



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA
CARRERA DE BIOLOGÍA

“El sistema agroforestal Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF): Rendimiento y calidad del grano de maíz asociado con frijol en respuesta al arreglo topológico en Texcoco, Estado de México”.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

B I Ó L O G A

PRESENTA:

MARELYN GABRIELA GARCÍA RUIZ

DIRECTOR: DR. ANTONIO TURRENT FERNÁNDEZ

2015

Los Reyes Iztacala, Tlalnepantla, Estado de México



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

Por cobijarme en mi formación como Bióloga, a la Universidad Nacional Autónoma de México, así mismo, a la que pasó a ser mi segundo hogar durante 4 años, donde aprendí sobre la ciencia en la que se estudia nada más y nada menos que la VIDA, en la que también reí, lloré e hice amigos que ya son parte de mi familia, mi alma máter, la Facultad de Estudios Superiores Iztacala.

Al Dr. Antonio Turrent Fernández por haber sido mi director de tesis, haberme recibido y abierto las puertas del INIFAP-CEVAMEX, del Colegio de Postgraduados Montecillo y hasta de su hogar, pero sobre todo gracias por haber creído en mí, por su disposición a asesorarme, escucharme, apoyarme en todo momento a pesar de sus ocupaciones, un honor haberlo conocido, convivido y aprendido de usted.

A la Dra. Rocío Albino Garduño y al Dr. Horacio Santiago Mejía por ser mis asesores, también haberme recibido en “El Horno”, brindado su amistad, apoyado siempre y enseñado tanto, créanme que no tengo cómo agradecerles, son un gran ejemplo tanto a nivel profesional como a nivel personal.

A mis asesores de la tesis: M. en C. Antonia Trujillo Hernández, Dr. Manuel Mandujano Piña, M. en C. Alberto Arriaga Frías y M. en C. Ismael Aguilar Ayala, por su tiempo, apoyo, paciencia y disposición siempre; por hacer posible concluir esta etapa.

A mis profesores tanto de la facultad como de otros grados, que siempre mostraron, no sólo su apoyo, sino su cariño constantemente: M. en C. Tizoc Adrián Altamirano Álvarez, Biól. Marisela Soriano Sarabia, Biól. Martha Fregoso Padilla, Horacio Valdivia Arias y Biól. Guadalupe Santiago Villanueva.

Sin duda ustedes lo vivieron conmigo, Daniela, Adriana y Alberto; sabemos que la vida no pone a las personas al azar, qué gusto que hayan sido ustedes mis compañeros, amigos y hermanos en este viaje, porque así como la vida nos juntó, es ella quien nos ha de separar para mostrarnos nuestro camino. Saben que los amo, y este logro es suyo también.

Qué alegría agradecer a la familia que yo elegí, mis amigos que quiero y estuvieron conmigo durante mi formación en la carrera, Brenda, Erick, Javier, Miguel, Susana, Estefania, Eréndira, Ricardo, Santiago y Juan.

A mis amigos que han estado en diferentes etapas de la vida, Diana, Benjamín, Sara, Abraham, Gerardo, Ximena, Miguel, Guadalupe, Luis, Alfa, Jhoan (Weta), Marcos (Mantis); los del "J" - Polette, Katherine, Sonia, Diana, Daniel, Danito, David, Iván Rafael y Alejandro, Alejandro, Luis, Víctor, Omar y los que me faltó mencionar.

A los amigos que logré hacer en mis múltiples visitas al COLPOS: Juan Pablo, Rosi, Patricio, Eliezer y Giovanna, de quienes siempre recibí apoyo y enseñanzas; qué gusto haberlos conocido y viajado con ustedes.

A ti, qué estuviste a la distancia, pero tu buena vibra bastó para seguir adelante, siempre tenías las palabras correctas, te quiero por el gran ser humano que eres, muchísimas gracias Jesús Rodrigo Macías Duch.

Dedicatoria

A ustedes familia, que no estaría esforzándome si no hubieran sido ustedes mi ejemplo de constancia, responsabilidad, respeto y amor, cada uno a su manera, pero siempre lo demostraron, mis viejitos hermosos, Hermelinda y Honorio, que ustedes fueron como mis padres y me educaron también; hermanos Diego, Antonio, Johana, que con sus consejos, risas y momentos difíciles, me hicieron crecer como persona y llenaron mi vida de orgullo al ser su hermana; sobrinas Nahomi y Sophia, mis soles que iluminan hasta los días más oscuros y ahora Valentina, otro sol que ha llegado a iluminar más mi vida; mi tía Janeth, te quiero y agradezco que seas mi amiga y hermana también; y demás familia, tías, primas, primos, madrina, Dianita... Los amo en demasía a todos.

A mis padres Irma y Gabriel, a quienes agradezco traerme a ésta vida, pese a que la vida no ha sido fácil, hemos aprendido tanto, los quiero y respeto.

Mamá Elvira, cabe destacar tu enorme esfuerzo y amor que nunca me cansaré de agradecer a la vida y a ti. ¡Sí, por fin lo logramos! Creo que tú más que nadie sabe lo que pasé o mejor dicho, pasamos para llegar hasta el día de hoy. Te Amo Inmensamente.

A ti, amigo Guadalupe[†], que siempre creíste en mí y hoy estoy aquí, tus palabras me han de acompañar por el resto de mi vida, gracias por haberme enseñado mucho más de lo que pude imaginar y haber dejado huella en mí con tu amistad, siempre estarás en mi memoria.

"Ahora sé que ya no es así, el curso correcto que no se debe perder; sino salir del molde perfecto, porque no existe el ayer, pues lo que ya pasó fue lo que nos trajo hasta aquí, todo es hoy y lo más grave es el miedo a intentar".

œ

"Primero fue necesario civilizar al hombre en su relación con el hombre. Ahora es necesario civilizar al hombre en su relación con la naturaleza y los animales".

Victor Hugo

"Chacun à son goût"

RW

Contenido

| | |
|---|------|
| Glosario..... | VII |
| Resumen..... | VIII |
| Abstract..... | IX |
| 1. Introducción..... | 1 |
| 2. Antecedentes..... | 3 |
| 3. Justificación..... | 5 |
| 4. Objetivos..... | 5 |
| 4.1 Objetivo general..... | 5 |
| 5. Materiales y Metodología..... | 5 |
| 5.1 Área de estudio..... | 5 |
| 5.2 Material experimental..... | 6 |
| 5.3 Diseño experimental..... | 7 |
| 5.4 Variables de respuesta..... | 9 |
| 5.5 Técnicas de evaluación de variables de respuesta..... | 10 |
| 5.6 Manejo de la parcela experimental..... | 10 |
| 5.6.1 Preparación del suelo, riegos y fertilización..... | 10 |
| 6. Resultados y Discusión..... | 11 |
| 6.1 Rendimiento de maíz..... | 11 |
| 6.2 Calidad (proteína) del grano de maíz..... | 15 |
| 6.3 Rendimiento de frijol..... | 17 |
| 7. Conclusiones..... | 19 |
| 8. Literatura citada..... | 19 |
| 9. Anexo..... | 25 |
| 9.1 Representación de la vista superior del arreglo topológico del sistema MIAF.. | 25 |
| 9.2 Salidas de SAS completas..... | 25 |
| 9.2.1 Salida de SAS para rendimiento de maíz..... | 25 |
| 9.2.2 Salida de SAS para proteína de maíz..... | 29 |
| 9.2.3 Salida de SAS para rendimiento de frijol..... | 31 |

Glosario.

MIAF Milpa Intercalada con Árboles Frutales

OCDE Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos

SAGARPA Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.

FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

INIFAP Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

RFA Radiación Fotosintéticamente Activa

IAF Índice de Área Foliar

R_m Rendimiento de maíz

R_f Rendimiento de frijol

Pr_g Proteína del grano

AT Arreglo topológico

MMFF Dos surcos de maíz alternados con 2 surcos de frijol

MFMF Un surco de maíz alternado con un surco de frijol

CSM Cultivo Simple de Maíz

CSF Cultivo Simple de Frijol

MLCP Maíz en labranza cero con pastoreo

MBMV Maíz en barreras en muro vivo

EUA Eficiencia del uso del agua

Resumen.

La agricultura es un sector importante en México, es común encontrar cultivo de maíz intercalado con frijol, implementándose variaciones a la práctica, como la Milpa Intercalada en Árboles Frutales (MIAF), estrategia agrícola que tiene como uno de los objetivos principales, asegurar la producción alimentaria. Investigaciones anteriores, sugieren que aumenta el rendimiento de maíz en cultivos intercalados y algunos otros, proponen que la calidad de este también cambia; es por eso que se evaluó el rendimiento y la calidad del grano del maíz asociado con frijol negro de mata. El experimento se estableció en el Campo Experimental Valle de México del INIFAP, en parcelas divididas con tres tratamientos de parcela grande que comprendió el arreglo topológico (AT), Cultivo simple de maíz (CSM), dos surcos de maíz alternados con 2 surcos de frijol (MMFF) y un surco de maíz alternado con un surco de frijol (MFMF); y 16 tratamientos de parcela chica, de un experimento factorial 2^4 ; maíz (N 60 y 120, P (P_2O_5) 15 y 45, K (K_2O) 10 y 30 Kg/ha y Densidad 34,500 y 40,500 plantas en 1 ha) y frijol (N 12.5 y 37.5, P (P_2O_5) 12.5 y 37.5, K (K_2O) 7.5 y 22.5 Kg/ha y Densidad 75,000 y 105,000 plantas en 1 ha). El mayor rendimiento de maíz fue de 14.19 t/ha en el arreglo topológico MFMF, influenciado por la Densidad. Así mismo, fue el AT que tuvo mayor contenido de proteína 8.72%, con efecto del arreglo solamente. Y para el frijol, el rendimiento fue mejor en CSF y por efecto de la densidad, 3.06 t/ha, al contrario de lo que sucedió en el arreglo topológico MFMF, sin embargo, no resultó ser un AT que favoreciera el rendimiento para el grano.

Palabras clave: maíz, proteína, rendimiento, MIAF, cultivos intercalados.

Abstract.

The agriculture is an important sector in Mexico, it is common, maize intercropped with bean, implementing changes to practice for this type of culture, as Milpa Intercropped with Fruit Tree (MIAF), an agricultural strategy which has as one of the main objectives, to ensure food production. Previous research suggests that increases yield of corn in intercropping and others propose that the quality of this also changes; it is why the yield and quality of corn grain associated with bush black beans was evaluated. The experiment was set in the Campo Experimental Valle de México of INIFAP, in plots divided with three treatments large plot that included the topological arrangement (TA), simple Crop corn (CSM), two grooves of alternating corn with 2 grooves of beans (MMFF), corn and a groove alternating with a groove bean (MFMF); and 16 treatments of small plot, a factorial experiment 2^4 ; corn (N 60 and 120, P (P_2O_5) 15 and 45, K (K_2O) 10 and 30 Kg/ha, and Density 34,500 y 40,500 plants on 1 ha) and bean (N 12.5 and 37.5, P (P_2O_5) 12.5 and 37.5, K (K_2O) 7.5 and 22.5 Kg/ha, and Density 75,000 and 105,000 plants on 1 ha). The highest corn yield was 14.19 t/ha in the topological arrangement MFMF, influenced by the density. It also the TA was higher protein content was 8.72%, with effect of the arrangement only. And for the bean, the yield was better in CSF and the effect of density 3.06 t/ha, unlike what happened in the topological arrangement MFMF, however, it's not an TA which promotes the grain yield.

Key words: maize, protein, yield, MIAF, intercropping

1. Introducción

La agricultura es un sector importante en México, ya que de él se obtienen productos de la canasta básica, como maíz, frijol, entre otros; según la OCDE y la SAGARPA estimaron una producción de 20 millones de toneladas, para el 2011, sumando 31.6 millones de toneladas junto otros granos básicos (maíz, frijol, trigo y arroz). Por otro lado, al igual que en otros países, la agricultura mexicana se divide en un sector comercial altamente capitalizado, en el que se encuentra un sector de pequeños agricultores con lazos en el mercado interno y un sector de subsistencia que produce para el consumo familiar, cuyo ingreso depende en un grado considerable de actividades externas. En el caso de México, se calcula que estos subsectores constituyen un 15%, 35% y 50% respectivamente de la población agrícola, aunque, en términos de producción, estos porcentajes se invertirían (OCDE, 2010).

