



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE EDAFOLOGÍA

Fertilización mineral y orgánica en el cultivo intercalado maíz-frijol asociados y haba en un Andosol del Estado de México

Laura García Tapia

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

MAESTRA EN CIENCIAS

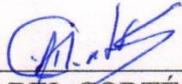
**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO
2015**

La presente tesis, titulada **Fertilización mineral y orgánica en el cultivo intercalado maíz frijol asociados y haba en un Andosol del Estado de México**, realizada por la alumna **Laura García Tapia** 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



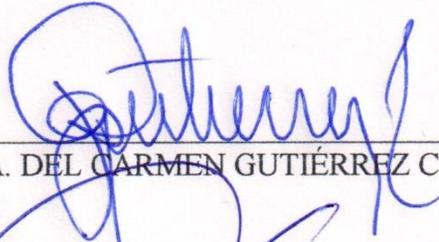
DR. JOSÉ ISABEL CORTÉS FLORES

DIRECTOR DE TESIS



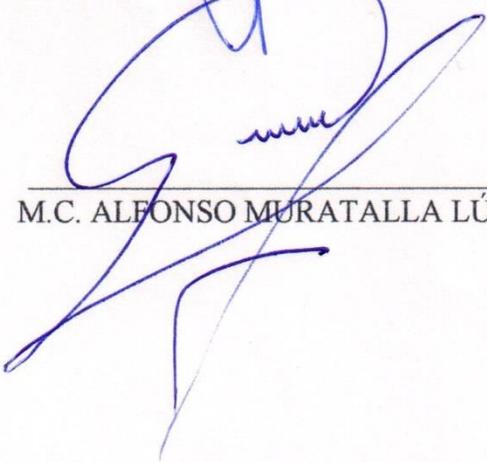
DR. ANTONIO TURRENT FERNÁNDEZ

ASESORA



DRA. MA. DEL CARMEN GUTIÉRREZ CASTORENA

ASESOR



M.C. ALFONSO MURATALLA LÚA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Junio de 2015.

FERTILIZACIÓN MINERAL Y ORGÁNICA EN EL CULTIVO INTERCALADO MAÍZ-FRIJOL ASOCIADOS Y HABA EN UN ANDOSOL DEL ESTADO DE MÉXICO

Laura García Tapia, M. en C.

Colegio de Posgraduados, 2015

RESUMEN

La producción agrícola en San José del Rincón, Estado de México, presenta problemas ambientales, económicos y sociales. Por esta razón, en este trabajo se evaluó la viabilidad del cultivo intercalado en franjas de maíz-frijol de guía asociados y haba en un Andosol, con fertilización mineral y orgánica para incrementar la productividad, la eficiencia relativa de la tierra (ERT) y el ingreso neto familiar. Los factores que se estudiaron fueron: fertilización, densidad de población y variedad de maíz, en un diseño experimental de parcelas divididas con dos arreglos topológicos (AT) como parcela grande y 9 tratamientos de parcela chica, seleccionados con una matriz de tratamientos de un factor a la vez. Además, se adicionaron tres tratamientos de cultivo simple para el cálculo de la ERT. Los AT fueron: un surco de maíz-frijol de guía asociados, intercalados con un surco de haba (1x1) y dos surcos de maíz-frijol de guía asociados, intercalados con dos surcos de haba (2x2). Los resultados indicaron que con el cultivo intercalado 1x1 con la variedad de maíz azul y el 2x2 con la variedad de maíz rosado, con la fórmula de fertilización de 80-80-3C, la ERT fue de 1.35 y 1.40 respectivamente, con un ingreso equivalente a 1.8 y 1.24 salarios mínimos por día. Por lo tanto, se concluye que el cultivo intercalado de maíz - frijol asociados y haba resultó mejor que el cultivo simple, ya que aumenta los rendimientos y el ingreso de los campesinos, sin dejar de producir maíz y frijol que son la base de su alimentación.

Palabras clave: Cultivo intercalado en franjas, fertilización mineral y orgánica, eficiencia relativa de la tierra, ingresos netos.

**MINERAL AND ORGANIC FERTILIZATION OF MAIZE AND POLE BEAN
INTERCROPPED WITH FABA BEAN IN AN ANDOSOL FROM STATE OF
MEXICO**

Laura García Tapia, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2015

ABSTRACT

Agricultural production, in San José del Rincón, State of Mexico, has environmental, economic and social problems. Therefore, a field experiment in an Andosol was conducted in order to evaluate the feasibility of strip intercropping of maize (*Zea mays* L.) -pole bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and faba bean (*Vicia faba* Mill.), with mineral and organic fertilizers, the land equivalent ratio (LER) and net household income. Fertilization, plant density and maize variety were studied using a split-plot experimental design, with two topological arrangements (TP), as main plots, and 9 treatments as sub plots within each main plot. Three additional treatments of single crops were included to calculate LER. Topological arrangements were one row of maize- pole bean and faba bean alternating with a one row of faba bean (1x1) and two rows of maize-pole bean alternating with two rows of faba bean (2x2). The results showed that intercropping systems 1x1 with the variety of blue maize and 2x2 with pink maize variety, with the formula fertilization 80-80-3C, the ERT was 1.35 and 1.40 respectively, a net an income equivalent to 1.8 and 1.24 minimum wages per day. Therefore, it is concluded that intercropping maize – pole bean and faba bean is a better alternative than single crops, to increase yields and income of farmers, while producing maize and beans which are the stopple crop in San José del Rincón, state of México.

Keywords: Strip intercropping, mineral and organic fertilizer, LER, net income

DEDICATORIAS

A mis padres Domitila Tapia Montes y José Carmen García Sánchez por el apoyo, cariño y amor que me dan en cada etapa de mi vida.

A mi hijo Carlos Gabriel García por su gran apoyo y amor otorgado durante la realización de este trabajo, por ser el motor principal de cada etapa de mi vida y por un objetivo más juntos.

A mis hermanos Ma. Eugenia, Raúl, Angélica, Alberto y Guadalupe por su cariño y su ejemplo de seguir adelante a pesar de las circunstancias.

A mis sobrinos Luis Roberto, Ariana, Karen, Diana, José Alberto, Rafael y Danna por su cariño.

Y a los nuevos integrantes de la familia Delfina, Irene y Pancho por su apoyo.

A mis amigos y amigas que siempre conté con su apoyo y amistad.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y al Colegio de Postgraduados por el apoyo otorgado para la realización de la presente investigación.

Al Dr. José Isabel Cortés Flores por su apoyo, paciencia y asesoría brindada durante la realización del presente trabajo.

Al Dr. Antonio Turrent Fernández por su apoyo y asesoría durante la investigación.

A la Dra. Ma. Del Carmen Gutiérrez Castorena por su apoyo, amistad y asesoría que me otorgó durante la realización de la investigación.

Al M. en C. Alfonso Muratalla Lúa por sus observaciones en el escrito.

Al Sr. Francisco y a su esposa dueños de la parcela donde se realizó el experimento, por su apoyo, amistad y contribuciones al trabajo realizado.

A la Dra. Roció Albino Garduño y el Dr. Horacio Santiago Mejía, por su amistad y el apoyo incondicional durante la realización del presente trabajo y por sus motivaciones para seguir adelante.

A los trabajadores del laboratorio de génesis por su apoyo en los análisis realizados.

A mis amigo(a)s Micheline Dorcé, Adriana Tapia, Rosa Delia García, Remedios Salinas, Eleazer Leal, Ángel Ronquillo e Ildfonso Ronquillo por su amistad y su apoyo otorgado durante la investigación y trabajo en campo.

CONTENIDO

	Página
LISTA DE CUADROS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVO	3
3. HIPÓTESIS	3
4. REVISIÓN DE LITERATURA	4
4.1. Agricultura tradicional o de subsistencia	4
4.2. Importancia de la milpa	4
4.3. Cultivo asociado	5
4.4. Cultivo intercalado en franjas	6
4.5. Manejo y uso de fertilizantes en cultivos asociados e intercalados	7
4.6. Andosol	8
5. MATERIALES Y MÉTODOS	9
5.1. Área de estudio	9
5.2. Clima	10
5.3. Suelo	10
5.4. Selección de materiales vegetales	10
5.4.1. Maíz.....	11
5.4.2. Frijol.....	11
5.4.3. Haba.....	11
5.5. Diseño de tratamientos	11
5.6. Diseño experimental	13
5.7. Establecimiento del experimento	13
5.7.1. Preparación del terreno y siembra.....	13
5.7.2. Fertilización.....	14
5.8. Manejo	14
5.9. Variables evaluadas	16
5.10. Análisis estadístico	16
5.11. Eficiencia relativa de la tierra (ERT)	17
5.12. Eficiencia relativa de la ganancia (ERG) e ingreso neto	17
6. RESULTADOS	18
6.1. Características del suelo	18
6.2. Rendimiento del cultivo intercalado maíz-frijol de guía y haba	22
6.2.1. Rendimiento de grano y rastrojo del maíz.....	22
6.2.2. Rendimiento de frijol de guía.....	25
6.2.3. Rendimiento de haba en verde.....	27
6.3. Eficiencia Relativa de la Tierra (ERT)	28
6.4. Eficiencia Relativa de la Ganancia (ERG) e ingreso neto	30
7. CONCLUSIONES	32
8. LITERATURA CITADA	33
9. ANEXOS	41

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Matriz de tratamientos del cultivo intercalado considerando los factores: densidad de población de maíz y frijol de guía asociados y haba, variedad de maíz y fórmula de fertilización	13
Cuadro 2. Tratamientos de cultivo simple.....	13
Cuadro 3. Lista de precios considerados en el cálculo de ingreso neto.....	19
Cuadro 4. Descripción del perfil del sitio experimental.....	21
Cuadro 5. Caracterización física y química del suelo.....	22
Cuadro 6. Coeficiente de variación del rendimiento de grano y rastrojo del maíz, rendimiento de frijol de guía y rendimiento de haba verde.....	23
Cuadro 7. Rendimiento del grano y rastrojo del cultivo intercalado del maíz asociado con frijol de guía y haba en función de la dosis y fuente de fertilización.....	26
Cuadro 8. Rendimiento de haba verde, intercalada con maíz y frijol de guía asociados, en función del arreglo topológico, densidad y fertilización.....	28
Cuadro 9. Rendimiento de haba en verde en función de la dosis y fuente de fertilización.....	29
Cuadro 10. Efecto de la variedad de maíz en la eficiencia relativa de la tierra (ERT) del cultivo intercalado maíz-frijol de guía asociado y haba bajo dos arreglos topológicos	30
Cuadro 11. Eficiencia relativa de la ganancia (ERG), ingreso neto y salario mínimo por día, de acuerdo a la variedad de maíz del cultivo intercalado maíz-frijol de guía asociado y haba bajo dos arreglos topológicos.....	32

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ubicación del área de estudio.....	10
Figura 2. Arreglos topológicos evaluados: a) 1x1 un surco de maíz-frijol de guía intercalado con un surco de haba) y b) 2x2 dos surcos de maíz-frijol de guía intercalados con dos surcos de haba.....	12
Figura 3. A. Roturación del suelo con tractor y “vigado” para evitar la pérdida de humedad, B. Trazo de curvas con nivel de manguera, C y D. Fertilización orgánica y mineral.....	15
Figura 4. Rendimiento de grano (A) y rastrojo (B) de maíz en el cultivo intercalado maíz-frijol de guía asociado y haba, en función de la intensificación del sistema en cuanto a la densidad de plantas.....	24
Figura 5. Efecto de la variedad de maíz en la producción de rastrojo en el cultivo intercalado de maíz-frijol de guía asociados y haba.....	25
Figura 6. Rendimiento del frijol de guía asociado con maíz , intercalado con haba en función de la densidad de plantas.....	27
Figura 7. Rendimiento de frijol de guía en función de la variedad de maíz a la que está asociado en el sistema intercalado con haba	26

1. INTRODUCCIÓN

La producción agrícola en la región de San José del Rincón, Estado de México, presenta diversos problemas ambientales, económicos y sociales, tales como erosión hídrica moderada causada por actividades agrícolas que ha disminuido la fertilidad del suelo en 40% (SEMARNAT-COLPOS 2002). Los suelos predominantes son Andosoles que se caracterizan por ser frágiles a la degradación una vez que la vegetación es removida (Krasilnikov *et al.*, 2011) y con alta capacidad para fijar fósforo cuando el suelo está muy desarrollado en sus propiedades ándicas (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2014), por lo que no está disponible para las plantas (García *et al.*, 2012). Además, es común en estos suelos el cultivo de papa el cual genera disminución de la fertilidad (Núñez *et al.*, 2003), por lo que las tierras son abandonadas o los productores cambian de cultivo pero con bajos rendimientos.

