- Tosquy V., O. H., López S., E., Villar S., B., Acosta G., J. A., y Rodríguez R., J. R. (2016). Verdín: variedad de frijol negro tolerante a sequía terminal para Veracruz y Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7:1775-1780. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i7.170>
- Tsubo, M., E. Mukhala, H. Ogindo and S. Walker (2003). Productivity of maize-bean intercropping in a semi-arid region of South Africa. *Water SA*, 29:381-388, <https://doi.org/10.4314/wsa.v29i4.5038>
- Turrent F. A. (1980). El agrosistema, un concepto útil dentro de la disciplina de productividad: rama de suelos. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Estado de México, México.3:291-319.
- Turrent F. A. (2006). Informe final, milpa intercalada en árboles frutales, una tecnología rentable y sostenible para pequeños productores, Campo Experimental Valle de México, México, INIFAP.
- Turrent F. A., J.I. Cortés F., A. Espinosa C., E. Hernández R., R. Camas G., J.P. Torres Z. y A. Zambada M. (2017). MasAgro o MIAF ¿Cuál es la opción para modernizar sustentablemente la agricultura tradicional de México? *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 8: 1169-1185, <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i5.116>
- Vaca-García, V. M., Martínez-Villanueva, J. J., González-Huerta, A., Morales-Rosales, E. J., Zamudio González, B., y Gutiérrez Rodríguez, F. (2018). Compactación de un vertisol bajo tres sistemas de labranza en maíz (*Zea mays* L.). *Revista Mexicana De Ciencias Agrícolas*, 5:1495-1507. <https://doi.org/https://doi.org/10.29312/remexca.v5i8.830>

- Valbuena D., S. Homann K., O. Erenstein, N. Teufel, A. Duncan, T. Abdoulaye, B. Swain, K. Mekonnen, I. Germaine and B. Gérard. (2015). Identifying determinants, pressures and trade-offs of crop residue use in mixed smallholder farms in Sub-Saharan Africa and South Asia. *Agricultural Systems* 134:107-118, <https://scihub.se/https://doi.org/10.1016/j.agsy.2014.05.013>
- Verhulst, N., Govaerts, B., Verachtert, E., Castellanos-Navarrete, A., Mezzalama, M., Wall, P., Deckers, J., Sayre, K.D. (2010). Conservation agriculture, improving soil quality for sustainable production systems, *in*: Lal, R., Stewart, B.A. (Eds.), *Advances in Soil Science: Food Security and Soil Quality*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, pp. 137-208.
- Vicente, A. R., Powell, A., Greve, L. C., and Labavitch, J. M. (2007). Cell wall disassembly events in boysenberry (*Rubus idaeus* L. x *Rubus ursinus* Cham. & Schldl.) fruit development. *Functional Plant Biology*, 34:614–623. <https://doi.org/10.1071/FP07002>
- Virmani, S. M., Sahrawat, K. L., and Burford, J. R. (1982). Physical and Chemical Properties of Vertisols and their Management. *Twelfth International Congress of Soil Science*, 80-93. <http://dx.doi.org/10.13140/2.1.2604.1284>
- Volke H., V.H., R. Camacho B., P. Sánchez G., M. Orozco M. (2018). Fertilización del guayabo en la región Oriente del Estado de Michoacán. Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, México. 91 p
- Volke-Haller V., P. Sánchez G., J. Cortés F., M. Orozco M., y R. Camacho B., (2017). Rango de suficiencia nutrimental foliar para el guayabo (*Psidium guajava* L.), en la región oriente de Michoacán, México. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 40:285-297. <https://doi.org/10.35196/rfm.2017.3.285-297>
- Walkley, A. and I. A. Black. (1934) An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*. 37:29-37.
- Warnock R., J. Valenzuela, A. Trujillo, P. Madriz y M. Gutiérrez (2006). Área foliar, componentes del área foliar y rendimiento de seis genotipos de caraota. *Agronomía Tropical* 56:21-42.
- Watanabe, F.S., and S. R. Olsen (1965). Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO₃ extracts from soil. *Soil Science Society of American Journal*. 29:677-688.
- Young, T.W. and Koo, R.G. (1976). Mineral composition of avocado leaves in Florida. *Florida State Horticultural Society*, 89:238-241.
- Zhang Q.T., Inoue, M., Inosako, K., Irshad, M., Kondo, K., Guo, Y. Q., and Shi, P. W. (2008). Ameliorative effect of mulching on water use efficiency of Swiss chard and salt accumulation under saline irrigation. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 6:480-485.

- Zhang, C., Zhang, J., Zhang, H., Zhao, J., Wu, Q., Zhao, Z., and Cai, T. (2015). Mechanisms for the relationships between water-use efficiency and carbon isotope composition and specific leaf area of maize (*Zea mays* L.) under water stress. *Plant Growth Regulation*, 77:233-243. <https://doi.org/10.1007/s10725-015-0056-8>
- Zribi, W., Faci, J. M., y Aragües, R. (2011). Efectos del acolchado sobre la humedad, temperatura, estructura y salinidad de suelos agrícolas. *Información Técnica Económica Agraria*, 107: 148-162.
- Zribi, Wided. (2013). "Efectos del acolchado sobre distintos parámetros del suelo y de la nectarina en riego por goteo". Tesis de doctorado, Universidad de Lleida, Zaragoza, España.
- Zúñiga E., L., J. J. Martínez H., G. A. Baca C., A. Martínez G., J. L. Tirado T., J. Kohashi S. y J. Cruz D. (2010). Efecto de la fertilización con potasio en un vertisol sobre la relación cantidad/intensidad (Q/I). *Terra Latinoamericana*. 28: 319-325.