Es primordial mencionar situaciones que actualmente se han agudizado, por el uso indiscriminado de los recursos naturales y servicios ecosistémicos como la degradación del suelo, problemas hídricos, régimen de lluvias en constante cambio, aumento del nivel del mar, fenómenos meteorológicos extremos, aumento de la temperatura, acidez del mar, efecto invernadero, pérdida de biodiversidad, entre otros. Un problema que sobresale, es el cambio climático que repercute directamente al sector agrícola por la variabilidad del clima lo que complicaría la planificación de los cultivos, afectando a las cuatro dimensiones de la seguridad alimentaria: la disponibilidad de alimentos, el acceso a ellos, la estabilidad del suministro y la capacidad de los consumidores para utilizarlos adecuadamente, incluyendo la inocuidad alimentaria y la nutrición; es por eso que se requiere que los sistemas agrícolas y alimentarios realicen transformaciones y, con ello, responder a los desafíos relacionados con asegurar alimento y el cambio climático (FAO, 2014).

El consenso de encontrar estrategias agrícolas que aseguren la producción alimentaria pero que disminuyan los daños causados al ambiente, ha sido un trabajo continuo en el que se ha llegado a proponer una agricultura sustentable o alternativa, que se define como: “Aquel enfoque de la agricultura que intenta proporcionar un medio balanceado,

rendimiento y fertilidad del suelo sostenidos, control natural de plagas, mediante el diseño de agroecosistemas diversificados y el empleo de tecnologías autosostenidas”, manejada dentro de la agroecología, disciplina apoyada en la ecología; para responder o atenuar las problemáticas principalmente con el aumento del rendimiento, para lo cual sugiere cierto tipo de interacciones sea por nivel de integración, complementariedades y sinergias (Altieri y Nicholls, 2001). Es importante resaltar que al mencionar “sustentable”, se hace referencia al “desarrollo sustentable”, el cual, “es el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”, por tanto, las estrategias y tecnologías propuestas deberían guiarse bajo este concepto (Escobar, 2008).

Es común encontrar cultivo de maíz intercalado con frijol, siendo ésta una práctica cultural que se remonta a hace más de tres mil años, ya que fueron domesticadas al mismo tiempo junto con la calabaza. Actualmente, se han implementado variaciones a la práctica para este tipo de cultivo, mismas que se han venido ejecutando a lo largo de la historia de la agricultura en México (Ortiz y Otero, 2006), como la Milpa Intercalada en Árboles Frutales (MIAF), encontrándose dentro del desarrollo de tecnologías a través de la colaboración entre el Colegio de Postgraduados y el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), la cual consiste en un cultivo múltiple, intercalados en franjas de surcos alternos, que incluye al maíz (mesocultivo), una o dos leguminosas comestibles, como el frijol, de porte bajo (sotocultivo) y árboles frutales (epicultivo), con el fin de que exista interacción biológica y que tiene como propósitos, abordar la seguridad alimentaria, ingreso y empleo familiar, protección y aprovechamiento integral del suelo, de la radiación solar y mayor infiltración del agua de lluvia, diversidad e interacción entre cultivos, mayor fijación y secuestro de carbono, principalmente (Cortés *et al.*, 2010).

Dadas las situaciones que afectan la actividad agrícola y los propósitos del MIAF, es necesario conocer con más claridad sobre los beneficios que aporta ésta tecnología agroforestal, a su vez las características de los cultivos que confieren ventajas, las

cuales, son los propósitos de tal tecnología, aprovechables para aumentar la productividad.

2. Antecedentes.

Camas, en 2011 realizó un estudio de erosión hídrica, productividad, captura de carbono, uso de la radiación solar y agua en tres sistemas de manejo: maíz en labranza cero con pastoreo (MLCP), maíz en barreras en muro vivo (MBMV) y milpa intercalada con árboles frutales (MIAF), para la agricultura de ladera en el trópico subhúmedo de México, en el que los sistemas MIAF y MBMV contribuyeron a mejorar la fertilidad del suelo, redujeron 36% la entrega de sedimentos en las microcuencas con respecto al sistema MLCP. El sistema MIAF presentó mayor rentabilidad y eficiencia relativa de la tierra, uso más eficiente de la radiación solar y del agua, así como mayor captura por unidad de área con respecto a los sistemas MBMV y MLCP.

Mukhala *et al.* en 1999, utilizó el Contenido Total de Nutrientes de Intercalados (CTN_{Ti}) por ha^{-1} , para conocer la condición nutrimental del maíz y frijol intercalados, encontrando que el maíz tiene mayor contenido nutrimental; 36%, 60% y 49% en densidades de 2.2, 4.4 y 6.7 plantas m^{-2} respectivamente en comparación con el monocultivo. Mientras a bajas densidades de maíz en monocultivo presenta 11% más carbohidratos que en cultivos intercalados 2 surcos de maíz intercalados con 2 surcos de frijol. El maíz intercalado tiene 100% más vitamina C y calcio respecto del maíz en monocultivo, sin presentar diferencias en contenidos por las densidades de plantación. El hierro, magnesio y fosforo se presenta en mayor cantidad también en cultivos intercalados, dos surcos de maíz y dos de frijol; y varía el porcentaje de incremento según la densidad de plantación. Por su parte, el mayor contenido de proteínas en frijol se presentó en monocultivo que en intercalados, superándolos en un 7%, 21% y 31% a densidades bajas, medias y altas respectivamente. Sin embargo, en monocultivo presentó valores mayores de vitamina C, calcio, fósforo y potasio. El cultivo de frijol intercalado con maíz presenta 100% más carbohidratos y vitamina E que el monocultivo a todas las densidades probadas, también, más sodio y hierro variando el porcentaje según las densidades de plantación.

Cantú en 1985, estudió el efecto de la cobertura del maíz sobre el microclima del frijol Delicias-71 bajo condiciones de intercalamiento y determinó el efecto de la cobertura de maíz sobre el rendimiento de grano del frijol y sus componentes, además de sembrarse en cultivo simple al frijol, encontrando que la producción de vainas normales, vanas y abortadas, las semillas normales y abortadas por vaina, el peso seco del tallo del pericarpio y el total de la planta, se incrementan cuando la cobertura disminuye. El rendimiento de grano por planta no se vio afectado por la cobertura, de tal manera que hubo igualdad en el rendimiento de grano por planta, en promedio de entre 5.51 y 6.62 g., estadísticamente no hubo diferencias significativas. En cuanto a las condiciones microclimáticas formadas dentro de la parcela experimental para cada arreglo topológico, se encontró que la cobertura ocasionada por el maíz propicio una mayor intercepción de la intensidad luminosa en el intercalamiento de dos surcos de maíz y tres de frijol con una intensidad luminosa de 20.18 Lux, así como la disminución de la temperatura ambiental y del suelo, provocando con ello una condición más favorable para el desarrollo del frijol.

Vázquez *et al.* en 2005, determinaron si la fertilización con N, P y K, y la densidad de población afectan el rendimiento de grano y los contenidos de proteína, lisina y triptófano en los híbridos de maíz de calidad proteínica H-553C y H-365C en un campo con riego completo en el municipio San Lorenzo Ometepepec, Puebla, México, obteniendo que el número de plantas/ha, fue el factor que más influyó en el rendimiento de los híbridos H-365C y H-553C, éste último acumuló mayor contenido de proteína (8%) y de triptófano (0.826 - 0.862 g/100 g de proteína) con dosis altas de N (150 y 185 Kg/ha⁻¹).

Francis y Tejada en 1982, encontraron que el rendimiento del maíz no se afecta cuando se intercala con frijol de crecimiento indeterminado o determinado pero no trepador. Mientras el rendimiento del maíz es afectado en un 20% cuando se intercala con frijol trepador.

3. Justificación

El MIAF es una tecnología agroforestal que tiene como objetivos el aprovechamiento del suelo, agua, radiación solar, mayor fijación y secuestro de carbono, aunque en el pasado se habían manejado los cultivos intercalados, principalmente el maíz y frijol como una forma de aprovechar el espacio ahora es necesario conocer los efectos del arreglo topológico y cómo influye en el rendimiento de maíz y frijol además de la calidad del grano de maíz.

4. Objetivos

4.1 Objetivo general

Evaluar el rendimiento y la calidad del grano del maíz asociado con frijol de mata en respuesta al arreglo topológico dentro del sistema agroforestal de Milpa Intercalada en Árboles Frutales (MIAF).

4.2 Objetivos particulares

Analizar el rendimiento del maíz y frijol en cultivo simple, intercalado dos hileras de maíz y dos de frijol, y una hilera de maíz y una de frijol.

Analizar la calidad del maíz (proteína) en cultivo simple, intercalado dos hileras de maíz y dos de frijol, y una hilera de maíz y una de frijol.

5. Materiales y Metodología

5.1 Área de estudio

En el Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX) del INIFAP, se ubica en el Km. 18.5 de la carretera Los Reyes-Lechería, en el municipio de Texcoco, Estado de México (19° 29' 16.16" Latitud Norte y 98° 53' 43.14" Longitud Oeste, y 2250 msnm). El clima del sitio es C(w₀)(w)b(i')g, es decir, templado subhúmedo con lluvias en verano, época

seca en invierno, con 2,250 msnm, el régimen térmico medio anual oscila entre 12 a 18°C y precipitación media anual de 613.1 mm. Se encuentra asociado a comunidades vegetativas tales como bosques de pino, de encino, mixtos, pastizales, además de cultivos de riego y temporal (García, 1987; INIFAP, 2009 y 2012). El tipo de suelo es un fluvisol háplico (Govaerts *et al.*, 2008).



Figura 1. Imagen del campo experimental CEVAMEX del INIFAP (tomada de Google Earth, 15 de junio de 2015).

5.2 Material experimental

Maíz 'H155'.

Híbrido de maíz trilineal de grano blanco cremoso, la altura de la planta es de 2.7 a 3.0 m; con altura de mazorca de 1.7 a 2.0 m. Tiene un ciclo biológico de 170-190 días a madurez fisiológica, con floración masculina y femenina de 91 y 95 días, respectivamente. Es tolerante al acame de tallo y de raíz, con buena uniformidad de planta, también a las enfermedades más comunes como *Sphaceloteca reiliana*, en Valles Altos y Zona de Transición. Con buen potencial productivo para siembras de riego y punta de riego en las regiones de Valles Altos (2,100 a 2,400 msnm) y Zona de

Transición (1,900 a 2,100 msnm) de México. Rinde de 10 a 12 t/ha de grano (Velázquez, 2007).

Frijol '8025'

Variedad de frijol obtenido del cruzamiento entre Jamapa y compuesto Negro Chimaltenango de grano color negro opaco, con forma ovalada y de tamaño pequeño, es de hábito determinado arbustivo, con una altura promedio de 40 cm. Su tiempo de floración promedio es de 55 días después de su siembra y sus flores son de color morado. Alcanza la madurez fisiológica entre los 100 y 105 días. Muestra resistencia al ataque de enfermedades como atracnosis (*Colletotricum lindemuthianum*), a la roya (*Cromyces appendiculatus* var. *appendiculatus*), sin embargo, al final del ciclo es susceptible al ataque del tizón común (*Xanthomonas campestris* pv. *phaseoli*). Buena adaptación a condiciones de riego, medio riego y temporal en zonas del Estado de México, Puebla y Tlaxcala. Rinde de 1.475 a 2.358 ton/ha⁻¹ en temporal, y 3.952 ton/ha⁻¹ en riego (Acosta, *et al.*, 2000).

En el caso de los árboles frutales que se encontraban intercalados entre los cultivos, en este sistema fue manzano 'Agua Nueva'/MM106/manzano criollo de Huejotzingo, Puebla (Salvador, 2013); sin embargo no fueron objeto de estudio, ya que sólo se evaluó el subexperimento del maíz y frijol, no todo el sistema MIAF.

