

Análisis Comparativo de Crecimiento de
Sorgo Sembrado en Cultivo Puro y
Casado con Maíz

MICROCISIS:	<u>1541</u>
FECHA:	<u>24/01/91</u>
ENCARGADO:	<u>UABCAS</u>

POR:

Patricio F. Gutiérrez C.

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PREVIO A LA
OBTENCION DEL TITULO DE

INGENIERO AGRONOMO

ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA

El Zamorano, Abril - 1990

ANALISIS COMPARATIVO DE CRECIMIENTO DE
SORGO SEMBRADO EN CULTIVO PURO Y CASADO
CON MAIZ

POR:

Patricio F. Gutiérrez C.

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PREVIO A LA

OBTENCION DEL TITULO DE

INGENIERO AGRONOMO

ESCUELA AGRICOLA PANAMERICANA

El Zamorano, Abril - 1990

ANALISIS COMPARATIVO DE CRECIMIENTO DE
SORGO SEMBRADO EN CULTIVO PURO Y CASADO
CON MAIZ

Por:

Patricio F. Gutiérrez C.

El autor concede a la Escuela Agrícola Panamericana permiso para reproducir y distribuir copias de este trabajo para los usos que considere necesario. Para otras personas y otros fines, se reservan los derechos de autor.



PATRICIO F. GUTIERREZ CARVAJAL

Abril 1990

- iii -

DEDICATORIA

A MIS PADRES,
CON MUCHO CARÍÑO

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Dan H. Meckenstock, por darme su ayuda, las facilidades necesarias para realizar esta tesis y mis estudios de cuarto año, y por su guía para mi formación profesional.

A los profesores del Departamento de Agronomía, en especial al Dr. Leonardo Corral; al Dr. Juan José Alán; y al Dr. Juan Carlos Rosas, por sus enseñanzas y apoyo incondicional.

Al personal del Proyecto INTSORMIL y del Departamento de Agronomía, especialmente al Ing. Alejandro Palma y al Dr. Francisco Gómez.

RECONOCIMIENTO

Esta investigación fue parte del Programa de Mejoramiento de Sorgo en Honduras y América Central, Escuela Agrícola Panamericana, y fue financiado con fondos de Ley Pública 480 Título I, Carta de Ejecución No. 14, del 22 de Marzo de 1989. "Proyecto Producción de Sorgo (INTSORMIL)", Dr. D.H. Meckenstock, líder.

INDICE

TITULO.....	i
DERECHO DE AUTOR.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
RECONOCIMIENTO.....	v
INDICE.....	vi
INDICE DE CUADROS.....	vii
INDICE DE FIGURAS.....	viii
INDICE DE ANEXOS.....	ix
COMPENDIO.....	x
INTRODUCCION.....	1
REVISION DE LITERATURA.....	3
Sistemas de Cultivo.....	4
Morfología de la Planta.....	6
Fisiología de la Planta.....	10
Parámetros de Crecimiento.....	12
MATERIALES Y METODOS.....	14
RESULTADOS Y DISCUSION.....	19
Duración de los Periodos de Crecimiento.....	19
Sorgo.....	20
Maíz.....	25
Razón de Equivalencia de la Tierra.....	28
CONCLUSIONES.....	31
RECOMENDACIONES.....	32
LITERATURA CITADA.....	33
ANEXOS.....	36
DATOS BIOGRAFICOS.....	42
APROBACION.....	43

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Cuadrados medios para el rendimiento de sorgo y sus componentes.....	21
Cuadro 2. Interacción entre sistemas de cultivo y cultivares de sorgo para el rendimiento y sus componentes.....	22
Cuadro 3. Cuadrados medios para el rendimiento de maíz y sus componentes.....	26
Cuadro 4. Separación de medias del rendimiento de maíz y sus componentes.....	27
Cuadro 5 Razones de equivalencia de la tierra (RET) y razones de competencia (RC) para el sorgo y el maíz.....	29

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Duración de las etapas fenológicas de los cultivos estudiados,
sembrados el 31 de junio de 1989, El Zamorano, F.M., Honduras..... 19