Los campesinos poseen menos de 5 ha dispersas en pequeños predios agrícolas que en su mayoría se ubican en laderas con pendientes de 20%, y cultivan granos básicos (SIAP, 2013), como maíz blanco, azul y rosado en cultivo simple. También se utiliza el sistema milpa, que incluye especies como calabaza, haba y frijol para obtener una mayor diversidad de alimentos para autoconsumo, aunque su porcentaje es menor (Buenrostro, 2009).

La mayoría de las tierras son de temporal, pues de las 25,645 ha cultivadas solo 5 ha se reportan con riego; de esta superficie 21,250 ha son sembradas con maíz, 3,944 ha con avena forrajera y 451 ha con frijol, papa, haba y jitomate (INEGI, 2010). La producción es incierta, ya que las sequías y heladas tempranas o tardías pueden ocasionar la pérdida de los cultivos. Por tal razón, los volúmenes de producción son muy variables y actualmente la agricultura está siendo desplazada como actividad principal, al no representar un sustento sólido para las familias locales. Además, los volúmenes y estabilidad de la producción han ido en decremento, con la consecuencia que cada vez sea más común la emigración a las ciudades en busca de trabajo como albañiles, empleadas domésticas o vendedores ambulantes (Mendieta *et al.*, 2013).

En este entorno, en conjunto con el cambio climático global y la crisis financiera mundial, la mayoría de los agroecólogos y en menor grado los agrónomos reconocen que los agroecosistemas tradicionales, tales como la milpa, son una base sólida para encontrar

soluciones a la problemática no solo de la degradación de los suelos, sino también una solución económica para los campesinos como los de San José del Rincón, Estado de México. Sin embargo, también es evidente que no todas las prácticas y técnicas campesinas que tienden a ser intensivas en conocimiento y no intensivas en insumos externos son eficaces y aplicables para revitalizar la productividad de la milpa (Altieri, 1999).

En este sentido, trabajos de investigación agronómica en Andosoles de la Sierra Tarasca, Michoacán, indican que el rendimiento de grano de maíz se puede incrementar económicamente con una fertilización orgánica-mineral (Guerrero, 1987); Asimismo con una densidad de población adecuada, y mediante el arreglo topológico de maíz y frijol bajo el sistema de cultivo intercalado en franjas, sin incrementar la dosis de fertilización respecto al cultivo simple de maíz (Albino, 2014). No obstante, los Andosoles de la Meseta Tarasca son más desarrollados y su fijación de fosfatos es más alta (Alcalá *et al.*, 2001), por lo que la transferencia de tecnología a la zona de estudio no se puede realizar sin un estudio previo de sus propiedades, y sin realizar experimentos sobre la productividad y eficiencia del sistema.

2. OBJETIVO

El objetivo de este estudio fue evaluar la viabilidad del cultivo intercalado en franjas de maíz-frijol de guía asociados y haba en un Andosol, con fertilización mineral y orgánica para incrementar la productividad, la eficiencia de la tierra (ERT) y el ingreso neto familiar de la comunidad de San Juan Palo Seco, municipio de San José del Rincón, Estado de México.

3. HIPÓTESIS

La asociación de maíz nativo con frijol de guía y haba intercalados en franjas alternas con una fertilización mineral- orgánica será una alternativa ante los cultivos simples de las pequeñas unidades de producción de la comunidad de San Juan Palo Seco, municipio de San José del Rincón, Estado de México.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Agricultura tradicional o de subsistencia

La agricultura tradicional o de subsistencia es la que predomina en el campo Mexicano, representa 71.6 % de los productores, quienes poseen menos de 5 ha de tierra en su mayor parte de temporal, dedicadas a la producción de granos básicos (Robles, 2012; Cortés y Turrent., 2012) para autoconsumo como maíz y frijol principalmente (Villa Issa, 2011).

Estas pequeñas unidades de producción están ubicadas en cuencas bajas donde la pendiente del terreno es menor a 20%, y en cuencas altas en laderas con pendientes de 20 a 40 % o mayores (Cortés y Turrent, 2012). En ambos casos, la tierra de labor no es compacta, sino que está dispersa en varios predios y enfrentan problemas de baja productividad y pérdida del suelo por erosión hídrica y eólica (Bravo *et al.*, 2005).

Estos elementos son parte importante de los factores que explican los bajos niveles de rentabilidad registrados en la actividad agrícola (Villa-Issa, 2011). En las cuencas altas (agricultura de ladera), la situación es más crítica. El rendimiento de maíz varía de 400 a 700 kg ha⁻¹, y solamente cubre las necesidades alimenticias de la familia para seis meses (Cortés y Turrent, 2012), lo cual repercute en escasos ingresos a las familias campesinas (Jiménez, 2012), provocando el abandono de las tierras, y aumento de la pobreza y migración de los productores (Bravo *et al.*, 2005).

La agricultura de milpa ha sido desde la época prehispánica la principal fuente alimenticia de los campesinos e integra actividades tradicionales rentables como: la apicultura, la horticultura, la fruticultura, el comercio, la artesanía y el trabajo asalariado (Arias, 2013).

4.2. Importancia de la milpa

La milpa es el sistema agrícola donde se cultivan el maíz y otras plantas mismas que mantienen relaciones sinérgicas entre ellas; esto es aprovechado por los campesinos en diferentes estrategias para la producción de excedentes para el mercado y obtención de satisfactores personales (Buenrostro, 2008). De esta manera, la milpa no solo está compuesta

por maíz, más bien se compone de varias especies siendo un agrosistema creado por el hombre donde se conjugan los conocimientos y las tecnologías tradicionales (Nepote, 2010).

Por esta razón, el sustento de millones de mexicanos está ligado a la milpa, que es una práctica para el aprovechamiento sustentable de la biodiversidad mexicana (De la Peña, 2010) y es considerada como un sistema más productivo que el cultivo simple (Linares y Bye, 2011). Además dentro de la milpa, el maíz es el cultivo básico ya que 65% es para autoconsumo (Guzmán, 2002), y en México es uno de los cultivos más importantes (SIAP, 2013).

La diversidad del maíz en los sistemas de milpa se mantiene fundamentalmente en las comunidades rurales e indígenas, donde los campesinos seleccionan y perpetúan las variedades criollas (Altieri, 2003). De la misma manera, el frijol representa una tradición productiva y de consumo, cumpliendo funciones de carácter alimentario y socioeconómico que le han permitido trascender hasta la actualidad; es el segundo cultivo a nivel nacional en superficie cultivada, con la participación de 570,000 productores que se dedican y viven de este cultivo destinando 20% de su cosecha para autoconsumo (Serrano, 2004).

Prácticamente el maíz y el frijol se producen en todos los estados de la república aunque el 66% de la producción de frijol se obtiene en las zonas norte y noroeste de país (Ayala *et al.*, 2008).

Por otro lado, el haba es cultivada en los sistemas de milpa de las regiones montañosas del altiplano mexicano, en los estados de Tlaxcala y Estado de México, donde los pequeños agricultores la cultivan con el maíz en forma intercalada, ya que sobrevive a las heladas (Altieri, 1999).

4.3. Cultivo asociado

Los pequeños agricultores en la milpa practican la estrategia de la asociación de cultivos por razones de tipo cultural y económico. Las ventajas que genera son la obtención de dos o más productos que permiten diversificar la dieta familiar, y es más eficiente en la utilización de recursos naturales tales como la luz solar, agua y suelo, controla la erosión y mejora la fertilidad del suelo. Además, hay un uso intensivo de la tierra, disminuye la vulnerabilidad a

factores bióticos y abióticos, y reduce el riesgo y la incertidumbre, tanto en la producción como en la comercialización (Rivera, 1992; Núñez, 1998; Pérez *et al.*, 2013).

En México, el maíz se cultiva compartiendo la tierra de labor con otras especies. La estrategia específica del manejo depende de los factores socioeconómicos y agroclimáticos. Aunque el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es la especie que más acompaña al maíz (*Zea mays* L.), también hay otras especies anuales como haba (*Vicia faba* Mill.), calabaza (*Curcubita pepo* L.) y árboles frutales (Turrent, 2008).

Una de las características de la asociación es que los rendimientos de cada especie son menores a los logrados en el monocultivo simple. En este sentido, los rendimientos del frijol se reducen en más de 40% debido a un número menor de vainas por planta, menos granos por vaina y por lo tanto menor peso en el grano. En el maíz la reducción es de 20%, debido a una menor producción de tallos, hojas, mazorcas y espigas (Vélez *et al.*, 2011, Pérez *et al.*, 2013). Por otro lado, Rivera (1992) menciona que la reducción puede ser entre 8 a 20% para las gramíneas y de 30 a 75 % para la leguminosa.

Otros autores como Vélez *et al.* (2007) reportan efectos similares de competencia entre las especies asociadas e influencia de los genotipos y/o ambientes que inciden en la magnitud de los resultados más no en su tendencia.

A pesar de la competencia entre especies, el agroecosistema mixto es más eficiente en el uso de los recursos e insumos (Morales *et al.*, 2006), por lo que los principios de cultivar el maíz con otras especies pueden ayudar a rescatar el futuro de la producción de maíz en las pequeñas unidades de producción en México (Turrent, 2008).

4.4. Cultivo intercalado en franjas

El cultivo intercalado se ha practicado durante siglos en muchas partes del mundo, y consiste en utilizar dos o más especies simultáneamente en el mismo terreno y en diferentes franjas lo suficientemente amplias como para permitir el cultivo independiente pero lo suficientemente estrechas como para permitir la interacción agronómica (Roy y Braun, 1983).

En este tipo de cultivo se han encontrado varias ventajas tales como: mayor rendimiento, producción de biomasa y aprovechamiento de la radiación fotosintéticamente activa (Turrent, 2008; Albino, 2014), mejor distribución y elongación de las raíces (Xia *et al.*, 2013a; Albino, 2014), y reducir la densidad de malezas (Bilalis *et al.*, 2010). Por lo tanto, puede dar lugar a una mayor productividad por unidad de superficie y un uso eficiente de la tierra, lo cual es importante para los pequeños agricultores (Turrent, 2008; Najafi y Keshtehgar, 2014).

En este sentido, Xia *et al.* (2013b) mencionan que el rendimiento de los cultivos intercalados se incrementa entre 24 y 45%; mientras que, Morgado y Willey (2008) reportan que los cultivos intercalados son más productivos que los monocultivos y la ventaja es de 28 al 64%. Munz *et al.* (2014) encontraron una mayor producción de grano en el cultivo de maíz intercalado en franjas en cultivos alternos de ciclo corto respecto al monocultivo. Por su parte, Albino (2014) señala que el mayor rendimiento de grano de maíz se presentó en el arreglo topológico un surco de maíz alternado con uno de frijol y se debió al mayor número de mazorcas por planta, granos por hilera de la mazorca y al peso y tamaño del grano.

Sin embargo, en este tipo de cultivo se puede esperar una interacción entre especies en cuanto a nutrientes y aprovechamiento de la radiación. Esta interacción dependerá de las combinaciones de cultivos, el arreglo topológico y la distancia entre surcos (Munz *et al.*, 2014).

4.5. Manejo y uso de fertilizantes en cultivos asociados e intercalados

En los cultivos asociados el tema de la fertilización es muy complejo debido a la competencia que existe tanto por luz como recursos del suelo (Vélez *et al.*, 2011) y no existen muchos trabajos que aborden el tema; sin embargo, Delgado (2013) menciona que el rendimiento de maíz es afectado por los cambios de la densidad de población de frijol y de la fertilización cuando se siembran asociados.

En los cultivos intercalados hay un mayor aprovechamiento del fósforo independientemente de la dosis y la fuente (Li *et al.*, 2003a; Li *et al.*, 2003b; Xia *et al.*, 2013b) lo que mejora la nutrición sobre todo en la fase reproductiva tanto en el cereal como en la leguminosa (Li *et al.*, 2003a). De la misma manera hay una mayor absorción de nitrógeno cuando se intercalan

cereales con leguminosas (Li *et al.*, 2003b; Li *et al.*, 2005), por lo que se hace un mejor uso de los insumos y se reducen los efectos negativos de la fertilización, reflejando menor acumulación de nitratos en aguas subterráneas en comparación con el cultivo simple (Li *et al.*, 2005).

Por esta razón, la fertilización en un cultivo intercalado deberá estar en función de las combinaciones de especies. Si es con leguminosas se requiere menor cantidad de N, por la fijación biológica y que esta se ve afectada con altas dosis de N. Pero si se intercala cereal con cereal las dosis de N serán mayores (Li *et al.*, 2011) ya que la fertilización nitrogenada inhibe la fijación de nitrógeno por el haba, por ejemplo tanto como cultivo simple como en el intercalado (Fan *et al.*, 2006). Asimismo, se menciona que la fertilización orgánica en cultivo intercalado de leguminosa-cereal es un medio importante para mejorar la fertilidad del suelo (Jannoura *et al.*, 2014). No obstante, Bilalis *et al.* (2005) mencionan que cuando se fertiliza con composta se incrementa el índice de área foliar y el rendimiento de materia seca, pero este incremento es mayor en el cultivo simple que en el cultivo intercalado.