5.3 Diseño experimental

El diseño experimental fue parcelas divididas con tres tratamientos de parcela grande y 16 tratamientos de parcela chica, de un experimento factorial 2⁴, con una repetición. La parcela grande comprendió el arreglo topológico de maíz y frijol de la siguiente manera (Figura 2): a) Cultivo simple de maíz (CSM), b) Dos surcos de maíz alternados con 2 surcos de frijol (MMFF) y c) Un surco de maíz alternado con un surco de frijol (MFMF). Los niveles de los factores (N, P, K y D) del experimento factorial 2⁴ de las parcelas chicas para maíz fueron: N 60 y 120 Kg, P (P₂O₅) 15 y 45 Kg, K (K₂O) 10 y 30 Kg en 1 ha y Densidad 34,500 y 40,500 plantas en 1 ha (Cuadro 1). Para el frijol, los niveles de los factores (N, P, K y D) fueron: N 12.5 y 37.5 Kg, P (P₂O₅) 12.5 y 37.5 Kg, K (K₂O) 7.5

y 22.5 Kg en 1 ha y Densidad 75,000 y 105,000 plantas en 1 ha (Cuadro 1). La parcela chica en cada tratamiento constó de cuatro surcos de 0.8 m de ancho por 2.12 m de largo; considerando a los dos surcos centrales como parcela útil.

Cuadro 1. Tratamientos de la parcela chica para maíz y frijol.

| Tratamientos | Maíz | | | | frijol | | | |
|--------------|---------|-------------------------------|------------------|--------------|---------|-------------------------------|------------------|--------------|
| | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | Densidad | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O | Densidad |
| | (Kg/ha) | | | (Plantas/ha) | (Kg/ha) | | | (Plantas/ha) |
| 1 | 60 | 15 | 10 | 34,500 | 12.5 | 12.5 | 7.5 | 75,000 |
| 2 | 60 | 15 | 10 | 40,500 | 12.5 | 12.5 | 7.5 | 105,000 |
| 3 | 60 | 15 | 30 | 34,500 | 12.5 | 12.5 | 22.5 | 75,000 |
| 4 | 60 | 15 | 30 | 40,500 | 12.5 | 12.5 | 22.5 | 105,000 |
| 5 | 60 | 45 | 10 | 34,500 | 12.5 | 37.5 | 7.5 | 75,000 |
| 6 | 60 | 45 | 10 | 40,500 | 12.5 | 37.5 | 7.5 | 105,000 |
| 7 | 60 | 45 | 30 | 34,500 | 12.5 | 37.5 | 22.5 | 75,000 |
| 8 | 60 | 45 | 30 | 40,500 | 12.5 | 37.5 | 22.5 | 105,000 |
| 9 | 120 | 15 | 10 | 34,500 | 37.5 | 12.5 | 7.5 | 75,000 |
| 10 | 120 | 15 | 10 | 40,500 | 37.5 | 12.5 | 7.5 | 105,000 |
| 11 | 120 | 15 | 30 | 34,500 | 37.5 | 12.5 | 22.5 | 75,000 |
| 12 | 120 | 15 | 30 | 40,500 | 37.5 | 12.5 | 22.5 | 105,000 |
| 13 | 120 | 45 | 10 | 34,500 | 37.5 | 37.5 | 7.5 | 75,000 |
| 14 | 120 | 45 | 10 | 40,500 | 37.5 | 37.5 | 7.5 | 105,000 |
| 15 | 120 | 45 | 30 | 34,500 | 37.5 | 37.5 | 22.5 | 75,000 |
| 16 | 120 | 45 | 30 | 40,500 | 37.5 | 37.5 | 22.5 | 105,000 |

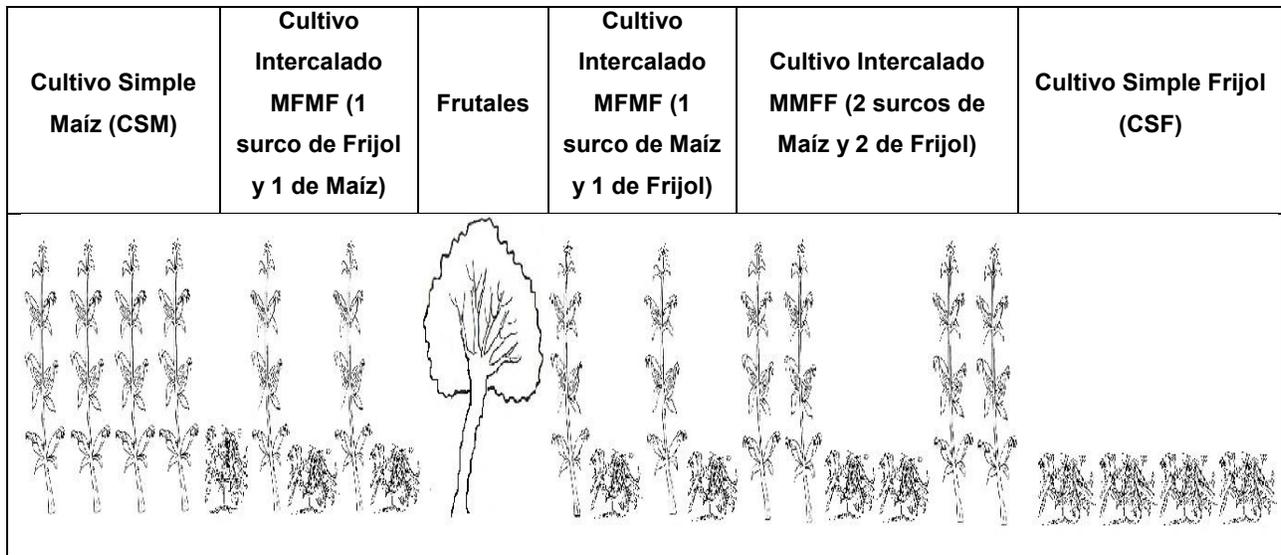


Figura 2. Representación del arreglo topológico del sistema MIAF. (Véase en el anexo, vista superior).

5.4 Variables de respuesta

Se obtuvo el rendimiento del grano de maíz con 14% de humedad; se estimó en superficie dispersa, es decir, que para los arreglos topológicos MMFF y MFMF en 2 ha y para el CSM se estimó en 1 ha, que ocupaban; porque en el cultivo simple ocupa una hectárea y dos hectáreas en el arreglo MMFF y MFMF (véase la representación de la vista superior del arreglo topológico del sistema MIAF en el Anexo). Para rendimiento del grano de frijol se extrajeron las plantas completas, se secaron a la sombra, hasta el 13% de humedad, se desvainaron y se registró el peso del grano, se estimó en 1 ha que era la superficie que ocupaba.

Para la determinación del contenido de proteína se tomaron de la muestra de 10 mazorcas, se obtuvieron 100 g de granos de maíz, que se analizaron para conocer el contenido de proteína en el grano, mediante el nitrógeno total por el método Kjeldahl, utilizando el equipo semiautomatizado Kjelttec-1030 (FOSS®, Denmark). El porcentaje de proteína se obtuvo a partir del nitrógeno total, aplicando el factor 6.25.

5.5 Técnicas de evaluación de variables de respuesta

Mediante el paquete estadístico SAS versión 9.0, utilizando el procedimiento de regresión Stepwise, (sle=0.10 sls=0.05 y variables “mudas” o dummy, las cuales son CSM o CSF, MMFF y MFMF), se analizaron 16 tratamientos de un diseño factorial 2⁴, para rendimiento de maíz y frijol, igualmente para proteína del grano de maíz.

5.6 Manejo de la parcela experimental

5.6.1 Preparación del suelo, riegos y fertilización.

De acuerdo a las prácticas agrícolas del lugar, se realizó un barbecho a 30 cm con dos rastreos cruzados para posteriormente nivelar, se prosiguió con la siembra manual aplicándose todo el P, K y 1/3 del N al maíz, y para el frijol se aplicó el total de N, P y K. En la primera escarda, se aplicó los 2/3 restantes del N (Cortés, *et al.* 2004).

Se regó inmediatamente después de sembrar y se mantuvo el cultivo con riego por gravedad.

Los fertilizantes utilizados fueron urea (46% N), superfosfato de calcio triple (46% P₂O₅), y cloruro de potasio (60% K₂O), respectivamente.

5.6.2 Control de plantas en competencia con las plantas en evaluación y detalles a la cosecha.

El control de plantas en competencia con las plantas de los cultivos en evaluación fue manual y semanalmente.

El maíz se cosechó 221 días después de la siembra. Las mazorcas fueron cosechadas, pesadas y desgranadas.

El frijol se cosechó a los 125 días después de la siembra. El grano del frijol fue cosechado, pesado y depositado en bolsas.

6. Resultados y Discusión.

6.1 Rendimiento de maíz.

La ecuación del rendimiento del grano obtenido con el análisis de regresión fue la siguiente:

$$Y_m = 11.602 + 0.560K + 0.575D - 0.519KD + 1.155a_1NP + 2.594a_2D + 1.208a_2PD + 1.328a_2KD$$

Donde: N = N (Nitrógeno); P = P₂O₅ (Fósforo); K = K₂O (Potasio); D = Densidad (plantas); a₁ = MMFF (2 surcos de maíz y 2 surcos de frijol) y a₂ = MFMF (1 surco de maíz y 1 surco de frijol)

Ésta ecuación indica que el rendimiento medio en los niveles de N, P, K y D, respectivamente 90, 30, 20 Kg/ha, y 37,500 plantas en ha, fue de 11.60 t/ha para el cultivo simple de maíz (CSM), al igual que en los arreglos topológicos, dos surcos de maíz alternados con 2 surcos de frijol (MMFF) y un surco de maíz alternado con un surco de frijol (MFMF). En el factor K, aumentó 0.56 t/ha en el rendimiento de CSM, mientras en los arreglos MMFF y MFMF no hubo respuesta.

Para densidad (D), sólo hubo respuesta en CSM y MFMF, ya que aumentó 0.57 t/ha y 2.59 t/ha, respectivamente (Figura 4); en MMFF, no hubo respuesta. En la literatura se reporta que el arreglo topológico influye sobre el rendimiento (Tinoco *et al.*, 2008; Vázquez *et al.*, 2005), de igual manera, refleja el efecto de dosel que menciona Camas (2011) en el que en un cultivo intercalado con menos densidad de dosel, como MFMF, se puede observar una mejor distribución de la luz solar que en un cultivo simple, pues la Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA) interceptada al encontrarse flanqueado el maíz por el frijol, el cual tiene bajo porte puede interceptar menor porcentaje (63%), permitiendo mayor paso a las hojas inferiores, lo que contribuye al proceso fotosintético, por ende, generación de biomasa. Por el contrario el cultivo simple, teniendo en cuenta lo mencionado por Camas (2011), debido a que presenta un dosel más denso de la

altura media de la planta hacia arriba, intercepta un mayor porcentaje (91%) de la RFA. El Índice de Área Foliar (IAF) guarda relación con la RFA, en los cultivos intercalados dentro del MIAF, permite que el IAF sea mayor y por tanto la RFA interceptada se ve influenciada de manera positiva (Figura 3). Cabe mencionar que la distribución espacial juega un papel importante dentro del rendimiento así como la densidad, ya que tienen un efecto directo sobre el crecimiento de las plantas (Báez *et al.*, 2002; Montemayor *et al.*, 2006), en el MIAF ésta distribución es en franjas, así da paso a que los cultivos ocupen un espacio independiente hasta cierto punto, pero que interactúen entre sí (Cortés *et al.*, 2010), cumpliendo con uno de los objetivos del sistema que es aprovechar el suelo en un espacio reducido con tres especies de cultivo diferentes; en este sentido, se puede decir que también contribuye las diferencias en el tamaño de las raíces entre las especies del intercalado, debido a que los frutales normalmente desarrollan raíz profunda, acentuándose en situaciones de competencia como en el MIAF; el frijol presenta raíz somera y la del maíz es de tamaño intermedio, esta situación favorece que los tres cultivos exploren y aprovechen tanto la humedad como nutrientes disponibles a diferentes profundidades del suelo (Lehmann, 2003).



Figura 3. Efecto de dosel en el MIAF (en la imagen de la izquierda son los arreglos MMFF y MFMF, en la derecha es el CSM).