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Temperaturas máximas y mínimas durante el ciclo de cultivo. El Zamorano, F.M., Honduras, 1989	37
Anexo 2. Precipitación durante el ciclo de cultivo. El Zamorano, F.M., Honduras, 1989.....	38
Anexo 3. Croquis del ensayo.....	39
Anexo 4. Datos tomados en sorgo.....	40
Anexo 5. Datos tomados en maíz.....	41

COMPENDIO

El maicillo criollo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], se siembra en asocio con maíz (*Zea mays* L.) en muchas áreas semi-áridas de Centroamérica. El conocer la forma en que el cultivo en asocio con maíz afecta el rendimiento y la fisiología del maicillo criollo, ayudaría a desarrollar variedades mejor adaptadas a este sistema y a elevar la productividad de los pequeños agricultores de las zonas de centroamérica en las que se cultiva el maicillo. Se evaluó el efecto en el rendimiento y sus componentes, de la siembra de tres genotipos de sorgo en asocio con maíz bajo el sistema denominado casado. El estudio se llevó a cabo en un Alfisol franco (mediano sobre fino, mixto isohipertérmico, Vertic Haplustalf), en la Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, F.M., Honduras. Dos sistemas de siembra (cultivo puro y casado), tres genotipos de sorgo (San Bernardo III, TAM428*S.B.III y DK-64) y uno de maíz (Maicito), se sembraron al inicio de la época lluviosa. El rendimiento del sorgo y del maíz fue superior en cultivo puro. El maicillo mejorado, (TAM428*S.B.III)-23 F₈, fue el mejor sorgo en ambos sistemas de cultivo, obteniéndose 6.39 t ha⁻¹ en cultivo puro y 3.96 t ha⁻¹ en casado; lo que indica una mejor tasa de trasloción de fotosintatos al grano. El maicillo criollo, San Bernardo III, mantuvo estable su rendimiento en los dos sistemas (3.34 t ha⁻¹ en cultivo puro, y 2.69 t ha⁻¹ en casado), y esto produjo la Razón de Equivalencia de la Tierra (RET) más alta (1.42), lo que indica que el cultivo intercalado de variedades criollas es una buena práctica para maximizar la productividad de estas variedades. El híbrido DK-64 en el sistema casado redujo su rendimiento de 4.54 a 1.56 t ha⁻¹, esto indica que se debe evitar el uso, en cultivos en asocio con maíz, de híbridos comerciales cuya semilla es cara y que no maximizan el retorno a la inversión. El maíz tuvo mayor rendimiento en cultivo puro, pero no se pudo comprobar que los sorgos enanos disminuyen el rendimiento de maíz en menor proporción que los altos. El mayor rendimiento del maicillo mejorado en ambos sistemas indica que este tipo de sorgo es una alternativa viable para los sistemas tradicionales en la región.

INTRODUCCION

Los primeros sorgos introducidos en Centroamérica fueron poblaciones tropicales que se han denominado maicillos criollos. Los agricultores de escasos recursos económicos, típicamente siembran estos sorgos en tierras marginales intercalados con maíz por las características que tiene el sorgo de tolerar condiciones de sequía y baja fertilidad del suelo.

Por lo general, el sorgo se siembra en fincas con un área menor de 5 ha. En estas fincas, el maíz sirve como base de alimentación de la familia del agricultor, y el sorgo para alimentación animal. Los dos cultivos se siembran intercalados utilizando varios arreglos espaciales y cronológicos, al inicio de la estación lluviosa.

La estación lluviosa en el área donde se cultivan los maicillos, empieza al principio de mayo y termina al principio de noviembre. Casi siempre está interrumpida por una época de sequía de duración irregular denominada "canícula" que muchas veces puede arruinar o bajar significativamente el rendimiento del maíz. En cuyo caso el maicillo actúa como un "seguro" contra la sequía y sustituye al maíz como grano básico para la alimentación en los años en que la cosecha de maíz se pierde.

El maicillo tiene buena calidad de grano para la elaboración de tortillas y para varios otros usos como son los alborotos y atolillos (Kahn *et al.*, 1987; Sauer, 1954), es alto (3 a 4 m) y es sensible al fotoperíodo ya que requiere noches con doce o más horas para iniciar la floración (Meckenstock *et al.*, 1985); se adapta a sistemas de cultivo intercalado y es susceptible a la cenicilla (Fernández y Meckenstock, 1987), una enfermedad causada por *Peronosclerospora sorghi* (Weston y Uppal) Shaw.