La integración de las prácticas de nutrición y manejo del suelo se puede dar con la incorporación combinada de abonos orgánicos y fertilizantes minerales, que además de mejorar al suelo, incrementan el contenido de materia orgánica, reducen el uso de fertilizantes minerales e incrementan el rendimiento de maíz (Álvarez *et al.*, 2010).

4.6. Andosol

Los Andosoles se encuentran en todo el mundo pero sobre todo en regiones volcánicas como alrededor del borde del Pacífico: en la costa oeste de Sudamérica, en América Central, México, Estados Unidos de Norteamérica (las Montañas Rocallosas, Alaska), Japón, en el Archipiélago de Filipinas, Indonesia, Papua Nueva Guinea y Nueva Zelanda ocupando aproximadamente un área total de 110 millones ha (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007).

En México, los Andosoles se localizan en la Mesa Central, en el eje neovolcánico transversal, y comprenden los estados de Jalisco, Colima, Michoacán, Estado de México, Puebla y Veracruz, a una altitud que va desde los 2,000 a 5,000 m.s.n.m. Son suelos originados de cenizas volcánicas ricas en material vítreo (Krasilnikov *et al.*, 2012).

Muchos Andosoles son cultivados con una gran variedad de cultivos. Su mayor limitación es su gran capacidad para retener el fósforo cuando las propiedades ándicas están bien desarrolladas (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007), lo cual limita grandemente su disponibilidad para la absorción por las raíces de las plantas. En algunos lugares, la topografía pronunciada, resulta ser una limitante con vistas a su puesta en cultivo (Ibáñez y Manríquez, 2011). Otro de los problemas es el cultivo de papa que genera una degradación química por declinación de la fertilidad (Núñez *et al.*, 2003), por lo que muchos productores las abandonan. En ese sentido, la milpa integrada por maíz-frijol de guía asociados y haba bajo el sistema de cultivo intercalado en franjas, es una alternativa sustentable no solo por los beneficios económicos que genera sino también porque permite la conservación del recurso suelo.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Área de estudio

El presente estudio se realizó en la comunidad de San Juan Palo Seco municipio de San José del Rincón, ubicado en la región noroeste del Estado de México, colinda al norte con el estado de Michoacán y el municipio de El Oro, al este con el municipio de San Felipe del Progreso, al sur con los municipios de Villa Victoria y Villa Allende y al oeste con el estado de Michoacán (Figura 1). Las coordenadas son 19° 31' 97" latitud norte y 100° 08' 59" longitud oeste, a una altura de 2838 msnm.



Figura 1. Ubicación del área de estudio.

5.2. Clima

En San José del Rincón existen dos tipos de clima: el templado subhúmedo y el semifrío subhúmedo, ambos con lluvias en verano. El clima templado C(w) cubre toda la porción oriente; en tanto que el semifrío subhúmedo C(E)w se presenta en la parte poniente (Secretaria del Medio Ambiente del Edo. Méx. 2006). La precipitación anual varía de 800 mm a 1200 mm.

5.3. Suelo

El municipio de San José del Rincón posee los siguientes tipos de suelos: Andosoles (94.28%), Planosoles (2.3%), Luvisoles (0.81%) y Umbrisoles (0.68%) (INEGI, 2009).

Para conocer las características morfológicas y propiedades físicas y químicas del suelo predominante en el área de estudio se excavó un perfil de 1.5 m de largo por 1 m de ancho con una profundidad de 1.5 m, y se describió morfológicamente con base en el manual de Cuanalo (1990). Asimismo, se colectaron 7 muestras (una por cada horizonte del perfil) que fueron secadas a temperatura ambiente y pasadas por un tamiz de 2 mm de diámetro. Los análisis físicos y químicos que se realizaron fueron: contenido de materia orgánica (método Walkley y Black), nitrógeno total (método de micro-Kjeldahl), fósforo aprovechable (método de Bray P1), densidad aparente (método de la probeta), textura (método de la pipeta) y pH (método del potenciómetro). También se obtuvo una muestra compuesta de la capa arable (0-20 cm) de la parcela experimental para hacer los análisis de materia orgánica, nitrógeno total, fósforo aprovechable, pH y retención de fosfatos por el método de Blakemore con la misma metodología que en lo anterior. Todos los procedimientos fueron extraídos del manual de Van Reeuwijk (1999).

5.4. Selección de materiales vegetales

Para la selección de materiales vegetales se consultó con el señor Francisco López dueño de la parcela donde se realizó el experimento. Los materiales seleccionados fueron maíz (*Zea mays* L.) azul y rosado, frijol de guía (*Phaseolus vulgaris* L.) de color crema y haba (*Vicia faba* Mill.) de color amarillo. A continuación se describen las características de cada especie.

5.4.1. Maíz

Los maíces nativos locales azul y rosado se caracterizan por ser de ciclo corto lo que permite sembrarlos entre abril y mayo y cosecharlos en noviembre. Aunque se sabe que su rendimiento es menor respecto al de los maíces blancos que se siembran en marzo, se eligieron porque hubo un atraso en la fecha de siembra, debido a cuestiones operativas.

5.4.2. Frijol

La semilla de frijol de guía de color crema fue conseguida por el productor en la misma comunidad que se caracteriza por ser de hábito indeterminado tipo IV.

5.4.3. Haba

La semilla de haba de color amarillo seleccionada es la que se siembra más en la comunidad y se caracteriza por sus buenos rendimientos como haba verde.

5.5. Diseño de tratamientos

Los factores que se evaluaron fueron arreglo topológico, densidad de población, variedad de maíz y fertilización. El arreglo topológico consistió en maíz y frijol de guía asociados e intercalados con haba: a) 1x1 (un surco de maíz–frijol de guía asociado, intercalado con un surco de haba) y b) 2x2 (dos surcos de maíz-frijol de guía asociados, intercalados con dos surcos de haba) (Figura 2).



Figura 2. Arreglos topológicos evaluados: a) 1x1 un surco de maíz–frijol de guía intercalado con un surco de haba) y b) 2x2 dos surcos de maíz- frijol de guía intercalados con dos surcos de haba

Los tratamientos de los siguientes factores se eligieron a través de una matriz baconiana de ocho tratamientos, y se adicionó un noveno que fue la interacción del nivel alto de la densidad y la variedad de maíz rosado, para observar las posibles diferencias en función de la densidad en dos variedades de maíz (Cuadro 1).

Cuadro 1. Matriz de tratamientos del cultivo intercalado considerando los factores: densidad de población de maíz y frijol de guía asociados y haba, variedad de maíz y fórmula de fertilización.

Tratamiento	Maíz-frijol de guía						Haba		
	Densidad de población (plantas ha ⁻¹)		Variedad Maíz	Fertilización			Densidad de población (plantas ha ⁻¹)	Fertilización	
	Maíz	Frijol		N (kg ha ⁻¹)	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Composta (t ha ⁻¹)		P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Composta (t ha ⁻¹)
1 ^z	41666	20833	Azul	80	80	3	41666	80	0
2	29166^y	14583	Azul	80	80	3	29166	80	0
3	41666	10417	Azul	80	80	3	41666	80	0
4	41666	20833	Azul	0	0	0	41666	0	0
5	41666	20833	Azul	80	80	0	41666	80	0
6	41666	20833	Azul	0	0	3	41666	0	3
7	54166	27083	Azul	80	80	3	54166	80	0
8	41666	20833	Rosado	80	80	3	41666	80	0
9	54166	27083	Rosado	80	80	3	54166	80	3

^z Tratamiento de referencia ; ^y resaltan en negritas los niveles del factor estudiado.

Adicionalmente, se establecieron 3 tratamientos de cultivo simple 1) maíz azul-frijol de guía asociados, 2) maíz rosado- frijol de guía asociados y 3) haba (Cuadro 2). Estos tratamientos no se consideraron para el análisis estadístico pero sí para el cálculo de la eficiencia relativa de la tierra (ERT) y la eficiencia relativa de la ganancia (ERG).

Cuadro 2. Tratamientos de cultivo simple

Tratamiento ^z	Maíz-frijol de guía						Haba		
	Densidad de población (plantas ha ⁻¹)		Variedad Maíz	Fertilización			Densidad de población (plantas ha ⁻¹)	Fertilización	
	Maíz	Frijol		N (kg ha ⁻¹)	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Composta (t ha ⁻¹)		P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Composta (t ha ⁻¹)
CSMA	41666	20833	Azul	80	80	3	-	-	-
CSMR	41666	20833	Rosado	80	80	3	-	-	-
CSH	-	-	-	-	-	-	41666	80	0

^z CSMA= cultivo simple de maíz azul-frijol de guía, CSMR= cultivo simple de maíz rosado-frijol de guía y CSH=cultivo simple de haba

5.6. Diseño experimental

El diseño experimental fue en parcelas divididas con tres repeticiones en bloques al azar, en el que se consideró como parcela grande el arreglo topológico y como parcela chica los nueve tratamientos obtenidos de la matriz baconiana. La unidad experimental constó de 6 surcos de 6 m de longitud y 80 cm de ancho, de los que se consideraron como parcela útil 4 m.

5.7. Establecimiento del experimento

La preparación de los materiales y el establecimiento del experimento se realizaron de acuerdo con el método de campo propuesto por Laird (1968).

5.7.1. Preparación del terreno y siembra

La siembra (Figura 3) se llevó a cabo el 20 y 21 de abril de 2013, para lo cual se realizaron las siguientes labores: roturación del suelo de forma mecánica con un tractor (Figura 3A), enseguida se hizo el surcado con tronco de caballos siguiendo las curvas de nivel previamente trazadas con nivel de manguera (Figura 3B). Posteriormente, se delimitó la superficie de la parcela experimental de 43 m de longitud por 44 m de ancho, así como el trazado de las unidades experimentales, las cuales fueron delimitadas con alambres, dejando un pasillo central de 1 m de ancho para facilitar las labores en el experimento.



Figura 3. A. Roturación del suelo con tractor y “vigado” para evitar la pérdida de humedad, B. Trazo de curvas con nivel de manguera, C y D. Fertilización orgánica y mineral.

5.7.2. Fertilización

La fertilización se hizo con la fórmula 80-80-00 y composta a una dosis de 3 t ha^{-1} , de acuerdo con experiencias previas en suelos similares de la meseta Tarasca, estado de Michoacán (Turrent., 2013, com. Pers.). El 50% del nitrógeno se aplicó al momento de la siembra, así como todo el fósforo y la composta, el otro 50% de nitrógeno se aplicó en la segunda labor.

Los fertilizantes utilizados fueron urea (46% N), superfosfato de calcio triple (46% P_2O_5) y composta elaborada por el productor la cual fue analizada. El análisis reportó un contenido nitrógeno de 1.47%, materia orgánica de 16.09% y fosforo de 50 ppm.

5.8. Manejo

A los 20 días después de la siembra se resembró para tener la densidad de plantas deseada, esto fue debido a que no todas las semillas germinaron o por daño de plagas como el gusano trozador (*Agrotis ipsilon*), el gusano de alambre (*Agriotes spp.*) y la tuza (*Geomys bursarius*). Sin embargo, aun con la resiembra se tuvo fallas en la densidad de población planeada.

Posteriormente, a los 85 días después de la siembra (dds) se hizo la primera escarda, labor que se aprovechó para hacer la aplicación del 50% del nitrógeno faltante para los tratamientos que lo requerían. Asimismo, a los 92 dds se realizó la segunda escarda.

El manejo de malezas se llevó a cabo a los 54 dds, con la labor del rayado que es una práctica cultural que los campesinos realizan para el control de las malezas. Esta labor se hace con el arado de vertedera con yunta de caballos para enterrar las malezas con el suelo removido. También se hicieron dos deshierbes manuales uno en el mes de agosto y el otro en septiembre.

Control de plagas. Se realizaron dos aplicaciones de malatión 100; la primera en el mes de junio por la presencia de plagas como el gusano trozador (*A. ipsilon*) y el gusano de alambre (*Agriotes* spp.); la segunda, fue en el mes de agosto para el control de frailecillo (*Macrodactylus nigripes*) y pulgón (*Aphis fabae*) en el haba y conchuela del frijol (*Epilachna varivestis*) en el frijol. Para el caso de las tuzas no se hizo ningún control, pero el daño por esta plaga no fue significativo, a diferencia del causado por el gusano trozador y de alambre.