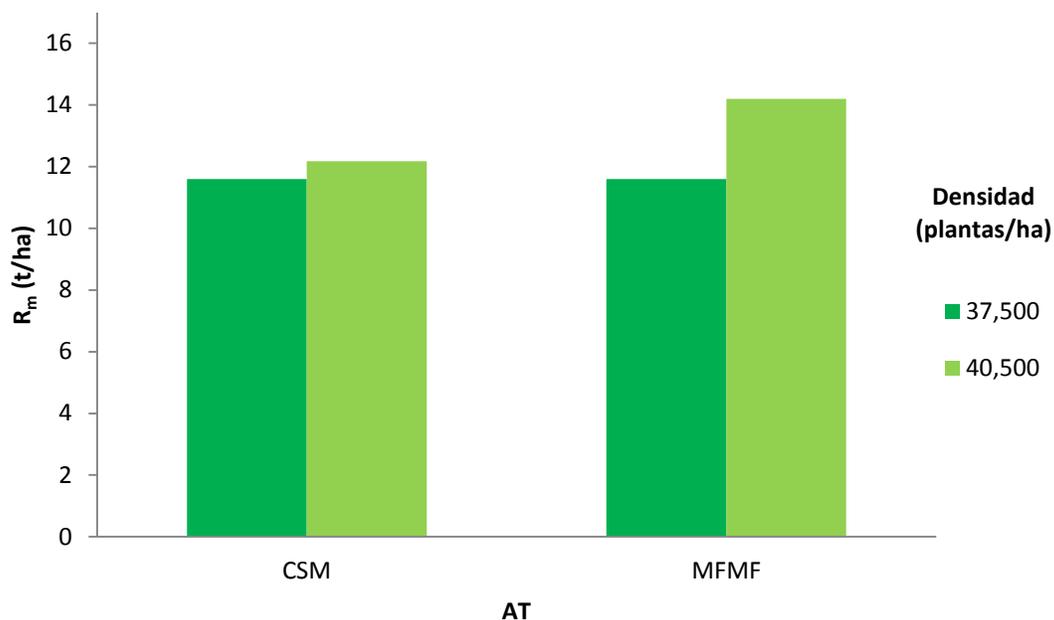


Figura 4. Efecto de la Densidad por Hectárea en los Arreglos Topológicos. AT= Arreglos Topológicos, R_m= Rendimiento del maíz, Densidad (plantas en 1 ha), CSM= Cultivo Simple de Maíz y MFMF= 1 surco de Maíz alternado con 1 surco de Frijol. n=1.

Por otra parte, el efecto de la interacción K x D influyó en el rendimiento del CSM al disminuir 0.519 t/ha y aumentar en MFMF 1.32 t/ha, aunque en MMFF no hubo respuesta (Figura 5). En la literatura reportan que el potasio es un elemento importante en altas densidades, contrastando con el CSM en la que disminuye, dado que es la misma demanda de potasio, la competencia aumenta y en algunas, causará deficiencias; en caso de MFMF aumenta, debido a que al ser intercalado con frijol, éste no tendrá la misma demanda, ni al mismo tiempo por diferencia en la fenología, sobre el elemento y permitirá la absorción por parte del maíz (Maya y Ramírez, 2002; Kant y Kafkafi, n. d.).

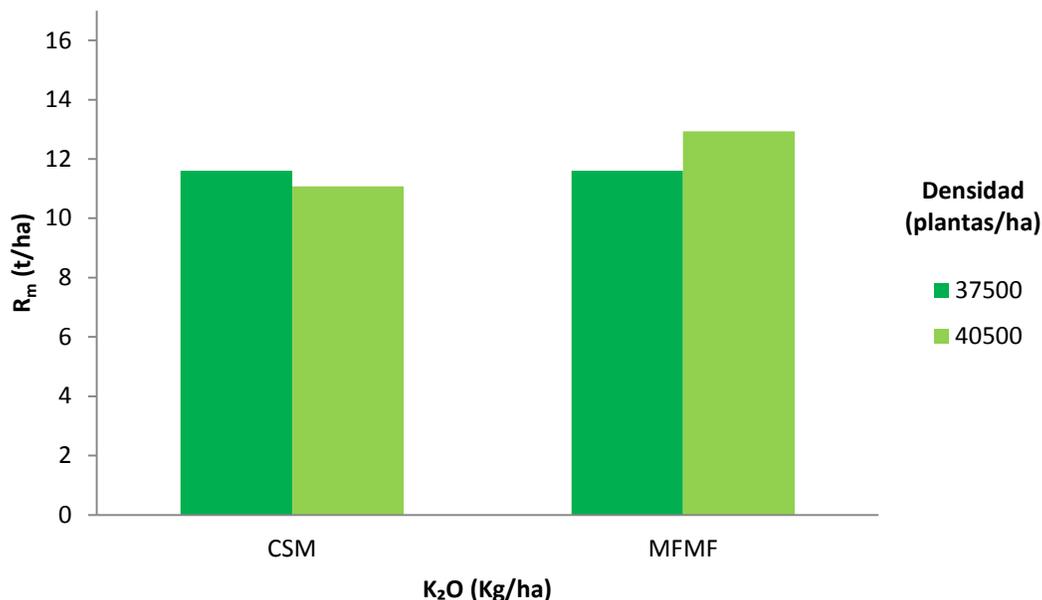


Figura 5. Efecto de la interacción K x D de los arreglos CSM y MFMF. R_m= Rendimiento del maíz, Densidad (plantas en 1 ha), CSM= Cultivo Simple de Maíz y MFMF= 1 surco de Maíz alternado con 1 surco de Frijol. n=1.

El rendimiento en MMFF por efecto de la interacción de N x P aumentó 1.15 t/ha, ya que del Nitrógeno depende el contenido de proteínas del grano, lo que influye en el rendimiento y en la calidad, a su vez estimula el crecimiento radicular y el desarrollo de las plantas así como la asimilación de otros nutrientes; en cuanto al Fósforo, se sabe que es componente de ciertas enzimas y proteínas, ATP, RNA, DNA, desempeña un papel importante en la fotosíntesis, la respiración, el almacenamiento y transferencia de energía, la división y crecimiento celular, promueve la rápida formación y crecimiento de las raíces, y mejora la calidad de granos (Alvarado, 2002; Barrios *et al.*, 2012 y Díaz-López *et al.*, 2011). Igualmente pudo influir la presencia del frijol, ya que se sabe que es utilizado como trampa de Nitrógeno, así que éste elemento fue aprovechado para su crecimiento (Muñoz, 2010). Si bien es cierto que el frijol deja disponible el Nitrógeno y puede ser aprovechado por otras plantas, el tipo de suelo juega un papel importante, en esta ocasión, un fluvisol, que posee principalmente la característica de tener mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas (INEGI, 2008), su estructura suelta permite que las raíces puedan desplazarse a través de él, pero al mismo tiempo estabilizarlo, la

textura del suelo del presente estudio es franco-arenosa, considerándose gruesa, por lo que la resistencia a la penetración y la humedad influyen en el desarrollo de las raíces (Delgado *et al.*, 2008).

Mientras tanto, en MFMF el rendimiento aumentó 1.208 t/ha por efecto de la interacción P x D, siendo el Fósforo, parte integrante de las enzimas fotosintéticas y de ATP, NADP, ARN, ADN, fosfolípidos e interviene en la fotosíntesis, absorción de iones, síntesis de proteínas, entre otros, la demanda de Fósforo aumentó también por lo que sí alcanzó a cubrirla (Alvarado, 2002; Uhart y Echeverría, n.d.).

6.2 Calidad (proteína) del grano de maíz.

La ecuación obtenida a través de la regresión, fue la siguiente:

$$Pr = 7.854 + 0.168N - 0.299D + 0.505a_1 + 0.314a_1D + 0.877a_2$$

Donde: N = N (Nitrógeno); D = Densidad (plantas); a_1 = MMFF (2 surcos de maíz y 2 surcos de frijol) y a_2 = MFMF (1 surco de maíz y 1 surco de frijol)

En la que el contenido de proteína esperada en los niveles medios de N, P, K y D, respectivamente 90, 30, 20 Kg/ha, y 37,500 plantas en 1 ha, fue de 7.85% para el CSM, aunque para los arreglos MMFF y MFMF hubo un aumento de 0.50 y 0.87% respectivamente (Figura 6), lo que conlleva a decir que por efecto del arreglo topológico a la misma dosis de fertilización y densidad en MFMF, el contenido de proteína fue 0.87% mayor que en el CSM, es decir 8.72%; en este sentido, Mukhala *et al.* (1999), encontró que el maíz en cultivos intercalados, con frijol, tiene mayor contenido nutrimental respecto del monocultivo. Al mismo tiempo, Hernández *et al.* (2001) reportan que el efecto de una baja disponibilidad de la radiación visible es la reducción de la fotosíntesis y el suministro de fotosintatos a la producción de biomasa, sumado el hecho que la radiación solar directa es mayoritariamente recibida por las partes más altas de las plantas, sombreando las partes bajas que disponen de menos luz, por lo que queda limitada su capacidad reproductiva, aquí el arreglo topológico en el que se

reflejó fue en el CSM ya que el efecto de dosel es muy marcado, como se había mencionado anteriormente.

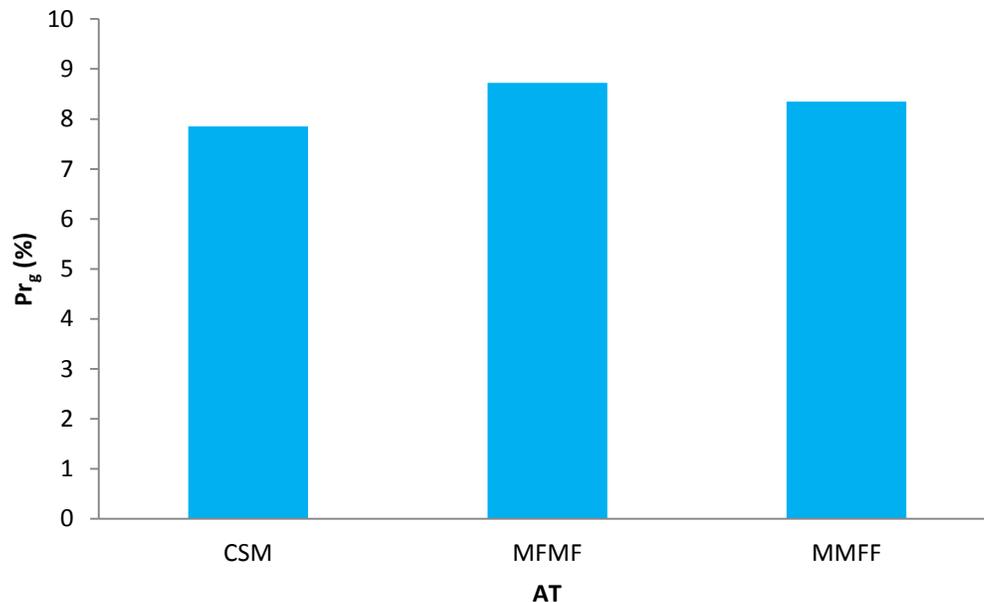


Figura 6. Efecto del Arreglo Topológico sobre el contenido de Proteína en grano. Pr_g= Proteína en grano, AT= Arreglo topológico, CSM= Cultivo Simple de Maíz, MFMF= 1 surco de Maíz alternado con 1 surco de Frijol y MMFF= 2 surcos de Maíz alternados con 2 surcos de Frijol. n=1

El Nitrógeno (N) en el CSM hizo aumentar 0.16% confirmando que por ser un elemento que como se mencionó anteriormente entre otros procesos, participa en el contenido de proteína en el grano, el maíz H-155 siendo un híbrido desarrollado para mejorar la calidad; acumula mayor contenido de proteína con dosis altas de Nitrógeno, pero no sólo en híbridos normales sino en híbridos de alta calidad de proteína (Vázquez *et al.*, 2005; Palafox-Caballero *et al.*, 2005), ya que el N llega a las membranas plasmáticas de las células radicales en forma de nitrato NO₃⁻ transportado al citoplasma a través del plasmalema, donde se reduce a nitrito, regulado en principio por tallo raíz (Pereyra, 2001). El N es acumulado en partes vegetativas hasta días posteriores a la floración para luego ser removilizado hacia los granos, las diferencias en el nivel de removilización pre-floración y la tasa de absorción de N, contribuyen a diferentes contenidos de N en grano y rendimientos del cultivo. En general, la cantidad de N

absorbida postfloración se encuentra directamente determinada por la demanda de N del grano. (Uhart y Echeverría, n. d.; Muchow, 1988).

Para la Densidad (D), el CSM tuvo una merma de 0.29%, al aumentar la Densidad (de 34,500 a 40,500 plantas en 1 ha), se puede inferir, primero, que el contenido de Nitrógeno no fue suficiente para cumplir con la demanda de las plantas de maíz (Uhart y Echeverría, n.d.); en consecuencia, no pudo acumular proteína como lo hace con en dosis altas y su calidad se ve comprometida (Vázquez *et al.*, 2005; Vázquez *et al.*, 2013), y segundo, que las hojas inferiores disponen de menos luz, además de que la luz afecta indudablemente a la fotosíntesis, también controla la expresión de la nitrato y nitrito reductasa, importantes para la asimilación del nitrato y reducirlo a amonio; y la sacarosa fosfato sintetasa participante en la síntesis de sacarosa (Pereyra, 2001). En contraste, el arreglo topológico MMFF tuvo un aumento de 0.31% en el que la radiación solar llega a hojas más bajas de las plantas (Hernández *et al.*, 2001).