La siembra intercalada con maíz ha sido un factor de selección en los maicillos, los que han desarrollado características de adaptación únicas como son el crecimiento

ostensiblemente lento en las primeras etapas vegetativas y la baja tasa de respiración. Esto les permite tolerar niveles de sombra que normalmente conducirían a la muerte de plantas en cultivares no adaptados (Meckenstock y Gómez, 1987).

La información existente sobre las características de crecimiento y desarrollo de los maicillos criollos es muy escasa, por lo cual se considera de suma importancia conocer y analizar los mecanismos por los cuales los maicillos criollos se adaptan a sistemas de cultivo en asocio con maíz.

El mejoramiento de los maicillos criollos se ha enfocado a aumentar la capacidad de rendimiento mediante la reducción de la altura de la planta y la introducción de genes de resistencia a enfermedades, manteniendo siempre las características de tolerancia a la sequía, tolerancia a sombra y fotoperíodo. Es importante, también, saber en qué forma es afectado el crecimiento y el desarrollo de los maicillos mejorados con respecto a sus genotipos parentales.

El objetivo de este estudio fue determinar el efecto del sistema de cultivo casado en el rendimiento y sus componentes: tamaño de semilla, número de semillas por panoja y número de panojas por planta, en el maíz y el sorgo.

REVISION DE LITERATURA

El sorgo fue domesticado en Africa, en una región entre el Ecuador y 15° de latitud Norte, desde donde se extendió a regiones de Asia, Europa, y posteriormente a las Américas (Harlan, 1975; Quinby, 1974). Se supone que fue introducido en América Central durante el comercio de esclavos (Quinby, 1974, p. 1) y luego se adaptó a las condiciones agroecológicas de los trópicos americanos en donde se utiliza en sistemas de manejo mixtos diversificados.

Los sorgos introducidos en Centroamérica fueron poblaciones tropicales que se han denominado "maicillos criollos", los que comúnmente se siembran en tierras marginales intercalados con maíz por los agricultores de escasos recursos económicos. El maicillo criollo es un sorgo utilizado para alimentación humana y se caracteriza por mantener rendimientos bajos pero estables en condiciones de sequía y de siembra intercalada. El rendimiento promedio nacional en Honduras, es de alrededor de 0.9 t ha⁻¹ (Torchelli y Narváez, 1980, p. 55).

Los maicillos se cultivan en áreas rurales semiáridas, en fincas de pequeños agricultores que en el 66% de los casos, ocupan un área menor de 5 ha (Aguirre y Tablada, 1988, p. 20). La familia del agricultor colabora en el trabajo y en promedio está compuesta por siete miembros (Arias y Gallaher, 1987). Estos agricultores siembran el maicillo criollo en asocio con maíces nativos por su tolerancia a sequía y su versatilidad para ser usado como alimento humano o animal. Se estima que entre el 36 y el 55% de la producción de sorgo en Honduras se destina al consumo humano dependiendo de la región (Aguirre y Tablada, 1988, p. 43).

El cultivo del maicillo se presenta principalmente en laderas empinadas de hasta 50% de inclinación, con suelos lixiviados o rocosos, poco profundos (máximo de 30 cm) y

prevalencia de piedras sueltas o grava, lo que hace que sean susceptibles a la erosión en forma natural. Para agravar el problema de la conservación, estos suelos soportan períodos de humedad deficiente debido a la alta tasa de evapotranspiración (1000 a 2000 mm año⁻¹) y a un ciclo de precipitación irregular (Arias y Gallaher, 1987).

En las áreas donde se siembra el maicillo, la estación lluviosa empieza al principio de mayo y termina al principio de noviembre. Esta estación es bimodal y está interrumpida en julio por una época denominada "canícula" en la que no llueve. Si la canícula se extiende más de lo normal, el cultivo de maíz se puede arruinar o su rendimiento se puede reducir significativamente. En esta situación, el maicillo actúa como un "seguro" de subsistencia y sustituye al maíz como alimento energético. Se estima que en el sur de Honduras hasta el 90% de la energía consumida diariamente durante la estación seca por algunas familias, proviene del sorgo (Thompson *et al.*, 1985, p. 99).