La cosecha de haba verde (en ejote) se llevó a cabo el 11 de octubre, mediante el muestro de 10 matas de haba con competencia completa en cada unidad experimental y se registró el peso de las vainas en verde en campo, ya en casa se contó el número de vainas y el número de granos por vainas.

La cosecha de maíz y el frijol de guía se realizaron el 23 de noviembre de 2013. Para ello se cosechó todo el maíz y el frijol en 4 m de los surcos de la parcela útil de cada tratamiento. Se registró el peso en campo de las mazorcas y su contenido de humedad con un medidor de humedad de John Deere Moisture-Chek Tester modelo SW16060, el número de mazorcas y número de plantas estériles. Asimismo, se seleccionó una muestra de 5 mazorcas para determinar el número de hileras, granos por hilera, peso de 100 granos así como el factor de desgrane.

Después de cosechar el maíz se cortó el rastrojo y se pesó en la parcela; posteriormente se obtuvo una muestra que se pesó en campo y se llevó al laboratorio para secarla y obtener el contenido de humedad y la producción de materia seca.

En el frijol se retiró toda la planta colocándola en un costal para no tener pérdida de vainas y en gabinete se realizó el conteo del número de vainas llenas y vanas así como el peso del grano.

5.9. Variables evaluadas

En el maíz se evaluó el rendimiento del grano con 14% de humedad el cual se obtuvo a partir del peso de las mazorcas de cada unidad experimental y se hizo la corrección según el contenido de humedad de campo; y el factor de desgrane. Además, se hizo una corrección en el rendimiento final debido a que hubo robo de mazorcas antes de la cosecha, para ello se determinó el número de matas en las cuales se presentó tal situación. Asimismo, se evaluaron los componentes de rendimiento tales como número de granos por mazorca, número de hileras y tamaño del grano (determinado por el peso de 100 granos) (Anexo 1).

Para el cálculo de la biomasa se consideró el peso seco del rastrojo al que se le adicionó el peso del olote.

En frijol se determinó el rendimiento de grano y componentes de rendimiento como el número de vainas, granos por vaina, vainas por planta y tamaño de grano (peso de 100 granos).

En haba solo se evaluó el rendimiento de haba fresca.

Los rendimientos de los tres cultivos se reportan en una hectárea compacta (lo que significa que se reporta media ha de la asociación maíz- frijol de guía y media ha de haba).

5.10. Análisis estadístico

El análisis de varianza (ANOVA) se realizó de acuerdo al diseño experimental de parcelas divididas con el paquete estadístico SAS (Statistical Análisis System) versión 9.1 (SAS Institute, 2004). La separación de medias fue realizada con la prueba de la Diferencia Mínima Significativa (DMS) a $P < 0.05$.

5.11. Eficiencia Relativa de la Tierra (ERT)

La ERT es el criterio usado más frecuentemente para determinar la efectividad de un cultivo intercalado (Mead y Willey, 1890). Su nombre proviene de su interpretación como el requerimiento relativo de tierra para los cultivos intercalados contra los cultivos simples. Por lo tanto, la ERT es la suma de los rendimientos relativos de las especies componentes.

Debido a que en este estudio, el cultivo intercalado estuvo integrado por los componentes de maíz y frijol de guía asociados e intercalados con haba, y el cultivo simple fue la asociación maíz-frijol de guía y el monocultivo de haba, en el cálculo de la ERT del primer componente, el numerador fue la suma de los rendimientos del maíz y del frijol, mientras que para el haba se calculó como normalmente se hace de acuerdo con lo mencionado por Turrent (1979); por lo tanto, la fórmula para calcular la ERT quedó como sigue:

$$ERT = \frac{\text{Rendimiento del maíz + rendimiento de frijol en el sistema intercalado}}{\text{Rendimiento de maíz + rendimiento de frijol como cultivo simple}} + \frac{\text{Rendimiento de haba en el sistema intercalado}}{\text{Rendimiento de haba como cultivo simple}}$$

5.12. Eficiencia Relativa de la ganancia (ERG) e ingreso neto

La eficiencia relativa de la ganancia se obtuvo de la misma manera que la ERT pero se utilizaron los ingresos brutos en lugar de los rendimientos.

En el ingreso neto se consideraron los costos fijos, costos variables y precio de venta de los productos (Cuadro 3), para así realizar el análisis de cuánto se invirtió y cuánto es la ganancia de cada tratamiento.

Cuadro 3. Lista de precios, considerados en el cálculo de ingreso neto

	Concepto	Precio (\$)
Costos fijos	Renta de la tierra, barbecho, rastra, surcado, aplicación del fertilizante, control de malezas, control de plagas, cosecha de maíz, frijol de guía y haba, corte de rastrojo y costo de la siembra manual.	\$ 6840.00 ha ⁻¹
Costos variables	Precio N transportado a la parcela	\$ 8.50 kg N ⁻¹
	Precio P transportado a la parcela	\$ 11.50 kg P ⁻¹
	Precio Composta transporte a la parcela	\$ 1.50 kg composta ⁻¹
	Costo de semilla:	
	Maíz	\$ 7.00 kg ⁻¹
	Frijol de guía y	\$ 23.00 kg ⁻¹
	Haba	\$ 50.00 kg ⁻¹
Precio de venta	Precio del grano de maíz, desgranado y transportado al punto de venta	\$ 3.50 kg ⁻¹
	Precio del rastrojo molido y transportado al punto de venta	\$ 1.10 kg ⁻¹
	Precio del frijol beneficiado y transportado al punto de venta	\$ 23.00 kg ⁻¹
	Precio del haba verde transportada al punto de venta	\$ 10.00 kg ⁻¹

Fuente: Elaboración propia con datos recopilados en la localidad de estudio en 2014.

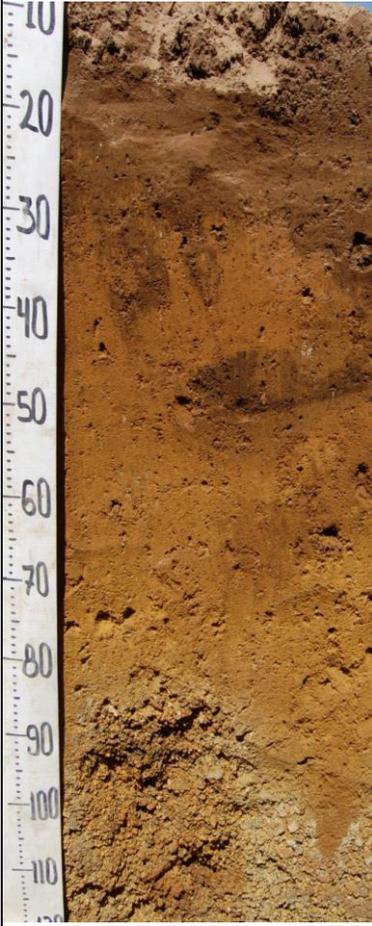
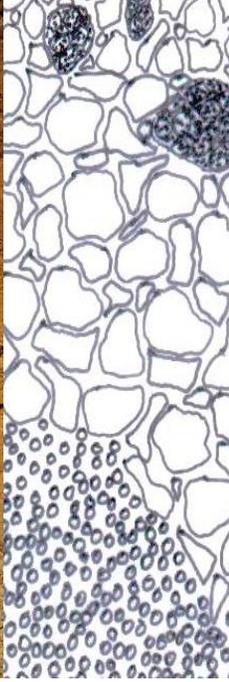
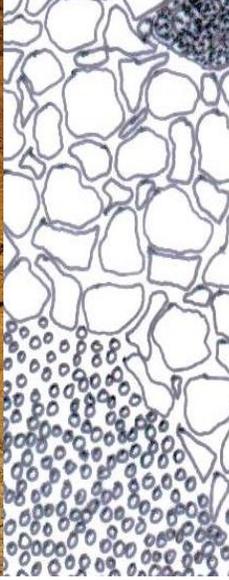
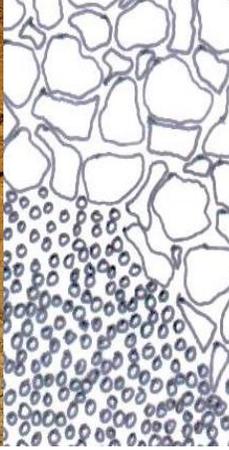
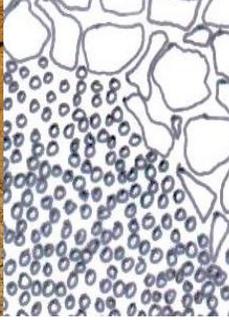
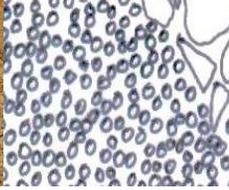
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Caracterización del suelo

El estudio del perfil indicó que el suelo es profundo (>1.0 m) y presenta siete horizontes genéticos (Cuadro 4). Los horizontes Ap, A2 y Bw de color pardo en seco y pardo muy oscuro en húmedo y ligera reacción al H₂O₂ indican presencia de óxidos de manganeso. El suelo no presenta reacción al HCl lo que muestra ausencia de carbonatos. En los horizontes Bw2, Bw3 y Bw4 hubo un cambio de tonalidad de colores a marrón ligeramente amarillento en seco y marrón amarillento oscuro en húmedo. El suelo presenta abundantes raíces en los horizontes subterficiales (hasta 29 cm). El suelo se formó de cenizas volcánicas, las cuales sepultaron lapillis pomáceos y constituyen una discontinuidad litológica y un horizonte C. En el horizonte 2C, el color fue marrón muy pálido en seco y pardo ligeramente amarillento en húmedo, y no se observó presencia de materia orgánica ni carbonatos.

La textura determinada en campo fue en los primeros cuatro horizontes franco y en los siguientes horizontes franco-arenoso-arcilloso, lo cual permite una permeabilidad rápida y muy rápida en todo el perfil. La estructura es de bloques subangulares y granulares que indican presencia de actividad biológica (Pape y Lager, 1995). Como los suelos conservan humedad, ésta genera diferentes grados de desarrollo en los agregados: bien desarrollados en los primeros cuatro horizontes, moderadamente desarrollada en el quinto y débilmente desarrollados en los dos últimos horizontes. Estas condiciones del perfil muestran condiciones físicas favorables para el desarrollo de la raíz de los cultivos, lo cual quedó confirmado por la presencia de raíces en todo el perfil, aunque solamente en los primeros 50 cm fueron más abundantes. Sin embargo, por ser un andosol, el suelo es muy susceptible a la erosión eólica e hídrica.

Cuadro 4. Descripción del perfil del sitio experimental

Horizonte genético	Características
	<p>Ap 0-14 cm. Pardo muy oscuro (7.5 YR 2.5/2) cuando húmedo, pardo (7.5 YR 4/3) cuando seco; friable; franco; estructura desarrollada en bloques subangulares y granulares; permeabilidad rápida; poros finos, continuos, intersticiales y aleatorios; raíces abundantes y delgadas; sin reacción al HCl y ligera reacción al H₂O₂; transición horizontal media al siguiente horizonte.</p>
	<p>A2 14-20/29 cm. Pardo muy oscuro (7.5 YR 2.5/3) cuando húmedo, pardo (7.5 YR 5/4) cuando seco; ligeramente húmedo; friable; franco; estructura desarrollada en bloques subangulares y granulares; permeabilidad rápida; poros finos, continuos, intersticiales y aleatorios; raíces abundantes finas y delgadas; sin reacción al HCl, ligera reacción al H₂O₂; transición ondulada tenue al siguiente horizonte.</p>
	<p>Bw 20/29-38 cm. Pardo muy oscuro (7.5 YR 2.5/3) cuando húmedo, pardo (7.5 YR 5/4) cuando seco; húmedo; friable; franco; estructura desarrollada con bloques subangulares; permeabilidad rápida; poros finos, continuos, intersticiales y aleatorios; raíces comunes y finas; sin reacción al HCl, ligera reacción al H₂O₂; transición horizontal tenue al siguiente horizonte.</p>
	<p>Bw2 38-48 cm. Marrón amarillento oscuro (10 YR 3/6) cuando húmedo, marrón ligeramente amarillento (10 YR 6/4) cuando seco; húmedo; friable; franco; estructura moderadamente desarrollada en bloques subangulares; permeabilidad muy rápida; poros frecuentes, medianos, discontinuos, intersticiales y aleatorios; raíces pocas y finas; sin reacción al HCl, ligera reacción al H₂O₂; presencia de crotovinas; transición horizontal media al siguiente horizonte.</p>
	<p>Bw3 48-70/80 cm. Marrón amarillento oscuro (10 YR 3/6) cuando húmedo, marrón ligeramente amarillento (10 YR 6/4) cuando seco; húmedo; muy friable; franco arenoso-arcilloso; estructura moderadamente desarrollada en bloques subangulares; permeabilidad muy rápida; poros frecuentes, medianos, discontinuos, intersticiales y aleatorios; raíces raras y delgadas; sin reacción al HCl, ligera reacción al H₂O₂; presencia de crotovinas; transición ondulada tenue al siguiente horizonte.</p>
	<p>Bw4 70/80-80/90 cm. Marrón amarillento oscuro (10YR 4/4) cuando húmedo, pardo muy claro (10 YR 7/4) cuando seco; húmedo; muy friable; franco arenoso-arcilloso; estructura moderadamente desarrollada en bloques subangulares y granulares; permeabilidad muy rápida; poros frecuentes, gruesos, discontinuos, intersticiales y aleatorios; raíces raras y delgadas; sin reacción al HCl y sin reacción al H₂O₂; transición ondulada tenue al siguiente horizonte.</p>
	<p>2C 80/90-114 cm. Pardo ligeramente amarillento (10YR 6/4) cuando húmedo, marrón muy pálido (10 YR 7/3) cuando seco; húmedo; suelto; franco arenoso-arcilloso; estructura débilmente desarrollada en bloques laminares; permeabilidad muy rápida; poros frecuentes, gruesos, discontinuos, intersticiales y aleatorios; raíces muy raras y delgadas; sin reacción al HCl y sin reacción al H₂O₂. El material parental está compuesto por lapillis.</p>