6.3 Rendimiento de frijol.

La siguiente ecuación, se obtuvo con la regresión:

$$Y_f = 2.856 + 0.137K + 0.215D - 0.686a_2$$

Donde: K = K₂O (Potasio); D = Densidad (plantas) y a₂ = MFMF (1 surco de maíz y 1 surco de frijol)

El rendimiento del frijol, en niveles de N, P, K y D (25, 25, 15 Kg/hay 90,000 plantas en 1 ha⁻¹) fue de 2.85 t/ha para el cultivo simple de frijol (CSF) y para el arreglo topológico MFMF, se observó una disminución de 0.68 (Fig. 6), contrastando con el rendimiento y proteína en maíz, ambos altos, en éste arreglo topológico y con la literatura, en la que menciona que el rendimiento de grano por planta no se ve afectado por la cobertura y a su vez, propicia una condición más favorable para el desarrollo del frijol, al interceptar parte de la intensidad luminosa, disminuir la temperatura ambiental y del suelo (Cantú, 1985). Sin embargo, la fotorrespiración seguía siendo alta aunque no tanto como en el CSF porque de alguna manera el maíz interceptaba la luz solar, la cual en plantas C3

como el frijol, estimula este proceso que hace disminuir la capacidad fotosintética que repercute en el rendimiento, apertura estomática por pérdida de CO₂ y menor eficiencia en el uso del agua (EUA) (Langtry, n.d.).

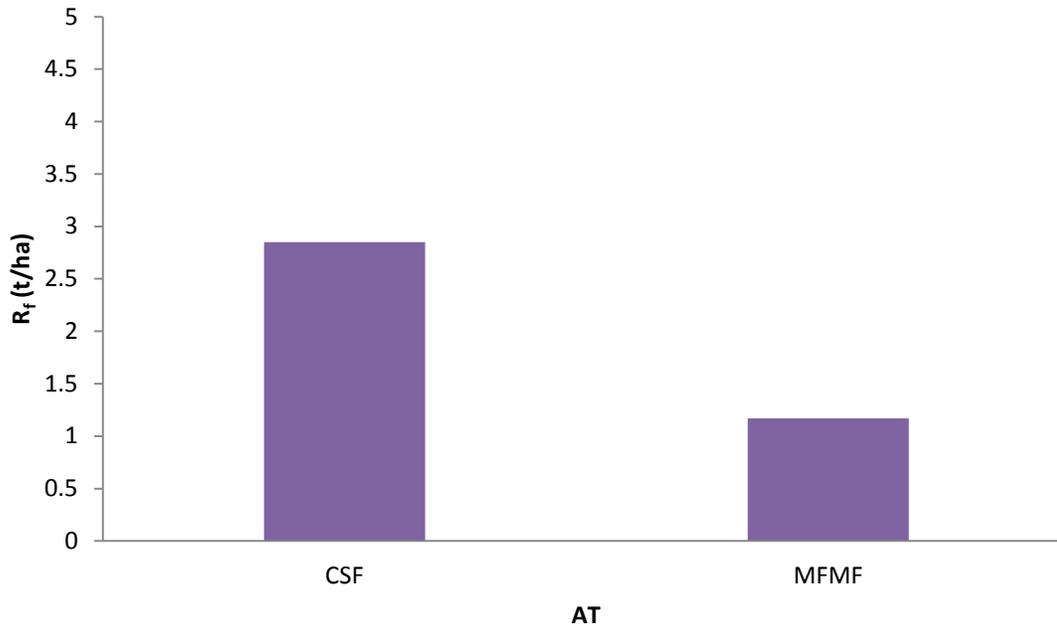


Figura 6. Efecto del Arreglo Topológico sobre el rendimiento del Frijol. AT=Arreglo Topológico, CSF= Cultivo Simple de Frijol, MFMF= 1 surco de Maíz alternado con 1 surco de Frijol, R_f= Rendimiento del frijol. n=1

Aumentó 0.13 el rendimiento en el CSF, por influencia de K₂O, pudo deberse a que este elemento participa en la turgencia y apertura estomática, al ser muy móvil dentro de la planta, se traslada con facilidad a las hojas jóvenes, por lo que no se incrementó la fotorrespiración; ni perjudicó la formación de carbohidratos, el crecimiento y rendimiento, aunque la radiación solar llegaba directamente, al contrario de los arreglo MFMF y MMFF (Alvarado, 2002; Mosquera, 2004).

En lo que respecta para densidad, en el CSF, el rendimiento aumentó 0.21, debido a que es de hábito determinado (arbustivo), y no indeterminado (trepador), en la que se vería comprometido no sólo el crecimiento del mismo, sino del maíz, así que no afectó su capacidad de captar la radiación solar, como en un intercalado con maíz, en el que

hay efectos sobre la distribución de la luz solar, humedad relativa y temperatura, principalmente (Camas, 2011; Cantú, 1985).

7. Conclusiones

- ❖ Para el maíz: El arreglo topológico en el que se obtuvo mayor rendimiento de 14.19 t/ha influenciado por la Densidad, fue MFMF, reflejando que el efecto dosel no es tan marcado debido a la mejor distribución de la luz solar en este tipo de intercalado, aun con la intervención de la Densidad. Así mismo, fue el AT que tuvo mayor contenido de proteína, 8.72%, con efecto del arreglo solamente, ya que el intercalado disminuye el efecto de dosel, lo que permite mayor contenido nutrimental, en este caso de proteína en el grano.
- ❖ Para el frijol: El rendimiento fue mejor en CSF y por efecto de la densidad, 3.06 t/ha, ya que la radiación llegó directamente, permitiendo la estimulación de la fotosíntesis y que además muestra que la intervención de la radiación solar como sucede en el arreglo topológico MFMF (quien resulto ser mejor en rendimiento y contenido de proteína en el grano de maíz) o MMFF, influye en el desarrollo del frijol, por lo que no resultó ser un AT que favoreciera el rendimiento para este grano.

8. Literatura citada

Acosta, J., Rosales, R. y Pérez, P. (2000). Negro 8025, nueva variedad de frijol tipo negro tropical para el estado de México. En *Desplegable técnica N°1 del Programa de Frijol CEVAMEX, INIFAP-SAGAR*. Texcoco, Estado de México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.

Altieri, M. y Nicholls, C. (2001). *Agroecología: Teoría y práctica para una agricultura sustentable*. D.F., México: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe.

Alvarado, L. C. (2002). *Respuesta del maíz (Zea mays L.) a la fertilización con Nitrógeno, Fósforo, Potasio y zinc en suelos del norte de Tamaulipas*. Tesis para Maestro en Ciencias en Producción Agrícola. Universidad Autónoma de Nuevo León.

Báez, A., Chen, P., Tiscareño-López, M. y Srinivasan, R. (2002). Using satellite and field data with crop growth modeling to monitor and estimate corn yield in Mexico. *Crop Sci*, 42(6), 1943-1949.

Barrios, M., García, J. y Basso, C. (2012). Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el contenido de nitrato y amonio en el suelo y la planta de maíz. *Bioagro*. 24(3), 213-220.

Camas, R. (2011). *Erosión hídrica, productividad, captura de carbono y uso de la radiación solar y agua en tres sistemas de manejo, para la agricultura de ladera en el trópico subhúmedo de México*. Tesis para Doctor en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo.

Cantú, M. A. (1985). *Microclima y componentes del rendimiento de frijol (Phaseolus vulgaris L.) en siembras intercaladas con maíz (Zea mays L.)*. Tesis para Maestro en Ciencias en Producción Agrícola. Universidad Autónoma de Nuevo León.

Cortés, J.I., Mendoza, R., Hernández, E., Aceves, E., Turrent, A., Estrella, N. (2004). *Manual para técnicos: El Sistema Agrícola "Milpa Intercalada en Árboles Frutales (MIAF) en terrenos planos*. México, Puebla: Colegio de Postgraduados.

Cortés, J. I., Torres, J. P., Turrent, A., Hernández, E., Ramos, A. y Jiménez, L. (2010). *Manual actualizado para el establecimiento y manejo del sistema Milpa Intercalada con Árboles Frutales (MIAF) en Laderas*. México: Colegio de Postgraduados.

Delgado, R., Castro, L., Cabrera de Bisbal, E., Mújica, M. J., Caniche, S., Navarro, L. y Noguera, I. (2008). Relación entre propiedades físicas del suelo y algunas características del sistema radical del maíz, cultivado en un suelo fluventic haplustoll de textura franco-arenosa de Maracay, Venezuela. [versión electrónica]. *Agronomía Tropical*. 58(3), 245-255. Disponible en: <
<http://www.scielo.org.ve/pdf/at/v58n3/art05.pdf>>

Díaz-López, E., Morales-Rosales, E., Franco-Mora, O. y Domínguez-López, A. (2011). Atenuación de luz, radiación interceptada y rendimiento de maíz en función del Fósforo. [versión electrónica]. *Terra Latinoamericana*. 29(1), 65-72. Disponible en: <<http://www.redalyc.org/pdf/573/57319955007.pdf>>

Escobar, J. (2007). El desarrollo sustentable en México. [versión electrónica]. *Revista Digital Universitaria*. 9(3), 13. [Fecha de consulta: 26 de agosto de 2013] Disponible en: <<http://www.revista.unam.mx/vol.9/num3/art14/int14.htm#top>>

Francis, A., Prager M., y Tejada G. (1982). Effects of relative planting dates in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and maize (*Zea mays* L.) intercropping patterns. *Field Crops Research* 55, 45-54.

García, E. M. (1987). *Modificación al sistema climático de Köppen*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Govaerts, B., Barrera-Franco, M. G., Limón-Ortega, A., Muñoz-Jiménez, P., Sayre, K. D. y Deckers, J. (2008). Clasificación y evaluación edafológica de tres sitios experimentales del altiplano central de México. [versión electrónica]. *Tropicultura*. 26(1), 2-9. Disponible en: <<http://www.tropicultura.org/text/v26n1/2.pdf>>

Hernández, J., Escobar, I. y Castilla, N. (2001). La radiación solar en invernaderos mediterráneos. *Horticultura Global: Rev. Industria, Distribución y Socioeconomía Hortícola*. 157:18-27.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2008). Guía para la Interpretación de Cartografía: Edafología. México. 2ª (ed.). México: Autor.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). *Página principal del Campo Experimental del Valle de México (CEVAMEX)*. Consultado el 02 de septiembre de 2012, de http://intranet.inifap.gob.mx/cgi-bin/pagina_web/campos_nueva_pn.cgi?uaa=506.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). *Página principal del Campo Experimental del Valle de México (CEVAMEX)*. Consultado el 25 de abril de 2014, de <http://www.inifap.gob.mx/circe/SitePages/internas/datosvalle.aspx>.

Kant, S. y Kafkafi, U. (n.d.). Absorción de Potasio por los cultivos en distintos estadios fisiológicos. Sesión V. Potasio en plantas y animales. International Potash Institute. 263-302.

Langtry, A., Martín, L. y Merino, J. (n.d.). *Dos metabolismos fotosintéticos con un mismo destino, mejorar la EUA*. [en línea]. Universidad de la Pampa, Argentina. [fecha de consulta 24 de octubre de 2014]. Disponible en <http://www3.uah.es/pedrovillar/Docencia/Ecologia%20Grado%20Biologia/Archivos/Seminarios/C3,%20C4,%20CAM/Langtry,%20Martin,%20Merino.pdf>

Lehmann, J. (2003). Subsoil root activity in tree-based cropping systems. *Plant and Soil*. Estados Unidos de América: Kluwer Academic Publishers. 255, 319-331.

Maya, J. B. y Ramírez, J. L. (2002). Respuesta de híbridos de maíz a la aplicación de Potasio en diferentes densidades de población. [versión electrónica]. *Fitotecnia Mexicana*. 25(4), 333-338. Disponible en: <http://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/25-4/1r.pdf>

Montemayor, J. A., Zermeño, A., Olague, J., Aldaco, R., Fortis, M., Salazar, E., Rodríguez, J. C. y Vázquez-Vázquez, C. (2006). Efecto de la densidad y estructura del dosel de maíz en la penetración de la radiación solar. *PHYTON*. 75, 47-53.