El amplio rango de distribución del maicillo lo coloca entre los cultivos más importantes de la región centroamericana. Se lo encuentra desde el sudeste de Guatemala hasta el Lago de Nicaragua ocupando un área aproximada de 205,000 ha, siendo más intenso su cultivo en Honduras (56,000 ha) y El Salvador (129,000 ha) donde más del 90% del sorgo se siembra en cultivo intercalado con maíz (Hawkins, 1984). Sus características de adaptabilidad lo hacen muy popular entre los campesinos de escasos recursos en tierras marginales.

Sistemas de Cultivo

El primer informe económico publicado en Honduras a fines del siglo pasado incluía ya referencia de campos cultivados de sorgo (Vallejo, 1889, p. 40); y al parecer desde entonces los maicillos se han sembrado en cultivo intercalado con maíz. En la actualidad existen muchas maneras de sembrar sorgo intercalado con maíz, inclusive se podría decir que hay una por cada agricultor. Sin embargo, Arias y Gallaher (1987) los han

simplificado en tres sistemas principales. En orden decreciente de importancia son: 1) Simultáneo, sorgo y maíz sembrados simultáneamente al inicio de la estación lluviosa, en la época llamada "primera". Cuando las dos especies se siembran en la misma postura, se le llama "casado"; 2) Aporque, maíz sembrado en primera y sorgo sembrado entre 15 y 20 días más tarde; y 3) Relevo, maíz sembrado en primera y sorgo sembrado durante la época de floración del maíz, o más comúnmente al momento del "doblado" de la planta de maíz para que se seque la mazorca.

En el proceso de adaptación a estos métodos de siembra tradicionales en la región neotropical, los maicillos criollos han desarrollado características únicas como son: crecimiento lento durante el ciclo vegetativo y posiblemente una baja tasa de respiración (Meckenstock y Gómez, 1987), lo que les permite tolerar niveles de sombra que normalmente conducen a la muerte de plantas en cultivares no adaptados.

Las variedades mejoradas e híbridas introducidas en centroamérica no se adaptan a las condiciones de cultivo en asocio, ya que se desarrollaron para ser utilizadas en cultivo puro. Se recomienda usar estos cultivares con niveles altos de tecnología como son la aplicación de fertilizantes y una mejor preparación del suelo para la siembra. Además, estas variedades e híbridos no se ajustan al presupuesto del agricultor de escasos recursos, y aumentan su percepción de riesgo. Por estas razones, los agricultores no utilizan los híbridos convencionales para la siembra en cultivo intercalado con maíz.

Es evidente que el agricultor no tiene sustituto para el maicillo en sus cultivos intercalados con maíz en áreas semiáridas. En la década pasada se iniciaron programas para mejorar el maicillo en la región centroamericana. En Honduras, el enfoque ha sido aumentar la capacidad de rendimiento mediante la reducción de la altura de la planta y la introducción de genes exóticos de rendimiento y resistencia a enfermedades, manteniendo siempre las características de madurez tardía, calidad de grano para tortillas, tolerancia a la

sombra y a la sequía (Meckenstock *et al.*, 1985).

No hay información sobre trabajos que evalúen las características fisiológicas de crecimiento y desarrollo de los maicillos criollos en los diferentes sistemas de cultivo. Los maicillos criollos difieren, tanto de los híbridos comerciales modernos, como de sus ancestros encontrados en África (Rosenow, 1988), los cuales han sido estudiados en forma más detenida.

Morfología de la Planta

El sorgo es una gramínea anual originada en los trópicos que con frecuencia produce macollos o retoños a partir de las yemas basales del tallo. El sorgo tiene un sistema radical fibroso que se forma a partir de los nudos basales del tallo. El tallo es cilíndrico y erecto dividido en nudos y entrenudos, pudiendo llegar a tener más de 4 m de altura. Las hojas son lineales-lanceoladas, con venas paralelas y están constituidas por la vaina y la lámina. En el extremo del tallo se encuentra la inflorescencia que es una panícula con flores perfectas. El fruto es una cariopsis que tiene pericarpio, endosperma harinoso o vítreo y un embrión monocotiledonal (Schertz, 1979; Monge, 1989). El grano, que en los sorgos graníferos es la parte comercial de la planta, puede tener entre 4 a 8 mm de diámetro y pesar de 10 a 60 mg (Peacock y Wilson, 1984).