De acuerdo con la caracterización de las propiedades edáficas, el suelo tiene una densidad aparente que varía de 0.7 a 1.1 g cm⁻³ (Cuadro 5). La textura determinada en laboratorio que presentó el perfil fue de franco limoso del horizonte Ap hasta el horizonte Bw3; en los últimos dos horizontes cambió a franco y franco arenoso por la discontinuidad litológica. El contenido de materia orgánica y el porcentaje de nitrógeno tienen un comportamiento regular con la profundidad, mayor en el horizonte superficial y varía gradualmente con los horizontes subsuperficiales. Los valores del pH fueron de 5.8 a 6.2 los cuales indican que es un suelo ácido. Este suelo, es un Andosol que tienen propiedades vítricas y ándicas poco desarrolladas por las densidades aparentes que presenta (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007), por lo que se trata de un material con pocos amorfos para retener fosfatos, de ahí que los horizontes Ap y A2 se encuentran los valores más altos de fósforo asimilable.

En cuanto a la muestra compuesta presentó valores similares del horizonte Ap en la densidad aparente y textura, pero fue diferente en materia orgánica, pH, nitrógeno y fósforo.

Cuadro 5. Caracterización física y química del suelo

Horizonte	Profundidad (cm)	DAP (g cm ⁻³)	Textura	Materia Orgánica (%)	pH	Nitrógeno (%)	Fósforo (ppm)
Ap	0-14	1.1	Franco limoso	9.0	5.8	3.1	1.7
A2	14-29	0.7	Franco limoso	3.6	5.9	1.8	1.9
Bw	29-38	0.8	Franco limoso	2.7	5.9	1.3	1.5
Bw2	38-48	0.8	Franco limoso	1.7	5.9	0.8	0.4
Bw3	48-80	0.8	Franco limoso	1.4	5.9	0.6	0.3
Bw4	80-89	1.0	Franco	0.7	6.2	0.3	0.1
2C	89-114	1.1	Franco arenoso	0.7	6.2	0.2	0.2
MC ^z	0-15	1.1	Franco limoso	5.5	5.5	2.1	0.5

^zMC: Muestra compuesta de la parcela

De acuerdo a estos resultados, el contenido de materia orgánica en la capa arable fue alto (Ortiz, 2010) respecto a suelos minerales; no obstante, de acuerdo con la NOM-021, en suelos volcánicos, fue de bajo a medio. Los Andosoles pueden variar mucho en sus propiedades físicas y químicas de acuerdo con el grado de alteración de las cenizas volcánicas, incluso dentro de un mismo sitio pues el drenaje puede favorecer o limitar el intemperismo. El cambio de uso del suelo provoca una disminución drástica en el contenido de materia orgánica y el continuo uso agrícola genera mayor disminución si no se aplican mejoradores orgánicos. Los Andosoles bajo vegetación de coníferas alcanzan hasta 8.5 % o más de materia orgánica

(Aguilar, 1995; Alcalá *et al.*, 2001). Los suelos estudiados con hasta 9 % de materia orgánica indican un manejo eficiente del recurso, es por eso que la estructura de origen biológico todavía se conserva.

En conclusión, el suelo tiene tanto propiedades físicas como químicas para el buen desarrollo de los cultivos (Pape y Lagger, 1994).

6.2. Rendimiento del cultivo intercalado maíz, frijol de guía y haba

El rendimiento de grano y rastrojo del maíz y de frijol no se vieron afectados por el arreglo topológico (parcela grande), pero sí fueron afectados por los tratamientos de parcela chica; mientras que en el haba la respuesta fue a la inversa. Estos resultados pueden deberse a los valores altos del coeficiente de variación (Cuadro 6), que pudo ser menor si se hubiera incrementado el número de repeticiones.

Cuadro 6. Coeficiente de variación del rendimiento de grano y rastrojo del maíz, rendimiento del frijol de guía y rendimiento del haba verde

Variables	C.V (%)
Grano de maíz	30.05
Rastrojo de maíz	22.11
Frijol	34.20
Haba verde	42.58

6.2.1. Rendimiento de grano y rastrojo del maíz

En el rendimiento de grano y rastrojo de maíz no se encontró diferencias significativas entre los arreglos topológicos 1x1 y 2x2. En cambio sí hubo diferencias significativas debido a la densidad de población, la cual al ser incrementada de 29,166 a 54,166 plantas ha⁻¹ ocasionó un incremento en el rendimiento de maíz de 53%, aun cuando se disminuye el rendimiento por planta debido a un menor tamaño de grano (Anexo 1). Esta respuesta indica un incremento de la competencia inter e intraespecífica (Galdámez *et al.*, 2010) por la intensificación del sistema (Figura 4), sin embargo existe un mayor aprovechamiento de los recursos suelo, luz y

agua; Quiroz y Marín (2003), tampoco encontraron diferencias en el rendimiento de maíz en sistema intercalado con quinchocho (*Cajanus cajan*), con y sin fertilización comparado con los mismos cultivos en asociación.

La producción de rastrojo mostró resultados similares al rendimiento de grano, donde al aumentar la densidad de plantas aumentó la biomasa en 66% (Figura 4B). Al respecto, De la Cruz *et al.*, (2009) encontraron que al incrementar la densidad de plantas, el rendimiento tendió a incrementarse.

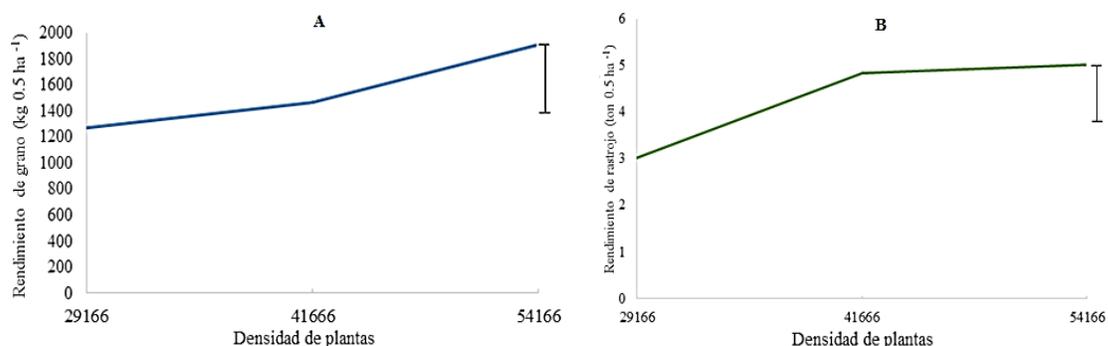


Figura 4. Rendimiento de grano (A) y rastrojo (B) de maíz en el cultivo intercalado maíz-frijol de guía asociado y haba, en función de la intensificación del sistema en cuanto a la densidad de plantas. La barra vertical indica la Diferencia Mínima Significativa con un $\alpha=0.05$

El rendimiento de grano de maíz presentó una diferencia de 500 kg entre la variedad azul y rosada sin que fuese significativa; sin embargo, la producción de rastrojo fue 28% superior en el maíz azul lo cual se debe a características propias del genotipo (Figura 5).

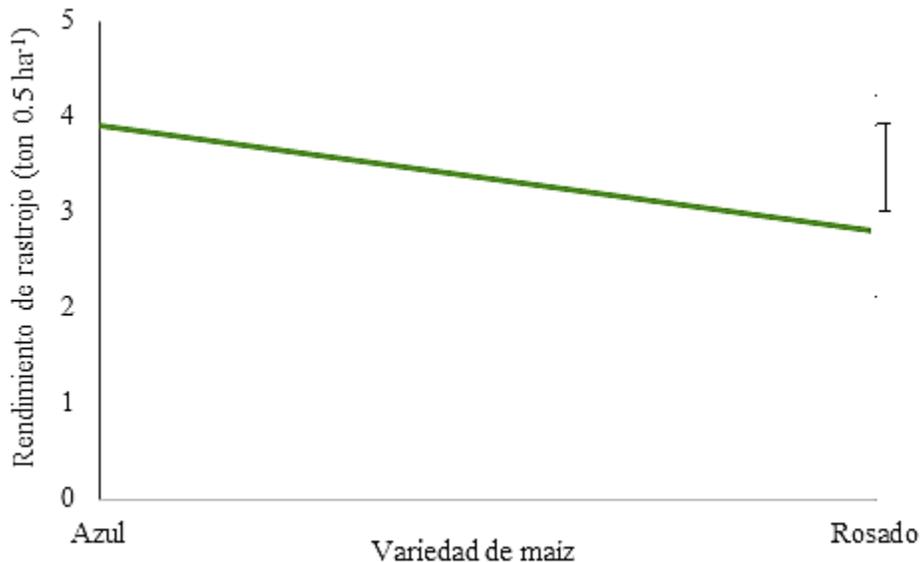


Figura 5. Efecto de la variedad de maíz en la producción de rastrojo en el cultivo intercalado de maíz-frijol de guía asociados y haba. La barra vertical indica la Diferencia Mínima Significativa con un $\alpha=0.05$

La aplicación de fertilizante mineral, solo o adicionado con composta y la composta sola incrementaron significativamente el rendimiento de maíz y de rastrojo (Cuadro 7). Este resultado muestra que la fertilización es importante independientemente de la fuente aplicada. El efecto de la aplicación de abonos orgánicos en Andosoles ha sido documentada por otros autores, que mencionan que el efecto de los estiércoles no solo es debido al contenido de elementos mayores, sino también a su acción para hacer disponible el fósforo que se encuentra retenido por el suelo (Baus, 1980) y aportación de elementos menores.

En cuanto a la producción de rastrojo solamente hubo respuesta a la fertilización mineral, ya que el abono orgánico solo o en presencia de fertilización mineral no incrementó el rendimiento. Esto puede deberse a que la producción de rastrojo, depende más del contenido de nutrientes disponibles fácilmente en los abonos minerales y debido a que el abono orgánico libera lentamente los mismos y el contenido de nitrógeno es menor.

Cuadro 7. Rendimiento del grano y rastrojo del cultivo intercalado del maíz asociado con frijol de guía y haba en función de la dosis y fuente de fertilización

Dosis	Rendimiento de grano (kg 0.5 ha ⁻¹)	Rendimiento de rastrojo (t 0.5 ha ⁻¹)
00-00-00-0C	867.0 b*	2.6 b
00-00-00-3C	1,799.1 a	2.7 b
80-80-00-0C	1,541.4 a	3.7 a
80-80-00-3C	1,422.5 a	3.9 a
DMS	536.5	0.9

* Letras diferentes en columnas indican diferencias significativas según la prueba de DMS $\alpha=0.05$.

6.2.2. Rendimiento de frijol de guía

El rendimiento del frijol de guía asociado con el maíz en surcos alternos con haba en el arreglo topológico 1x1 no fue diferente del 2x2. Ya que el frijol presenta metabolismo C3 y muestra plasticidad para adaptarse a las diferentes condiciones de entrada de luz en los arreglos estudiados (Escalante y Kohashi, 1993).

El rendimiento de frijol presentó una respuesta significativa a la densidad de plantas con un incremento de 48% al aumentar la densidad de 10,417 a 20,833 plantas ha⁻¹. Este rendimiento superior no solo es explicado por un mayor número de plantas, sino también por el mayor número de granos por vaina (Anexo 2).