Mosquera, E. (2004). *Respuesta de tres variedades de frijol común a tres niveles de potasio y dos épocas de aplicación*. Tesis para Licenciatura en Ingeniero Agrónomo. Zamorano, Honduras.

Muchow, R. C. (1988). Effect of nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semi-arid tropical environment III. Grain yield and nitrogen accumulation. *Field Crops Research*. 18, 31-43.

Mukhala, E., L., J.M. Jager D E., L. D. Van R., S. Walker. (1999). Dietary Nutrient Deficiency in Small-Scale Farming Communities in South Africa: Benefits of Intercropping Maize (*Zea Mays*) and Beans (*Phaseolus vulgaris*). *Nutrition Research* 19(4), 629-641.

Muñoz, R. (2010). Frijol, rica fuente de proteínas. *Biodiversitas*. 89, 7-11.

Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE). Secretaría de Desarrollo Rural, presentación de diapositivas a la misión de la OCDE (2010) [Fecha de consulta: 30 de agosto de 2012] Disponible en: <<http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/EXTENSIONISMO/ESTUDIO%20OCDE%20EXTENSIONISMO.pdf>> Revisado por última vez 23 de agosto de 2010.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) [en línea] (2014) [Fecha de consulta: 4 de enero de 2015]. Disponible en: <http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/post-2015/14_themes_Issue_Papers/SP/14_themes_december_2014/6._cambio_climatico.pdf>

Ortiz, S. y Otero, A. (2006). México como el centro de origen del maíz y elementos sobre la distribución de parientes silvestres y variedades o razas de maíz en el norte de México. Coordinación del Programa de Bioseguridad. [versión electrónica]. México: Instituto Nacional de Ecología. Disponible en: <http://www.ine.gob.mx/download/mex_origenmaiz_vf.pdf>

Palafox-Caballero, A.; Tosquy-Valle, O.; Sierra-Macías, M.; Turrent-Fernández, A. y Espinosa-Calderón, A. (2005). Respuesta de híbridos de maíz normales y de alta calidad de proteína a la fertilización química. [versión electrónica]. *TERRA Latinoamerica*. 23(1), 129-135. Disponible en: <<http://www.redalyc.org/pdf/573/57311093003.pdf>>

Pereyra, M. (2001). *Asimilación del nitrógeno en plantas*. [en línea]. Universidad de la Pampa, Argentina. [Fecha de consulta 10 de septiembre de 2015]. Disponible en <<http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Asimilacion%20del%20nitrogeno.pdf>>

Salvador, T. (2013). *Respuesta del manzano 'Agua Nueva' a distintas dosis de NPK bajo el sistema de cultivos intercalados*. Tesis para Maestro en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2012). Consultada el 31 de agosto de 2012, con modificación el 27 de

febrero de 2012 a las 20 horas por coordinación general de comunicación social.
Disponible en:
<<http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/boletines2/Paginas/2012B042.aspx>>

Tinoco, C. A., Ramírez, A., Villareal, E. y Ruiz, A. (2008). Arreglo espacial de híbridos de maíz, índice de área foliar y rendimiento. [versión electrónica]. *Agricultura Técnica en México*. 34(3), 271-278. Disponible en:
<<http://www.scielo.org.mx/pdf/agritm/v34n3/v34n3a1.pdf>>

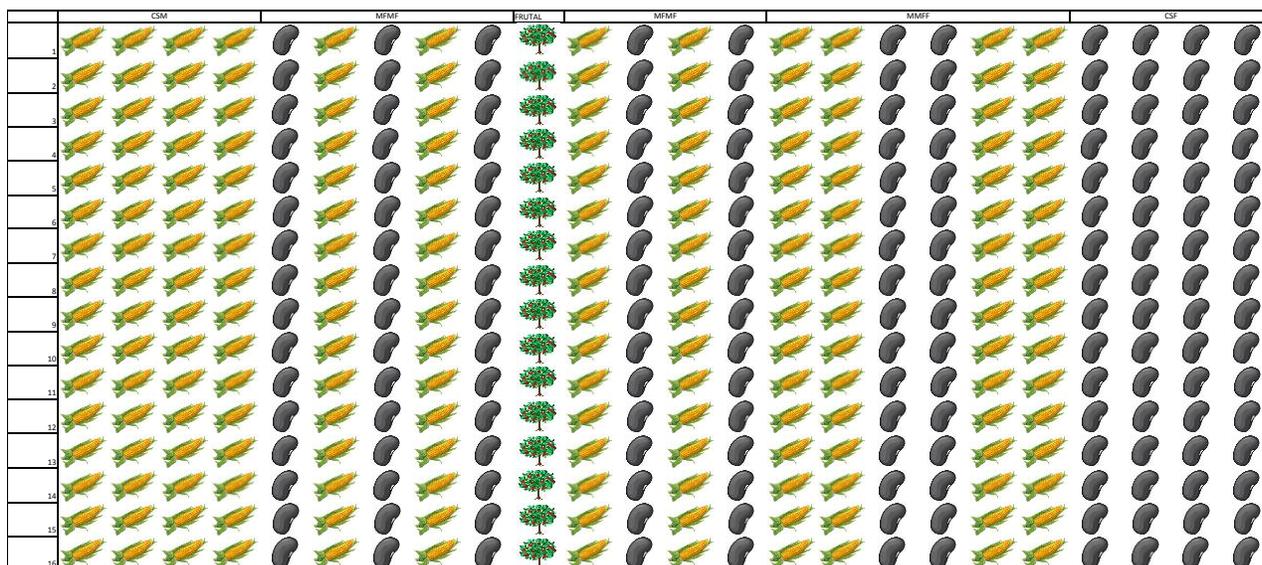
Vázquez, M. G., Mejía, H., Salinas, Y. y Santiago, D. (2013). Efecto de la densidad en la calidad del grano, nixtamal y tortilla de híbridos de alta calidad proteínica. [versión electrónica]. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 36(3), 225-232. Disponible en:
<<http://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/36-3/5a.pdf>>

Vázquez, M., Escobedo, D., González, A., Turrent, A., y Tut, C. (2005). Contenidos de proteínas, lisina y triptófano en maíces de calidad proteínica (ACP) con diferentes manejos agronómicos. *Agricultura Técnica en México*. Texcoco, Estado de México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 31(002), 191-202.

**Velázquez, G. (2007). Reporte Anual de Investigación e Innovación Tecnológica 2007. Texcoco, Estado de México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Disponible en:
<www.inifap.gob.mx/Documents/reportes/reporte_anual2007.pdf>**

9. Anexo

9.1 Representación de la vista superior del arreglo topológico del sistema MIAF.



9.2 Salidas de SAS completas.

9.2.1 Salida de SAS para rendimiento de maíz.

```
data mha2012;
input t1 t2 Yg; /* t1 es TPG, t2 es TPD, Yg es rendimiento del grano en ton/ha */

if t1=1 then do; a1=0; a2=0; end;
if t1=2 then do; a1=1; a2=0; end;
if t1=3 then do; a1=0; a2=1; end; /* 1 es 6 hojas activas (cultivo simple), 2 es 12 hojas activas
(tira de dos hileras de maíz alternando con dos de frijol), 3 es 18 hojas activas (una hilera de
maíz alternando con una de frijol) */

if t2=01 then do; x1=-1; x2=-1; x3=-1; x4=-1; end;
if t2=02 then do; x1=-1; x2=-1; x3=-1; x4=+1; end;
if t2=03 then do; x1=-1; x2=-1; x3=+1; x4=-1; end;
if t2=04 then do; x1=-1; x2=-1; x3=+1; x4=+1; end;
if t2=05 then do; x1=-1; x2=+1; x3=-1; x4=-1; end;
if t2=06 then do; x1=-1; x2=+1; x3=-1; x4=+1; end;
if t2=07 then do; x1=-1; x2=+1; x3=+1; x4=-1; end;
if t2=08 then do; x1=-1; x2=+1; x3=+1; x4=+1; end;
if t2=09 then do; x1=+1; x2=-1; x3=-1; x4=-1; end;
if t2=10 then do; x1=+1; x2=-1; x3=-1; x4=+1; end;
if t2=11 then do; x1=+1; x2=-1; x3=+1; x4=-1; end;
if t2=12 then do; x1=+1; x2=-1; x3=+1; x4=+1; end;
if t2=13 then do; x1=+1; x2=+1; x3=-1; x4=-1; end;
if t2=14 then do; x1=+1; x2=+1; x3=-1; x4=+1; end;
if t2=15 then do; x1=+1; x2=+1; x3=+1; x4=-1; end;
if t2=16 then do; x1=+1; x2=+1; x3=+1; x4=+1; end;

/* las dosis estudiadas en TPD son 120 y 240 en N; 30 y 90 en P205, 30 y 60
de K20, 69 y 81 de DP todos por hectarea dispersa*/
```

```

x12=x1*x2; x13=x1*x3; x14=x1*x4; x23=x2*x3; x24=x2*x4; x34=x3*x4; x11=x1*x1; x22=x2*x2;
x33=x3*x3; x44=x4*x4;
a1x1=a1*x1; a1x2=a1*x2; a1x3=a1*x3; a1x4=a1*x4;
a1x12=a1*x12; a1x13=a1*x13; a1x14=a1*x14; a1x23=a1*x23; a1x24=a1*x24; a1x34=a1*x34; a1x11=a1*x11;
a1x22=a1*x22; a1x33=a1*x33; a1x44=a1*x44;
a2x1=a2*x1; a2x2=a2*x2; a2x3=a2*x3; a2x4=a2*x4;
a2x12=a2*x12; a2x13=a2*x13; a2x14=a2*x14; a2x23=a2*x23; a2x24=a2*x24; a2x34=a2*x34; a2x11=a2*x11;
a2x22=a2*x22; a2x33=a2*x33; a2x44=a2*x44;

```

cards;

| | | |
|---|----|--------|
| 1 | 2 | 11.324 |
| 1 | 8 | 8.966 |
| 1 | 12 | 14.864 |
| 1 | 9 | 10.153 |
| 1 | 5 | 9.603 |
| 1 | 14 | 15.178 |
| 1 | 3 | 11.204 |
| 1 | 15 | 15.302 |
| 1 | 4 | 12.874 |
| 1 | 10 | 12.748 |
| 1 | 11 | 9.872 |
| 1 | 6 | 10.816 |
| 1 | 7 | 11.689 |
| 1 | 1 | 7.458 |
| 1 | 13 | 10.342 |
| 1 | 16 | 9.212 |
| 1 | 2 | 11.886 |
| 1 | 8 | 11.284 |
| 1 | 12 | 14.728 |
| 1 | 9 | 13.277 |
| 1 | 5 | 11.216 |
| 1 | 14 | 12.964 |
| 1 | 3 | 13.256 |
| 1 | 15 | 12.747 |
| 1 | 4 | 14.159 |
| 1 | 10 | 14.867 |
| 1 | 11 | 13.239 |
| 1 | 6 | 10.679 |
| 1 | 7 | 13.557 |
| 1 | 1 | 10.157 |
| 1 | 13 | 8.159 |
| 1 | 16 | 12.588 |
| 3 | 2 | 12.213 |
| 3 | 8 | 18.847 |
| 3 | 12 | 16.635 |
| 3 | 9 | 15.886 |
| 3 | 5 | 11.2 |
| 3 | 14 | 15.463 |
| 3 | 3 | 16.498 |
| 3 | 15 | 17.241 |
| 3 | 4 | 16.402 |
| 3 | 10 | 12.859 |
| 3 | 11 | 12.056 |
| 3 | 6 | 14.324 |
| 3 | 7 | 14.777 |
| 3 | 1 | 17.214 |
| 3 | 13 | 12.648 |
| 3 | 16 | 20.152 |
| 3 | 2 | 10.766 |
| 3 | 8 | 15.985 |
| 3 | 12 | 14.19 |
| 3 | 9 | 17.189 |
| 3 | 5 | 9.823 |
| 3 | 14 | 15.206 |
| 3 | 3 | 11.836 |
| 3 | 15 | 12.088 |
| 3 | 4 | 13.031 |
| 3 | 10 | 11.667 |
| 3 | 11 | 9.859 |
| 3 | 6 | 16.259 |
| 3 | 7 | 11.093 |

```

3      1      13.589
3      13     11.18
3      16     16.121
2      2      11.869
2      8      12.197
2      12     10.09
2      9      9.352
2      5      8.07
2      14     15.256
2      3      14.446
2      15     11.49
2      4      14.609
2      10     9.74
2      11     10.36
2      6      12.57
2      7      12.011
2      1      13.298
2      13     12.628
2      16     15.002
2      2      12.519
2      8      9.04
2      12     11.322
2      9      7.916
2      5      7.021
2      14     11.901
2      3      10.46
2      15     11.032
2      4      11.788
2      10     8.51
2      11     8.74
2      6      9.848
2      7      15.828
2      1      10.307
2      13     12.421
2      16     10.561
;