Un estudio sobre la contribución genética al aumento en rendimiento en el sorgo entre 1950 y 1980, indica que dicho aumento en los nuevos híbridos, se debe al aumento del número de granos por panícula y no al aumento del tamaño de la carióspside (Miller y Kebede, 1984). Este es un contraste con el maíz, en donde los incrementos en rendimiento se deben al aumento del tamaño de la carióspside y no al número de granos por mazorca (Duvick, 1984).

La radícula del sorgo, que emerge de la semilla, es reemplazada rápidamente por un sistema radical fibroso adventicio que se origina en las yemas de los nudos basales del

tallo. Este sistema puede tener el doble de raíces que el maíz en la misma etapa vegetativa (Peacock y Wilson, 1984) y a esto se atribuye en parte a su mayor resistencia a la sequía. La raíz puede alcanzar hasta 1.5 m de profundidad aunque la mayor concentración de raíces se encuentra en la capa arable del suelo. La raíz es la fuente de nutrición mineral y de agua para la planta. Además, la raíz depende de los fotosintatos producidos por la parte foliar de la planta y bajo condiciones de estrés, translocan nutrientes del tallo para su crecimiento (Gardner *et al.*, 1985, p. 260).

Al comparar dos líneas isogénicas de sorgo del tipo kafir que difieren en altura se encontró mayor cantidad de raíces en la variedad alta. El estudio demostró que los mecanismos genéticos de control de altura de la planta son independientes de los que controlan el crecimiento radical (Wright *et al.*, 1983). Las líneas altas produjeron también mayor área foliar. Sin embargo, al normalizar la fitomasa total de raíces respecto al área foliar no se encontró diferencia significativa entre la proporción de raíz respecto al área foliar en las plantas altas y bajas. Al aplicar ácido giberélico (GA_3) en líneas isogénicas de sorgo de tipo milo, aumentó el peso seco del tallo en un 20% en el genotipo alto, y en un 10% en el bajo; mientras que el peso de las raíces disminuyó en un 21% en el alto, comparado con un 20% en el bajo (Wright *et al.*, 1983).

El tallo del sorgo es erecto y varía en diámetro entre 0.5 a 3.5 cm, habiéndose reportado un máximo de 14.5 cm (Dogget, 1988, p. 70). Los nudos y entrenudos se forman durante la etapa vegetativa (GS_1) antes de la diferenciación floral. Sin embargo, la longitud del tallo es de pocos centímetros y el punto de crecimiento se halla debajo del nivel del suelo. En sus primeras etapas vegetativas de crecimiento, el tallo representa una pequeña parte del peso seco total de la planta (Dogget, 1988, p. 70).

Luego de la diferenciación floral, los entrenudos se alargan rápidamente alcanzando su máximo en los días anteriores a la antesis incrementándose con rapidez su peso seco

(Schertz, 1979). En la variedad 'Farafara', una variedad tropical alta de Nigeria, el 80% del incremento del peso seco luego de la antesis se debió a fotosintatos producidos en las hojas, pero menos de la mitad se traslocó al grano. Lo demás contribuyó a aumentar el peso seco de las estructuras de la panícula y del tallo, el que alcanzó 241 g a una densidad de 247,100 plantas ha⁻¹, y 382 g a una densidad de 24,710 plantas ha⁻¹ (Goldsworthy, 1970a). Este peso fue superior al del NK300, un híbrido triple-enano de clima templado, sembrado en las mismas condiciones y cuyo peso seco de tallo y panícula alcanzó 63 g con la densidad alta, y 144 g con la densidad baja. En este híbrido, el 70% de los fotosintatos producidos por las hojas luego de la antesis se translocaron al grano, (entre 26 y 34 g) (Goldsworthy, 1970a). Esto demuestra la competencia que un tallo largo tiene con la panoja para utilizar fotosintatos que deberían contribuir al llenado del grano.