Este resultado difiere de Vélez *et al.* (2007), quienes mencionan que hay diversos estudios que muestran un efecto negativo en los componentes de rendimiento del frijol asociado con maíz como por ejemplo en el número de vainas por planta y granos por vaina, por el efecto de un incremento en la densidad de población. Esto puede deberse a que en el sistema propuesto aún se puede incrementar más la densidad del frijol ya que la competencia con el maíz y el mismo frijol no ha sido tan fuerte como para afectar negativamente los componentes de rendimiento.

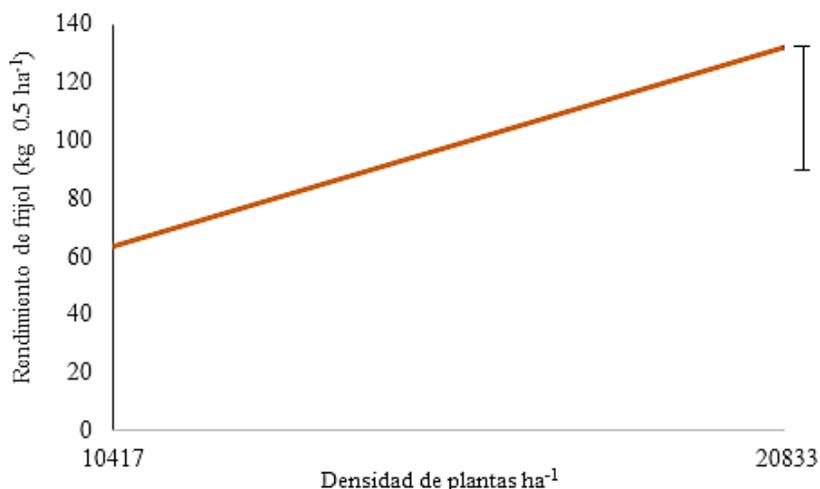


Figura 6. Rendimiento de frijol de guía asociado con maíz, intercalado con haba en función de la densidad de plantas. La barra vertical indica la Diferencia Mínima Significativa con $\alpha=0.05$.

La variedad de maíz asociada con el frijol influye en el rendimiento. El frijol asociado con la variedad de maíz azul rindió de 132.8 kg en 0.5 ha⁻¹, pero cuando estuvo asociado con la variedad de maíz rosado el rendimiento disminuyó en 32% (Figura 7). Esto puede deberse a las diferencias en la arquitectura de la planta entre ambas variedades de maíz. En el campo se pudo observar que el maíz azul es de porte más alto que el maíz rosado; por lo tanto el frijol tuvo mejor soporte para su desarrollo.

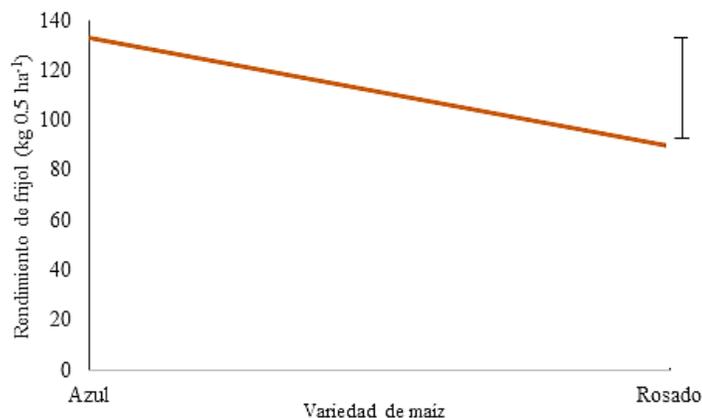


Figura 7. Rendimiento de frijol de guía en función de la variedad de maíz a la que está asociado en el sistema intercalado con haba. La barra indica la DMS: Diferencia Mínima Significativa con $\alpha=0.05$

El rendimiento del frijol de guía no se vio afectado por la fertilización mineral y orgánica, lo que indica que el suelo está proporcionando los nutrientes necesarios o que la dosis aplicada no fue suficiente para tener una respuesta. Hay que considerar que el frijol en este sistema está asociado al maíz el cual también está haciendo uso de los nutrientes suministrados; por lo tanto, es muy probable que la falta de respuesta a la fertilización sea que se necesita incrementar la dosis, dado que el maíz si presentó respuesta positiva a la aplicación de fertilizantes tanto en el rendimiento de grano como de rastrojo, lo que puede ocasionar una competencia fuerte para el frijol.

6.2.3. Rendimiento de haba verde

En el rendimiento de haba verde se encontraron diferencias significativas debido al arreglo topológico, siendo en promedio 18% más alto en el 1x1 que en el 2x2 (Cuadro 8). Esto indica que la competencia por recursos es más intensa entre el haba con su misma especie que con el maíz, dado que con el arreglo 1x1 la competencia se da inter específica y en el 2x2 hay más competencia intraespecífica. Rezaei-Chianeh *et al.* (2011), han reportado la competencia intraespecífica e interespecífica cuando se siembra maíz y haba asociados.

Cuadro 8. Rendimiento de haba verde, intercalada con maíz y frijol de guía asociados, en función del arreglo topológico, densidad y fertilización

Arreglo topológico	Densidad haba (plantas ha ⁻¹)	Fertilización		Rendimiento (t 0.5 ha ⁻¹)
		P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Compst (t ha ⁻¹)	
1x1	41,666	80	0	6.3
	29,166	80	0	5.4
	41,666	80	0	3.5
	41,666	0	0	5.0
	41,666	80	0	4.8
	41,666	0	3	3.8
	54,166	80	0	5.9
	41,666	80	0	5.2
	54,166	80	3	5.9
2x2	41,666	80	0	4.9
	29,166	80	0	2.6
	41,666	80	0	4.0
	41,666	0	0	3.7
	41,666	80	0	3.2
	41,666	0	3	4.0
	54,166	80	0	5.7
	41,666	80	0	5.3
	54,166	80	3	5.6

Por otro lado, no se observó respuesta a la densidad de plantas, lo cual difiere a lo reportado por otros estudios donde se utilizaron densidades más altas que en este trabajo (Aguilera y Recalde, 1995; Garrido y Garrido, 2003; Rojas *et al.*, 2012). Por lo tanto el resultado tal vez se deba a que el espacio de exploración no fue lo suficientemente amplio para observar la respuesta.

La fertilización mineral y orgánica no incrementó el rendimiento de haba verde (Cuadro 9), lo cual pudo deberse a que las dosis aplicadas no satisficieron la demanda del cultivo. Pichardo *et al.* (2007), mencionan que la aplicación fraccionada de 130 unidades de N son las que incrementaron el rendimiento, tal dosis es superior a la utilizada en este estudio. Estos resultados también difieren de lo encontrado por Escalante y Rodríguez (2011), que mencionan que la fertilización con fósforo tiene un efecto positivo en la producción de haba y que es necesaria la aplicación de nitrógeno aunque utilizaron una densidad de plantas mayor a la de este estudio. Asimismo, Morales *et al.* (2002) observaron una respuesta a la aplicación de fósforo y el efecto de la interacción genotipo y fósforo; sin embargo la variedad criolla no respondió a la aplicación de fósforo lo que concuerda con este estudio. Por su parte, Zegada (1995) no reportó respuesta significativa a la fertilización orgánica, pero si a la mineral.

Cuadro 9. Rendimiento de haba en verde en función de la dosis y fuente de fertilización

Dosis	Rendimiento (t 0.5 ha ⁻¹)
00-00-00	4.4 a*
00-80-00	5.6 a
00-00-3C	3.9 a
00-80-3C	5.7 a
DMS	2.9

* Letras diferentes en columnas indican diferencias significativas según la prueba de DMS $\alpha=0.05$.

6.3.Eficiencia relativa de la tierra (ERT)

La eficiencia relativa de la tierra en los dos arreglos topológicos vario de 1.17 a 1.4 (Cuadro 10), lo que indica que se necesitarían 1.17 a 1.4 ha para producir en cultivo simple la cantidad de maíz – frijol y haba obtenida en el cultivo intercalado. Ligarreto *et al.* (1992), obtuvieron ERT de 1.61 y 1.54 para proporciones de plantas de maíz y frijol de 4:2 y 4:1, que corresponden a poblaciones de 47 mil plantas de maíz ha⁻¹ y 23.648 y 11.814 plantas de

fríjol/ha, respectivamente, y mencionan que la variación en el valor de la ERT puede obedecer a las diferentes densidades de población y genotipos utilizados. De la misma manera, Quiroz y Marín (2003) obtuvieron valores de 1.90 y 1.93 de ERT en el sistema intercalado de maíz y quinchoncho (*C. cajan*) y Morales *et al.* (2006) obtuvieron ventajas de 60 a 200% en los cultivos combinados de girasol variedad Victoria con diferentes cultivares de frijol sobre los cultivos simples. El mayor aporte a la ERT total en este estudio lo hace el cultivo de haba verde con 66% de la participación en el arreglo 1x1 y 68% en el 2x2. Tales resultados difieren de lo encontrado por Quiroz y Marín (2003) que mencionan una mayor contribución del maíz a la ERT total. Sin embargo, considerando que el maíz es el cultivo al que se le da mayor prioridad ya que es el alimento básico de las familias donde se realizó el estudio, los mejores tratamientos serían el 1x1 en caso de maíz azul y el 2x2 el caso de maíz rosado dado que la eficiencia relativa parcial en dichos tratamientos fue de 0.5 y 0.6 respectivamente.

Cuadro 10. Efecto de la variedad de maíz en la eficiencia relativa de la tierra (ERT) del cultivo intercalado maíz-frijol de guía asociado y haba bajo dos arreglos topológicos

Cultivo intercalado	Rendimiento		ERT parciales		ERT total
	Maíz + Frijol (t 0.5 ha ⁻¹)	Haba verde	Maíz + Frijol	Haba verde	
1x1 maíz azul con frijol de guía, intercalado con haba	(1.6+.144) 1.744	6.3	0.5	0.9	1.40
1x1 maíz rosado con frijol de guía, intercalado con haba	(1.234+.083) 1.317	5.4	0.4	0.77	1.17
2x2 maíz azul con frijol de guía intercalado con haba	(1.3+.145) 1.445	5.9	0.4	0.84	1.24
2x2 maíz rosado con frijol de guía, intercalado con haba	(1.725+.098) 1.823	5.3	0.6	0.75	1.35
Cultivo simple	Rendimiento				
	Maíz + Frijol (t ha ⁻¹)	Haba verde			
Maíz azul con frijol de guía	(3.275+.219) 3.494	0			
Maíz rosado con frijol de guía	(3.141+.135) 3.276	0			
Haba		7.0			

6.4. Eficiencia relativa de la ganancia (ERG) e ingreso neto

La eficiencia relativa de la ganancia fue mayor en los arreglos topológicos 1x1 y 2x2 con ambas variedades de maíz azul y rosado (Cuadro 11), lo que indica que es mejor sembrar el maíz y frijol de guía asociados y el haba en el sistema intercalado en franjas que en cultivo simple. El haba es la especie componente sobresaliente debido a su alto rendimiento respecto a la superficie de terreno que ocupó y por su precio en el mercado como haba verde. Esto también se ve reflejado en el cultivo simple que dio el ingreso bruto más alto de \$70,000 ha⁻¹ (Cuadro 11), lo cual induciría a recomendar que el pequeño agricultor se dedique solamente al cultivo de haba. Sin embargo, en términos de soberanía alimentaria, las especies prioritarias son los cultivos básicos maíz y frijol, que si fueran abandonados, la familia sería dependiente del mercado. Además, el análisis del ingreso neto anual indica que con el sistema intercalado 1x1 con maíz azul, se obtendrían \$ 61,200 contra \$ 49,459 del cultivo simple de haba (Anexo 3). En base a salarios mínimos por día sería de 1.9 y 2.4, respectivamente), lo cual se debe a que el costo de producción del haba en cultivo simple es mayor que en el cultivo intercalado.

Albino (2014) obtuvo una ERG de 1.58 en el arreglo topológico de un surco alternado de maíz con uno de frijol de mata, lo que demuestra la ventaja del sistema intercalado en franjas, observada en este estudio.

Ruiz y Loaeza (2004) reportaron que la siembra de maíz asociado con frijol asegura el ingreso neto del productor, y que la especie de mayor valor económico fue el frijol con el rendimiento obtenido en la proporción de terreno que ocupó. En este trabajo el haba verde fue el cultivo de más aporte económico como ingreso bruto, sin embargo fue el cultivo que requirió de mayor inversión (Anexo 3).

Por su parte, Quiroz y Marín (2003) señalan que la asociación de maíz- quinchoncho en hileras alternas, son una ventaja en la estabilidad económica para el agricultor ya que permite disponer de dos fuentes de ingreso del mismo terreno.