```

```

proc reg;
model Yg = x1 x2 x3 x4 x11 x22 x33 x44 x12 x13 x14 x23 x24 x34 a1 a2 a1x1 a1x2
a1x3 a1x4 a1x11 a1x22 a1x33 a1x44 a1x12 a1x13 a1x14 a1x23 a1x24 a1x34 a2x1 a2x2
a2x3 a2x4 a2x11 a2x22 a2x33 a2x44 a2x12 a2x13 a2x14 a2x23 a2x24 a2x34 /selection=stepwise
sle=0.10 sls=0.05;
title 'maiz hojas activas PV 2012 cevamex';
run;

```

Salida SAS

maiz hojas activas PV 2012 cevamex 6
22:53 Thursday, February 25, 2014

Procedimiento REG
Modelo: MODEL1
Variable dependiente: Yg

Selección Stepwise: Paso 9

Analysis of Variance

| Fuente | DF | Sum of Squares | Mean Square | F-Valor | Pr > F |
|-----------------|----|----------------|-------------|---------|--------|
| Modelo | 7 | 333.20641 | 47.60092 | 12.54 | <.0001 |
| Error | 88 | 334.11146 | 3.79672 | | |
| Total corregido | 95 | 667.31788 | | | |

| Variable | Parameter Estimate | Standard Error | Type II SS | F-Valor | Pr > F |
|----------|--------------------|----------------|------------|---------|--------|
|----------|--------------------|----------------|------------|---------|--------|

| Término i | 11.60266 | 0.24356 | 8615.78445 | 2269.27 | <.0001 |
|-----------|----------|---------|------------|---------|--------|
| x3 | 0.56030 | 0.19887 | 30.13809 | 7.94 | 0.0060 |
| x4 | 0.57595 | 0.19887 | 31.84474 | 8.39 | 0.0048 |
| x34 | -0.51947 | 0.24356 | 17.27026 | 4.55 | 0.0357 |
| a1x12 | 1.15538 | 0.34445 | 42.71652 | 11.25 | 0.0012 |
| a2x44 | 2.59412 | 0.42187 | 143.56234 | 37.81 | <.0001 |
| a2x24 | 1.20847 | 0.34445 | 46.73270 | 12.31 | 0.0007 |
| a2x34 | 1.32844 | 0.42187 | 37.64792 | 9.92 | 0.0022 |

maiz hojas activas PV 2012 cevamex 12
22:53 Thursday, February 25, 2014

rocedimiento REG
Modelo: MODEL1
Variable dependiente: Yg

Selección Stepwise: Paso 9

Límites en el número de la condición: 1.5, 56

All variables left in the model are significant at the 0.0500 level.

The stepwise method terminated because the next variable to be entered was just removed.

Resumen de Selección Stepwise

| Step | Variable Entered | Variable Removed | Number Vars In | Partial R-Square | Model R-Square | C(p) | F-Valor | Pr > F |
|------|------------------|------------------|----------------|------------------|----------------|---------|---------|--------|
| 1 | a2x44 | | 1 | 0.2151 | 0.2151 | 39.8959 | 25.77 | <.0001 |
| 2 | a2x24 | | 2 | 0.0700 | 0.2852 | 30.1273 | 9.11 | 0.0033 |
| 3 | a1x12 | | 3 | 0.0640 | 0.3492 | 21.3702 | 9.05 | 0.0034 |
| 4 | x4 | | 4 | 0.0477 | 0.3969 | 15.3508 | 7.20 | 0.0087 |
| 5 | x3 | | 5 | 0.0452 | 0.4421 | 9.7612 | 7.29 | 0.0083 |
| 6 | a2x34 | | 6 | 0.0314 | 0.4734 | 6.4875 | 5.30 | 0.0236 |
| 7 | x34 | | 7 | 0.0259 | 0.4993 | 4.1384 | 4.55 | 0.0357 |
| 8 | a2x23 | | 8 | 0.0208 | 0.5201 | 2.6424 | 3.77 | 0.0554 |
| 9 | | a2x23 | 7 | 0.0208 | 0.4993 | 4.1384 | 3.77 | 0.0554 |

Modelos de Yg de maíz (paso a paso)

$$Yg = 11.602 + 2.594$$

$$Yg = 11.602 + 2.594 + 1.208$$

$$Yg = 11.602 + 2.594 + 1.208 + 1.155$$

$$Yg = 11.602 + 2.594 + 1.208 + 1.155 + 0.575$$

$$Yg = 11.602 + 2.594 + 1.208 + 1.155 + 0.575 + 0.560$$

$$Yg = 11.602 + 2.594 + 1.208 + 1.155 + 0.575 + 0.560 + 0.808$$

$$Yg = 11.602 + 2.594 + 1.208 + 1.155 + 0.575 + 0.560 - 0.519$$

$$Yg = 11.602 + 2.594 + 1.208 + 1.155 + 0.575 + 0.560 - 0.519 + 0.658 + 1.328$$

$$Yg = 11.602 + 2.594 + 1.208 + 1.155 + 0.575 + 0.560 - 0.519 + 1.328$$

9.2.2 Salida de SAS para proteína de maíz.

```
data mha2012;
input t1 t2 Pr; /* t1 es TPG, t2 es TPD, Pr es % proteina, */

if t1=1 then do; a1=0; a2=0; end;
if t1=2 then do; a1=1; a2=0; end;
if t1=3 then do; a1=0; a2=1; end; /* 1 es 6 hojas activas (cultivo simple), 2 es 12
hojas activas
(tira de dos hileras de maíz alternando con dos de frijol), 3 es 18 hojas activas (una
hilera de
maíz alternando con una de frijol) */

if t2=01 then do; x1=-1; x2=-1; x3=-1; x4=-1; end;
if t2=02 then do; x1=-1; x2=-1; x3=-1; x4=+1; end;
if t2=03 then do; x1=-1; x2=-1; x3=+1; x4=-1; end;
if t2=04 then do; x1=-1; x2=-1; x3=+1; x4=+1; end;
if t2=05 then do; x1=-1; x2=+1; x3=-1; x4=-1; end;
if t2=06 then do; x1=-1; x2=+1; x3=-1; x4=+1; end;
if t2=07 then do; x1=-1; x2=+1; x3=+1; x4=-1; end;
if t2=08 then do; x1=-1; x2=+1; x3=+1; x4=+1; end;
if t2=09 then do; x1=+1; x2=-1; x3=-1; x4=-1; end;
if t2=10 then do; x1=+1; x2=-1; x3=-1; x4=+1; end;
if t2=11 then do; x1=+1; x2=-1; x3=+1; x4=-1; end;
if t2=12 then do; x1=+1; x2=-1; x3=+1; x4=+1; end;
if t2=13 then do; x1=+1; x2=+1; x3=-1; x4=-1; end;
if t2=14 then do; x1=+1; x2=+1; x3=-1; x4=+1; end;
if t2=15 then do; x1=+1; x2=+1; x3=+1; x4=-1; end;
if t2=16 then do; x1=+1; x2=+1; x3=+1; x4=+1; end;
/* las dosis estudiadas en TPD son 120 y 240 en N; 30 y 90 en P205, 30 y 60
de K20, 69 y 81 de DP todos por hectarea dispersa*/

x12=x1*x2; x13=x1*x3; x14=x1*x4; x23=x2*x3; x24=x2*x4; x34=x3*x4; x11=x1*x1; x22=x2*x2;
x33=x3*x3; x44=x4*x4;
a1x1=a1*x1; a1x2=a1*x2; a1x3=a1*x3; a1x4=a1*x4;
a1x12=a1*x12; a1x13=a1*x13; a1x14=a1*x14; a1x23=a1*x23; a1x24=a1*x24; a1x34=a1*x34;
a1x11=a1*x11; a1x22=a1*x22; a1x33=a1*x33; a1x44=a1*x44;
a2x1=a2*x1; a2x2=a2*x2; a2x3=a2*x3; a2x4=a2*x4;
a2x12=a2*x12; a2x13=a2*x13; a2x14=a2*x14; a2x23=a2*x23; a2x24=a2*x24; a2x34=a2*x34;
a2x11=a2*x11; a2x22=a2*x22; a2x33=a2*x33; a2x44=a2*x44;

cards;
1 2 6.705
1 8 7.928
1 12 7.875
1 9 8.180
1 5 7.843
1 14 7.810
1 3 8.358
1 15 8.688
1 4 7.383
1 10 8.188
1 11 8.675
1 6 7.323
1 7 7.540
1 1 7.928
1 13 8.335
1 16 6.915
3 2 7.635
3 8 7.775
3 12 8.300
3 9 9.360
3 5 9.313
```

```

3      14      8.700
3      3       8.758
3      15      8.958
3      4       9.065
3      10      9.120
3      11      8.863
3      6       8.485
3      7       8.630
3      1       8.853
3      13      9.193
3      16      8.700
2      2       8.288
2      8       9.098
2      12      9.075
2      9       9.123
2      5       7.895
2      14      8.445
2      3       9.028
2      15      8.205
2      4       7.825
2      10      8.225
2      11      7.938
2      6       7.413
2      7       8.270
2      1       8.195
2      13      8.100
2      16      8.640
;

```

```

proc reg;
model Pr = x1 x2 x3 x4 x11 x22 x33 x44 x12 x13 x14 x23 x24 x34 a1 a2 a1x1 a1x2
a1x3 a1x4 a1x11 a1x22 a1x33 a1x44 a1x12 a1x13 a1x14 a1x23 a1x24 a1x34 a2x1 a2x2
a2x3 a2x4 a2x11 a2x22 a2x33 a2x44 a2x12 a2x13 a2x14 a2x23 a2x24 a2x34
/selection=stepwise sle=0.10 sls=0.05;
title 'maiz hojas activas PV 2012 cevamex';
run;

```

Salida SAS

Selección Stepwise: Paso 7

maiz hojas activas PV 2012 cevamex 5
22:53 Thursday, February 25, 2014

Procedimiento REG
Modelo: MODEL1
Variable dependiente: Pr

Selección Stepwise: Paso 7

Analysis of Variance

| Fuente | DF | Sum of Squares | Mean Square | F-Valor | Pr > F |
|-----------------|----|----------------|-------------|---------|--------|
| Modelo | 5 | 10.42669 | 2.08534 | 10.64 | <.0001 |
| Error | 42 | 8.23293 | 0.19602 | | |
| Total corregido | 47 | 18.65962 | | | |

| Variable | Parameter Estimate | Standard Error | Type II SS | F-Valor | Pr > F |
|----------|--------------------|----------------|------------|---------|--------|
|----------|--------------------|----------------|------------|---------|--------|

| | | | | | |
|-----------|----------|---------|-----------|---------|--------|
| Término i | 7.85463 | 0.11069 | 987.12214 | 5035.77 | <.0001 |
| x1ependie | 0.16827 | 0.06390 | 1.35912 | 6.93 | 0.0118 |
| x4 | -0.29900 | 0.07827 | 2.86083 | 14.59 | 0.0004 |
| a1 | 0.50556 | 0.15653 | 2.04475 | 10.43 | 0.0024 |
| a2 | 0.87712 | 0.15653 | 6.15479 | 31.40 | <.0001 |
| a1x4 | 0.31494 | 0.13556 | 1.05798 | 5.40 | 0.0251 |

Límites en el número de la condición: 1.5, 33.333

All variables left in the model are significant at the 0.0500 level.

The stepwise method terminated because the next variable to be entered was just removed.