Cuadro 11. Eficiencia relativa de la ganancia (ERG), ingreso neto y salario mínimo por día, de acuerdo a la variedad de maíz del cultivo intercalado maíz-frijol de guía asociado y haba bajo dos arreglos topológicos

Cultivo intercalado	Maíz +Frijol (\$)	Haba verde (\$)	ERG parciales			Ingreso neto ^z (\$)	Salario mínimo por día
			Maíz +Frijol	Haba verde	ERG		
1x1 maíz azul con frijol de guía, intercalado con haba	(5,600+3,312) 8,912	63,000	0.54	0.90	1.44	61,222	2.40
1x1 maíz rosado con frijol de guía, intercalado con haba	(4,319+1,909) 6,228	54,000	0.44	0.77	1.21	45,142	1.79
2x2 maíz azul con frijol de guía, intercalado con haba	(4,550+3,335) 7,885	59,000	0.48	0.84	1.32	43,855	1.71
2x2 maíz rosado con frijol de guía, intercalado con haba	(6,037+2,254) 8,291	53,000	0.59	0.76	1.35	46,962	1.80
Cultivo simple	Maíz +Frijol (\$)	Haba verde					
Maíz azul con frijol de guía	(11,462+5,037) 16,499	0				11,911	0.46
Maíz rosado con frijol de guía	(10,993+3,105) 14,098	0				8,310	0.32
Haba		70,000				49,459	1.90

^z El ingreso neto hace referencia a un ciclo de cultivo.

7. CONCLUSIONES

En la evaluación del sistema de milpa integrada por el cultivo asociado de maíz-frijol intercalado con haba, en función del arreglo topológico, densidad, variedad de maíz y fertilización se concluye que:

No se rechazó la hipótesis ya que el cultivo intercalado resultó mejor que el cultivo simple esto indica que es mejor sembrar el maíz -frijol y haba en cultivo intercalado, sin dejar de producir el maíz y el frijol que son la base de la alimentación de México.

Por lo tanto la recomendación para el productor sería sembrar bajo el arreglo topológico 1x1 usando la variedad de maíz de color azul o el 2x2 usando el maíz de color rosado con los cuales se obtuvieron los valores más altos de ERT y ERG.

7. LITERATURA CITADA

- Aguilera D, C. y Recalde-Manrique, L. 1995. Effects of plant density and inorganic nitrogen fertilizer on field beans (*Vicia faba*). *J. Agric. Sci. Camb.* 125:87-93.
- Albino G., R. 2014. El Sistema Agroforestal Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF), productividad y optimización económica del maíz y frijol. Tesis de Doctorado, Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. Pp. 1-77.
- Alcala de J, M., C.A. Ortiz S. y Ma. del C. Gutiérrez C. 2001. Clasificación de los suelos de la Meseta Tarasca, Michoacán. *Terra*, 19(3), 227-239.
- Altieri, M. A. 2003. Aspectos socioculturales de la diversidad del maíz nativo. In: Carpentier, C. L. y H. Herrmann (Ed.). *Maíz y biodiversidad: efectos del maíz transgénico en México*. pp 1-10.
- Altieri, M. A., Hecht, S., Liebman, M., Magdoff, F., Norgaard, R., y Sikor, T. O. 1999. Agroecología “Bases científicas para una agricultura sustentable”. Nordan–Comunidad.
- Álvarez D., J., A. Solís D., N. Gómez V., S. León M. y F. A. Gutiérrez M. 2010. Manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en el cultivo de Maíz. *Agrociencia* 44:575-586
- Arias R., L.M., 2013. Dinámica de la milpa Yucateca. In. Arias R., L. M., T. González E. y M. L. Pérez R. (eds.) *seminario internacional “Efraim Hernández Xolocotzi” sobre la milpa maya*.
- Ayala G., A. V., R.E. Schwentesius R. y G. Almaguer V. 2008. La competitividad de frijol en México. *El Cotidiano* 23(147):81-89.
- Baus P., J. 1980. Efecto de la fertilización orgánica e inorgánica sobre la dinámica del fosforo en un suelo de ando. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Bilalis, D. J., N. Sidiras, I. Kakampouki, A. Efthimiadou, Y. Papatheohari and P. Thomopoulos. 2005. Effects of organic fertilization on maize/legume intercrop in a clay loam soil and Mediterranean climate-Can the Land Equivalent Ratio (LER) index be used for root development? *Journal of Food Agriculture and Environment* 3(3/4): 117.

- Bilalis, D., P. Papastylianou, A. Konstantas, S. Patsiali, A. Karkanis and A. Efthimiadou. 2010. Weed-suppressive effects of maize–legume intercropping in organic farming. *International Journal of Pest Management* 56(2):173-181.
- Bravo E., M., J. Ruiz V. y V. Volke H. 2005. Cultivo de maíz en sistemas de labranza con barreras biofísicas en andosoles de ladera. *Terra Latinoamericana* 23(3):371-380.
- Buenrostro M., 2008. Las bondades de la milpa. *Ciencias* 92-93. Pp.30-32.
- Cortés J., F., y A. Turrent. F. 2012. Una tecnología multiobjetivo para pequeñas unidades de producción. In: Calva J.L (Coord) Políticas agropecuarias, forestales y pesqueras “Análisis Estratégico para el Desarrollo”.Vol. 9. Consejo Nacional de Universitarios. México. Pp.
- Cuanalo C., H. 1990. Manual para la descripción de perfiles de suelos en el campo. 3a ed. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México.
- De la Cruz L., E, H. Cordova O., M. A. Estrada B., J.D. Mendoza P., A. Gómez V. y N. P. Brito M. 2009. Rendimiento de grano de genotipo de maíz sembrados bajo tres densidades de población. *Universidad y ciencia* 25 (1):93-98.
- De la Peña S, P. 2010. La milpa, baluarte de nuestra diversidad biológica y cultural. *El Faro*. No 112 – 113: 14-17
- Delgado M., R 2013, Crecimiento y rendimiento del frijol en siembra asociada y prácticas de manejo. Tesis de Doctoral. Colegio de Postgraduados. Montecillo. México. Pp. 1-102.
- Escalante E., J.A. y J. Kohashi S. 1993. El rendimiento y crecimiento del frijol. Manual para la toma de datos. Colegio de Postgraduados. 84p.
- Escalante E., J. A. y M. T. Rodríguez G. 2011. Biomasa y rendimiento en haba en función de la densidad de población, nitrógeno y fosforo. *Ciencias Agrícolas Informa* 20:16-25.
- Fan, F., F. Zhang, Y. Song, J. Sun, X. Bao, T. Guo and L. Li. 2006. Nitrogen fixation of faba bean (*Vicia faba* L.) interacting with a non-legume in two contrasting intercropping systems. *Plant and Soil*, 283(1-2):275-286.

- Galdámez, J. G., C.E. Aguilar J, A. Gutiérrez M, J.A. Morales C, S. Mendoza P. y F. Martínez A. 2010. Maíz asociado con frijol, canavalia (*Canavalia ensiformis* L.) y calabaza (*Cucurbita moschata* Duch) en Villaflores, Chiapas. Quehacer Científico en Chiapas. 1 (10) 18-29.
- García O., J. A., J. G. Cedillo G., J.I. Juan P. y M. Á. Balderas P. 2012. Procesos de cambio en el uso del suelo de una microcuenca en el altiplano mexicano: el caso del río San José en el Estado de México. Papeles de geografía 55-56:63-73.
- Garrido R., J. L. B., J. L. B. Garrido F. 2003. La densidad de plantas en el cultivo de las habas. Agricultura: Revista agropecuaria (849): 196-199.
- Guerrero M., S. 1987. Fertilización de maíz (*Zea mays* L.) con porqueraza y su efecto residual en un andisol de la Sierra Purépecha. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Guzmán M., S.H., J.A. Acosta G., M.A. Alvarez M., S. García D. y G. Loarca P. 2002: Guzmán Maldonado Salvador Horacio et al, 2002, Calidad alimentaria y potencial nutracéutico del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Agricultura Técnica en México 28(2):159-173.
- Ibáñez J.J. y F.J. Manríquez C. 2011. Los andosoles (WRB 1998). Disponible en <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2011/11/23/140258> consultado en 2014.
- INEGI, 2010. Censo agrícola, ganadero y forestal de San José del Rincón. Disponible en <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/estadistica/default.aspx> consultado en 2013.
- INEGI. 2009. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. San José del Rincón México. Disponible en www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/datos-geograficos/15/15124.pdf consultado en 2014.
- IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos. FAO Roma.
- IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2014. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos. FAO Roma.

Jannoura R., J.R. Georg y C. Bruns 2014. Organic fertilizer effects on growth, crop yield, and soil microbial biomass indices in sole and intercropped peas and oat under organic farming conditions. *Europ. J. Agronomy* 52:259–270

Jiménez, L. S. 2012. Modalidades de la agricultura. En Políticas agropecuarias, forestales y pesqueros "Análisis estratégico para el desarrollo". Consejo Nacional de Universitarios.

Krasilnikov, P., M. C. Gutierrez C., R. J. Ahrens, C. O. Cruz G., S. Sedov y E. Solleiro R. 2013. *The soils of México*. Ed. Springer Science & Business Media. New York. 181p.

Laird, R. J. 1968. Técnicas de campo para experimentos con fertilizantes. Folleto de investigación No. 9. CIMMYT. México. 48p.

Li, L., F. Zhang, X. Li, P. Christie, J. Sun, S. Yang, and C. Tang 2003a. Interspecific facilitation of nutrient uptake by intercropped maize and faba bean. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 65(1):61-71.

Li, Q. Z., J.H. Sun, X.J. Wei, P. Christie, F.S. Zhang, and L. Li. 2011. Overyielding and interspecific interactions mediated by nitrogen fertilization in strip intercropping of maize with faba bean, wheat and barley. *Plant and soil* 339(1-2):147-161.

Li, W., L. Li, J. Sun, F. Zhang, and P. Christie. 2003b. Effects of nitrogen and phosphorus fertilizers and intercropping on uptake of nitrogen and phosphorus by wheat, maize, and faba bean. *Journal of plant nutrition* 26(3):629-642.

Li, W., L. Li, J. Sun, T. Guo, F. Zhang, X. Bao, and C. Tang. 2005. Effects of intercropping and nitrogen application on nitrate present in the profile of an Orthic Anthrosol in Northwest China. *Agriculture, ecosystems and environment* 105(3):483-491.

Ligarreto, G., G. Bastida y M. Castillo. 1992. Efecto de las densidades de siembra en el rendimiento de la asociación maíz-frijol voluble. *Rev. ICA* 27:25-33.

Linares E., y R. Bye. 2011. ¡La milpa no solo es maíz!. In: *Haciendo milpa, la protección de las semillas y la agricultura campesina*. Carreón G., A. O. Cobo M. A. y T. San Vicente A. (eds.). Universidad Nacional Autónoma de México Ciudad Universitaria, Distrito Federal, México. Pp. 9-12.

Mead R., and R. Willey W. 1980. The concept of a “Land Equivalent Ratio” and advantages in yields from intercropping. *Exp. Agric.* 16:217-228.

Mendieta F. A. M, Guerrero P. A. G, Estrada F. J. G, 2013. Propuesta de manejo de un sistema agroforestal en la zona de amortiguamiento de la Reserva de la Biosfera Mariposa Monarca, Ejido el Depósito, San José del Rincón, Estado de México en Álvarez G. F, Ortiz T. E, Bahena J. F, Pérez M. A, Carranza C. I, Pérez R. E, Díaz R. R, Villanueva J. J.A, Ocampo F. I y Villareal M. L. A. (Eds.). *Agricultura Sostenible Vol. 9. Sociedad Mexicana de Agricultura Sostenible. Puebla, Puebla. Pp. 121-137.*

Morales R., E. J., H. de la O A., A. Morales R., V. M. de la Cruz A. 2002. Evaluación de cinco genotipos de haba (*Vicia Faba L.*) con seis niveles de Fósforo en Tecámac, México *Ciencia Ergo Sum* 9(2):183-189.

Morales R., E. J., J. A. Escalante E., L. Tijerina C., V. Volke H. y E. Sosa M. 2006. Biomasa, rendimiento, eficiencia en el uso del agua y de la radiación solar del agrosistema girasol-frijol. *Terra* 24(1):55-64.

Morgado, L.B., and R.W. Willey. 2008. Optimum plant population for maize-bean intercropping system in the Brazilian semi-arid region. *Scientia Agricola* 65(5):474-480.

Munz, S., T. Feike, Q. Chen, W. Claupein and S. Graeff-Hönninger. 2014. Understanding interactions between cropping pattern, maize cultivar and the local environment in strip-intercropping systems. *Agricultural and Forest Meteorology* 195:152-164.

Najafil, S y A. Keshtehgar, 2014. Effect of intercropping on increase yield, *International Research Journal of Applied and Basic Sciences* 8(5):549-552.

Nepote A. C., 2010. La milpa como eje central para celebrar la biodiversidad en México. Disponible en http://gaceta.udg.mx/Hemeroteca/paginas/609/G609_COT%2015.pdf. Consultado en 2014.

Núñez S., A. E., G. Carrión, Ma. C. Núñez C. y O. Rebolledo D, 2003. Densidad de población de Quistes de *Globodera rostochiensis* Woll. en el Cobre de Perote, Veracruz, México. *Revista Mexicana de Fitopatología.* 21(2): 207-213.

Núñez E., R.1998. Asociaciones y rotaciones de gramíneas con leguminosas. In: Astier M. y E. Pérez. Memoria del taller nacional de rotaciones y asociaciones de cultivos en sistemas de maíz en zonas templadas. CIMMYT-NRG. Pátzcuaro, Michoacán, México. Pp. 5-10.

Ortiz S., C. A. 2010. Edafología. 8ª. Ed. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. México. 327p.

Pape Th., y D. Lager. Manual for soil descriptions and classification. Department of soil science and Geology. Wageningen Agricultura University, Wageningen, The Netherlands.

Pérez L, A. E.; E. Martínez B.; L. D. Vélez V. y J. M. Cotes T. 2013. Acumulación y distribución de fitomasa en el asocio de maíz (*Zea mays* L.) y fríjol (*Phaseolus vulgaris* L.).Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín. 66(1): 6865-6880.

Pichardo R., J. C., J.A. Escalante E., J. A. Rodríguez G., M. T. Sánchez G. y Prometeo 2007. Aplicación dividida y eficiencia agronómica de nitrógeno, uso de agua y radiación, y rendimiento de haba. Terra Latinoamericana, 25(2), 145-154.

Quiroz, A. I., y D. Marín. 2003. Rendimiento en granos y eficiencia de una asociación maíz (*Zea mays*) y quinchoncho (*Cajanus cajan*) con o sin fertilización.Bioagro, 15(2), 121-128.

Rivera G. 1992. Sistemas de cultivo de maíz- frijol mejoramiento y practicas agronómicas. In: Tobon C., J. H. (ed.) curso internacional sobre frijlo (*phaseolus vulgaris* L.) en zona de ladera de la región Andina. ICA, CIAT, COTESU. Rio Negro Antioquia Colombia. Pp 65-82.

Robles, B, H M 2012. El papel central de los pequeños productores en una nueva estrategia de desarrollo rural. In Calva J.L (Coord) Políticas agropecuarias, forestales y pesqueras “Análisis Estratégico para el Desarrollo”. Vol. 9. Consejo Nacional de Universitarios. México.

Rojas-Tiempo, Javier, Díaz-Ruiz, Ramón, Álvarez-Gaxiola, Felipe, Ocampo-Mendoza, Juventino, & Escalante-Estrada, Alberto. (2012). Tecnología de producción de haba y características socioeconómicas de productores en Puebla y Tlaxcala. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 3(1), 35-49.

Roy, R. N. y H. Braun, 1983. Fertilizer use under multiple cropping systems-an overview. In: fertilizer use under multiple cropping systems. FAO Fertilizer and plant nutrition bulletin 5: 9-31.

Ruíz V., J. y G. Loaeza R. 2004. Asociación maíz- frijol en Valles Centrales de Oaxaca. *Naturaleza y Desarrollo* 2(1):13-17.

SAS, Institute 2004. SAS/STAT® Versión 9.1. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA.

Secretaria del Medio Ambiente del Estado de México. 2006. Diagnóstico Ambiental San José del Rincón Informe técnico DDA/02/06. México. D.F. 35p.

SEMARNAT – COLPOS. 2002. Inventario Nacional de Suelo. Degradación del suelo causada por el hombre 1:400,000.

Serrano C., L.M. 2004. Análisis del caso frijol. Universidad autónoma Chapingo, Secretaria de Economía. p37.

SIAP 2013. Cierre de la producción agrícola por cultivo. Disponible en www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/. Consultado en 2014.

Turrent F. A. 2008. Cultivos Asociados. In: El cultivo de Maíz Temas Selectos Rodríguez M. R. y De León (eds) Colegio de Postgraduados - Mundi Prensa. Pp.115-125.

Turrent F., A. 1979. El sistema agrícola un marco de referencia necesario para la planeación de la investigación en México. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. 60p.

Turrent, F.A. 2013. Com pers. Investigador Titular C. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (aturrent37@yahoo.com.mx).

Van Reeuwijk L.P. (ed). 1999. Procedimientos para análisis de suelos, versión 1995. Traducción de: Ma. Carmen Gutiérrez Castorena, Carlos Arturo Tavares Espinosa y Carlos Alberto Ortiz Solorio. Primera Edición en Español, 1999. Especialidad de Edafología, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 145p.

Vélez V.L.D, J. Clavijo P. y G.A. Ligarreto M. 2007. Análisis ecofisiológico del cultivo asociado maíz (*Zea mays* L.) – frijol voluble (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Facultad Nacional de Agronomía. Medellín.* 60(2): 3965-3984.

Vélez, L. D. V., A. Moya M., y L.J. Clavijo P. 2011. Relaciones de competencia entre el frijol trepador (*Phaseolus vulgaris* L.) y el maíz (*Zea mays* L.) sembrados en asocio. *Revista Facultad Nacional de Agronomía. Medellín,* 64(2), 6065-6079.

Villa Issa R. M, 2011. ¿Qué hacemos con el campo mexicano?, Ed. Biblioteca Básica de Agricultura, 2da ed. Montecillo, México. Pp. 219.

Xia, H. Y., J. H. Zhao, J. H. Sun, X. G. Bao, P. Christie, F.S. Zhang, and L. Li.2013a. Dynamics of root length and distribution and shoot biomass of maize as affected by intercropping with different companion crops and phosphorus application rates. *Field Crops Research* 150:52-62.

Xia, H. Y., Z. G. Wang, J.H. Zhao, J.H, X.G. Bao, P.Christie, F.S. Zhang and L. Li.2013b. Contribution of interspecific interactions and phosphorus application to sustainable and productive intercropping systems. *Field Crops Research*, 154, 53-64.

Zegada L.W.E, 1995. Interacción de fertilización mineral por orgánica en el cultivo del haba (*Vicia faba* L.) en la localidad de Santa Isabel, Tesis de Doctorado, Universidad de San Xavier de Chuquisaca.Bolivia.

8. ANEXOS

Anexo 1. Componentes de rendimiento de maíz

Sub-tratamiento	Densidad asociación maíz-frijol enredador (plantas ha ⁻¹)		Variedad de maíz	Fertilización asociación maíz-frijol enredador			Densidad haba (plantas ha ⁻¹)	Fertilización cultivo intercalado		Longitud de la mazorca cm	Diámetro de la mazorca cm	Componentes de rendimiento		
	Maíz	Frijol		N	P ₂ O ₅	Composta		P ₂ O ₅	Composta			Número de hileras	Granos por mazorca	Tamaño de grano
1	41,666	20,833	Azul	80	80	3	41,666	80	0	10.3 ab	4.9 a	14 ab	279 ab	36.7 b
2	29,166	14,583	Azul	80	80	3	29,166	80	0	11.7 ab	5.1 a	14 ab	294 ab	52.5 ab
3	41,666	10,417	Azul	80	80	3	41,666	80	0	11.6 ab	4.8 ab	13 bc	276 b	47.6 ab
4	41,666	20,833	Azul	0	0	0	41,666	0	0	9.8 b	4.7 ab	12 c	218 b	53.5 ab
5	41,666	20,833	Azul	80	80	0	41,666	80	0	10.7 ab	4.8 ab	13 bc	249 b	56.8 a
6	41,666	20,833	Azul	0	0	3	41,666	0	3	9.2 b	4.7 ab	13 bc	219 b	43.4 b
7	54,166	27,083	Azul	80	80	3	54,166	80	0	11 ab	4.9 ab	14 b	291 ab	47.1 ab
8	41,666	20,833	Rosado	80	80	3	41,666	80	0	12.2 a	4.7 ab	14 ab	343 a	37.1 b
9	54,166	27,083	Rosado	80	80	3	54,166	80	3	9.7 b	4.5 b	15 a	283 ab	35.3 b

Anexo 2. Componentes de rendimiento de frijol

Sub-tratamiento	Densidad asociación maíz-frijol enredador (plantas ha ⁻¹)		Variedad de maíz	Fertilización asociación maíz-frijol enredador			Densidad haba (plantas ha ⁻¹)	Fertilización cultivo intercalado		Vainas por planta	Granos por vainas	Peso de grano (peso de 100 granos g)
	Maíz	Frijol		N	P ₂ O ₅	Composta		P ₂ O ₅	Composta			
1	41,666	20,833	Azul	80	80	3	41,666	80	0	14 b	5 a	24 ab
2	29,166	14,583	Azul	80	80	3	29,166	80	0	31 a	4 ab	22.4 b
3	41,666	10,417	Azul	80	80	3	41,666	80	0	12 b	4 b	24.3 ab
4	41,666	20,833	Azul	0	0	0	41,666	0	0	13 b	4 ab	23.1 b
5	41,666	20,833	Azul	80	80	0	41,666	80	0	13 b	4 ab	23.5 ab
6	41,666	20,833	Azul	0	0	3	41,666	0	3	11 b	4 ab	24.8 ab
7	54,166	27,083	Azul	80	80	3	54,166	80	0	13 b	4 b	24.9 ab
8	41,666	20,833	Rosado	80	80	3	41,666	80	0	15 b	4 b	21.9 b
9	54,166	27,083	Rosado	80	80	3	54,166	80	3	15 b	3 b	25.1 a

Anexo 3. Ingreso bruto, costo total e ingreso neto

PG	PCh	Densidad asociación maíz-frijol de guía (plantas ha ⁻¹)			Fertilización asociación maíz-frijol de guía			Densidad haba (plantas ha ⁻¹)	Fertilización cultivo intercalado		Ingreso bruto \$	Costo total \$	Ingreso neto \$
		Maíz	Frijol	Variedad de maíz	N (kg ha ⁻¹)	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Composta (t ha ⁻¹)		P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Composta (t ha ⁻¹)			
1x1	1	41,666	20,833	Azul	80	80	3	41,666	80	0	79,112	17,890	61,222
	2	29,166	14,583	Azul	80	80	3	29,166	80	0	65,954	16,731	49,223
	3	41,666	10,417	Azul	80	80	3	41,666	80	0	48,672	17,833	30,839
	4	41,666	20,833	Azul	0	0	0	41,666	0	0	59,625	10,650	48,975
	5	41,666	20,833	Azul	80	80	0	41,666	80	0	61,597	13,390	48,207
	6	41,666	20,833	Azul	0	0	3	41,666	0	3	52,090	15,150	36,940
	7	54,166	27,083	Azul	80	80	3	54,166	80	0	75,334	19,068	56,266
	8	41,666	20,833	Rosado	80	80	3	41,666	80	0	63,032	17,890	45,142
	9	54,166	27,083	Rosado	80	80	3	54,166	80	3	71,953	19,068	52,885
2x2	1	41,666	20,833	Azul	80	80	3	41,666	80	0	61,745	17,890	43,855
	2	29,166	14,583	Azul	80	80	3	29,166	80	0	39,055	16,731	22,324
	3	41,666	10,417	Azul	80	80	3	41,666	80	0	53,531	17,833	35,698
	4	41,666	20,833	Azul	0	0	0	41,666	0	0	45,573	10,650	34,923
	5	41,666	20,833	Azul	80	80	0	41,666	80	0	45,218	13,390	31,828
	6	41,666	20,833	Azul	0	0	3	41,666	0	3	53,102	15,150	37,952
	7	54,166	27,083	Azul	80	80	3	54,166	80	0	71,829	19,068	52,761
	8	41,666	20,833	Rosado	80	80	3	41,666	80	0	63,909	17,890	46,019
	9	54,166	27,083	Rosado	80	80	3	54,166	80	3	71,030	19,068	51,962
CSMA	1	41,666	20,833	Azul	80	80	3	0	0	0	27,150	15,239	11,911
CSMR	2	41,666	20,833	Rosado	80	80	3	0	0	0	23,549	15,239	8,310
CSH	3	0	0	0	0	0	0	41,666	80	0	70,000	20,541	49,459

CSMA: Cultivo simple de maíz azul asociado con frijol, CSMR: Cultivo simple de maíz rosado asociado con frijol y CSH: Cultivo simple de haba