Resumen de Selección Stepwise

| Step | Variable Entered | Variable Removed | Number Vars In | Partial R-Square | Model R-Square | C(p) | F-Valor | Pr > F |
|------|------------------|------------------|----------------|------------------|----------------|---------|---------|--------|
| 1 | a2 | | 1 | 0.2228 | 0.2228 | 2.3764 | 13.19 | 0.0007 |
| 2 | a1 | | 2 | 0.1096 | 0.3324 | -2.1627 | 7.39 | 0.0093 |
| 3 | x4 | | 3 | 0.0968 | 0.4292 | -5.9412 | 7.47 | 0.0090 |
| 4 | x1ependie | | 4 | 0.0728 | 0.5021 | -8.2877 | 6.29 | 0.0160 |
| 5 | a1x4 | | 5 | 0.0567 | 0.5588 | -9.6711 | 5.40 | 0.0251 |
| 6 | x13 | | 6 | 0.0366 | 0.5954 | -9.8578 | 3.71 | 0.0609 |
| 7 | | x13 | 5 | 0.0366 | 0.5588 | -9.6711 | 3.71 | 0.0609 |

Modelos de Proteína de maíz (paso a paso)

Pr= 8.107+0.602

Pr= 7.854+0.505+0.877

Pr= 7.854+0.505+0.877-0.194

Pr= 7.854+0.505+0.877-0.194+0.168

Pr= 7.854+0.505+0.877+0.314+0.168-0.299

Pr= 7.854+0.505+0.877+0.314+0.168-0.299-0.119

Pr= 7.854+0.505+0.877+0.314+0.168-0.299-0.119

Pr= 7.854+0.505+0.877+0.314+0.168-0.299

9.2.3 Salida de SAS para rendimiento de frijol.

```

data Fha2012;
input t1 t2 Yg; /* t1 es TPG, t2 es TPD, Yg=rendimiento de frijol, */

if t1=1 then do; a1=0; a2=0; end;
if t1=2 then do; a1=1; a2=0; end;
if t1=3 then do; a1=0; a2=1; end; /* 1 es 6 hojas activas (cultivo simple), 2 es 12 hojas activas
(tira de dos hileras de maíz alternando con dos de frijol), 3 es 18 hojas activas (una hilera de
maíz alternando con una de frijol) */

if t2=01 then do; x1=-1; x2=-1; x3=-1; x4=-1; end;
if t2=02 then do; x1=-1; x2=-1; x3=-1; x4=+1; end;
if t2=03 then do; x1=-1; x2=-1; x3=+1; x4=-1; end;
if t2=04 then do; x1=-1; x2=-1; x3=+1; x4=+1; end;

```

```

if t2=05 then do; x1=-1; x2=+1; x3=-1; x4=-1; end;
if t2=06 then do; x1=-1; x2=+1; x3=-1; x4=+1; end;
if t2=07 then do; x1=-1; x2=+1; x3=+1; x4=-1; end;
if t2=08 then do; x1=-1; x2=+1; x3=+1; x4=+1; end;
if t2=09 then do; x1=+1; x2=-1; x3=-1; x4=-1; end;
if t2=10 then do; x1=+1; x2=-1; x3=-1; x4=+1; end;
if t2=11 then do; x1=+1; x2=-1; x3=+1; x4=-1; end;
if t2=12 then do; x1=+1; x2=-1; x3=+1; x4=+1; end;
if t2=13 then do; x1=+1; x2=+1; x3=-1; x4=-1; end;
if t2=14 then do; x1=+1; x2=+1; x3=-1; x4=+1; end;
if t2=15 then do; x1=+1; x2=+1; x3=+1; x4=-1; end;
if t2=16 then do; x1=+1; x2=+1; x3=+1; x4=+1; end;
/* las dosis estudiadas en TPD son 120 y 240 en N; 30 y 90 en P205, 30 y 60
de K20, 69 y 81 de DP todos por hectarea dispersa*/

x12=x1*x2; x13=x1*x3; x14=x1*x4; x23=x2*x3; x24=x2*x4; x34=x3*x4; x11=x1*x1; x22=x2*x2;
x33=x3*x3; x44=x4*x4;
a1x1=a1*x1; a1x2=a1*x2; a1x3=a1*x3; a1x4=a1*x4;
a1x12=a1*x12; a1x13=a1*x13; a1x14=a1*x14; a1x23=a1*x23; a1x24=a1*x24; a1x34=a1*x34; a1x11=a1*x11;
a1x22=a1*x22; a1x33=a1*x33; a1x44=a1*x44;
a2x1=a2*x1; a2x2=a2*x2; a2x3=a2*x3; a2x4=a2*x4;
a2x12=a2*x12; a2x13=a2*x13; a2x14=a2*x14; a2x23=a2*x23; a2x24=a2*x24; a2x34=a2*x34; a2x11=a2*x11;
a2x22=a2*x22; a2x33=a2*x33; a2x44=a2*x44;

cards;
3      23      1.756
3      22      1.634
3      24      1.424
3      17      1.327
3      21      1.868
3      19      1.343
3      25      1.808
3      18      1.901
3      20      1.880
3      2       2.061
3      8       2.198
3      12      2.410
3      9       2.117
3      5       1.771
3      14      1.879
3      3       1.668
3      15      2.478
3      4       2.291
3      10      2.840
3      11      1.968
3      6       3.099
3      7       2.596
3      1       1.973
3      13      2.095
3      16      2.841
3      23      1.533
3      22      1.342
3      24      1.805
3      17      1.509
3      21      1.563
3      19      1.581
3      25      1.413
3      18      1.668
3      20      2.060
3      2       2.380
3      8       2.110
3      12      2.287
3      9       1.613
3      5       1.786
3      14      1.614
3      3       1.500
3      15      2.110
3      4       1.930
3      10      2.680
3      11      2.200
3      6       2.720

```

| | | |
|---|----|-------|
| 3 | 7 | 2.660 |
| 3 | 1 | 1.520 |
| 3 | 13 | 1.974 |
| 3 | 16 | 2.089 |
| 2 | 23 | 1.996 |
| 2 | 22 | 1.570 |
| 2 | 24 | 2.222 |
| 2 | 17 | 1.521 |
| 2 | 21 | 1.757 |
| 2 | 19 | 1.644 |
| 2 | 25 | 1.737 |
| 2 | 18 | 3.105 |
| 2 | 20 | 2.203 |
| 2 | 2 | 3.085 |
| 2 | 8 | 3.269 |
| 2 | 12 | 3.340 |
| 2 | 9 | 2.546 |
| 2 | 5 | 2.814 |
| 2 | 14 | 3.434 |
| 2 | 3 | 3.183 |
| 2 | 15 | 2.501 |
| 2 | 4 | 2.730 |
| 2 | 10 | 3.726 |
| 2 | 11 | 2.756 |
| 2 | 6 | 3.098 |
| 2 | 7 | 2.240 |
| 2 | 1 | 2.716 |
| 2 | 13 | 2.382 |
| 2 | 16 | 4.130 |
| 2 | 23 | 2.830 |
| 2 | 22 | 1.250 |
| 2 | 24 | 1.700 |
| 2 | 17 | 1.090 |
| 2 | 21 | 1.250 |
| 2 | 19 | 1.210 |
| 2 | 25 | 1.350 |
| 2 | 18 | 2.270 |
| 2 | 20 | 1.860 |
| 2 | 2 | 2.195 |
| 2 | 8 | 2.942 |
| 2 | 12 | 2.503 |
| 2 | 9 | 1.883 |
| 2 | 5 | 2.746 |
| 2 | 14 | 2.717 |
| 2 | 3 | 2.645 |
| 2 | 15 | 2.727 |
| 2 | 4 | 3.779 |
| 2 | 10 | 4.355 |
| 2 | 11 | 3.474 |
| 2 | 6 | 3.029 |
| 2 | 7 | 3.022 |
| 2 | 1 | 2.379 |
| 2 | 13 | 2.623 |
| 2 | 16 | 3.396 |
| 1 | 23 | 2.350 |
| 1 | 22 | 2.730 |
| 1 | 24 | 2.544 |
| 1 | 17 | 1.390 |
| 1 | 21 | 2.154 |
| 1 | 19 | 2.110 |
| 1 | 25 | 1.944 |
| 1 | 18 | 1.688 |
| 1 | 20 | 1.714 |
| 1 | 2 | 2.920 |
| 1 | 8 | 3.527 |
| 1 | 12 | 3.800 |
| 1 | 9 | 1.459 |
| 1 | 5 | 1.869 |
| 1 | 14 | 2.738 |
| 1 | 3 | 2.243 |
| 1 | 15 | 2.642 |

```

1      4      2.469
1      10     2.842
1      11     2.500
1      6      2.186
1      7      3.220
1      1      2.175
1      13     2.580
1      16     3.720
1      23     2.355
1      22     3.329
1      24     3.385
1      17     1.654
1      21     2.251
1      19     2.537
1      25     1.548
1      18     1.496
1      20     1.676
1      2      2.321
1      8      2.475
1      12     2.865
1      9      1.948
1      5      1.566
1      14     2.488
1      3      2.481
1      15     3.280
1      4      2.312
1      10     3.510
1      11     3.190
1      6      3.033
1      7      3.932
1      1      2.645
1      13     3.429
1      16     4.107
;

```

```

proc reg;
model Yg = x1 x2 x3 x4 x11 x22 x33 x44 x12 x13 x14 x23 x24 x34 a1 a2 a1x1 a1x2
a1x3 a1x4 a1x11 a1x22 a1x33 a1x44 a1x12 a1x13 a1x14 a1x23 a1x24 a1x34 a2x1 a2x2
a2x3 a2x4 a2x11 a2x22 a2x33 a2x44 a2x12 a2x13 a2x14 a2x23 a2x24 a2x34 /selection=stepwise
sle=0.10 sls=0.05;
title 'maiz hojas activas PV 2012 cevamex';
run;

```

Salida SAS

maiz hojas activas PV 2012 cevamex 1
10:16 Sunday, March 7, 2014

Procedimiento REG
Modelo: MODEL1
Variable dependiente: Yg

Selección Stepwise: Paso 5

Analysis of Variance

| Fuente | DF | Sum of Squares | Mean Square | F-Valor | Pr > F |
|-----------------|----|----------------|-------------|---------|--------|
| Modelo | 3 | 16.29559 | 5.43186 | 21.55 | <.0001 |
| Error | 92 | 23.18788 | 0.25204 | | |
| Total corregido | 95 | 39.48347 | | | |

maiz hojas activas PV 2012 cevamex 4
10:16 Sunday, March 7, 2014

rocedimiento REG
 Modelo: MODEL1
 Variable dependiente: Yg

Selección Stepwise: Paso 5

| Variable | Parameter Estimate | Standard Error | Type II SS | F-Valor | Pr > F |
|-----------|--------------------|----------------|------------|---------|--------|
| Término i | 2.85683 | 0.06275 | 522.33388 | 2072.41 | <.0001 |
| x3 | 0.13726 | 0.05124 | 1.80868 | 7.18 | 0.0088 |
| x4 | 0.21505 | 0.05124 | 4.43975 | 17.62 | <.0001 |
| a2 | -0.68627 | 0.10869 | 10.04716 | 39.86 | <.0001 |

Límites en el número de la condición: 1, 9

All variables left in the model are significant at the 0.0500 level.

The stepwise method terminated because the next variable to be entered was just removed.

Resumen de Selección Stepwise

| Step | Variable Entered | Variable Removed | Number Vars In | Partial R-Square | Model R-Square | C(p) | F-Valor | Pr > F |
|------|------------------|------------------|----------------|------------------|----------------|---------|---------|--------|
| 1 | a2 | | 1 | 0.2545 | 0.2545 | 34.1807 | 32.08 | <.0001 |
| 2 | x4 | | 2 | 0.1124 | 0.3669 | 17.1494 | 16.52 | 0.0001 |
| 3 | x3 | | 3 | 0.0458 | 0.4127 | 11.3964 | 7.18 | 0.0088 |
| 4 | x1ependie | | 4 | 0.0227 | 0.4354 | 9.5535 | 3.66 | 0.0589 |
| 5 | | x1ependie | 3 | 0.0227 | 0.4127 | 11.3964 | 3.66 | 0.0589 |

Modelos de Yg de frijol (paso a paso)

$$Yg = 2.856 - 0.686$$

$$Yg = 2.856 - 0.686 + 0.215$$

$$Yg = 2.856 - 0.686 + 0.215 + 0.137$$

$$Yg = 2.856 - 0.686 + 0.215 + 0.137 + 0.096$$

$$Yg = 2.856 - 0.686 + 0.215 + 0.137$$