En sistemas tecnificados, el sorgo se cultiva como si tuviera un solo tallo por planta; sin embargo, la especie presenta gran variación en su capacidad de macollamiento, lo que es influido por el ambiente y la genética de la planta. El crecimiento de tallos adventicios a partir de yemas de los nudos basales, es importante porque las panojas que se forman en los mismos contribuyen a incrementar el rendimiento de grano y permiten compensar pérdidas debido a bajas poblaciones o pérdida del tallo principal por factores externos como muerte por enfermedades, daño de insectos, etc. La aparición de los retoños está regulada por hormonas y se ha determinado que las giberelinas estimulan la formación de tallos adventicios, en tanto que las auxinas contribuyen a la dominancia apical e inhiben el desarrollo de macollos (Isbell y Morgan, 1982). Por lo general, la aparición de los primeros retoños toma alrededor de un mes a partir de la emergencia del tallo principal, y los subsiguientes se generan con intervalos de entre una y tres semanas, requiriéndose más tiempo al ir madurando el tallo principal (Escalada y Plucknett, 1975).

Las hojas generalmente se encuentran ubicadas en forma alterna en lados opuestos del

tallo. Sin embargo, con frecuencia se orientan con un cierto ángulo entre ellas. La hoja puede ser glabra o con tricomas y está formada por la lámina y la vaina. La lámina es cerosa y de color verde claro, sus márgenes pueden ser ondulados o planos dependiendo de si el crecimiento de la parte exterior es similar al de la vena central. Cuando los márgenes de la hoja son más largos que la vena central se produce el ondulado (Doggett, 1988). Esta característica es predominante en los maicillos.

El número de hojas fotosintéticamente activas en el tallo principal varía entre 7 a 24, dependiendo de la variedad y de la edad de la planta. Las hojas jóvenes son erectas pero en la mayoría de las variedades las hojas maduras se curvan hacia abajo. Estas hojas pueden alcanzar una longitud hasta de 135 cm y una anchura máxima de 13 cm (Doggett, 1988). El número potencial de hojas varía con la variedad y el clima. En muchos de los híbridos comerciales que se adaptan a estaciones cortas, se pueden formar entre 14 a 17 hojas. Los genotipos de período vegetativo largo (como es el caso de los maicillos criollos) pueden formar entre 30 a 35 hojas en total (Peacock y Wilson, 1984).

La vaina de la hoja envuelve al tallo y sus márgenes se traslapan. Su posición es alterna, saliendo de un nudo para la derecha y del siguiente para la izquierda. La longitud de la vaina está determinada por el largo del entrenudo. La vaina es lisa y con frecuencia está recubierta con una película fina de cera, que le confiere una coloración blanquecina (Doggett, 1988). La cera reduce la transpiración y ayuda a la planta a soportar el estrés de sequía.

La inflorescencia del sorgo es una panícula que tiene un eje central y se ramifica dos o tres veces. La longitud de las ramas es variable dando la característica de la panoja según la variedad y puede variar de larga y abierta a pequeña y compacta. La panícula se desarrolla a partir de la hoja bandera y no fotosintetiza en cantidad suficiente para aumentar significativamente el rendimiento (Schertz, 1979).

Fisiología de la Planta

El crecimiento del sorgo al igual que el de otras gramíneas, está regulado principalmente por la temperatura y el fotoperíodo si no existe estrés de agua y nutrimentos. Doggett (1988, p. 124), dividió al sorgo en tres grupos de acuerdo con su adaptación a diferentes regímenes de temperatura y duración del día:

1. Sorgos tropicales de tierras altas crecen y se reproducen a temperaturas nocturnas relativamente bajas (17 °C), son sensibles al fotoperíodo y están ubicados en los trópicos entre los 1600 y 2500 msnm. Este tipo de sorgo se encuentra en Africa, especialmente en las tierras altas de Etiopía, Uganda y Ruanda. Este germoplasma todavía no se ha usado en las Américas, pero ICRISAT tiene un proyecto en México para desarrollar variedades para el altiplano de ese país.
2. Sorgos tropicales de tierras bajas están adaptados a días y noches relativamente cálidas a lo largo del período de crecimiento vegetativo y son sensibles al fotoperíodo. Los maicillos criollos pertenecen a este grupo y requieren noches de 12 h o más para iniciar su floración (Meckenstock et al., 1985).
3. Sorgos de clima templado que son relativamente insensibles al fotoperíodo y toleran condiciones frías al inicio y al final del período del crecimiento vegetativo, pero no durante la floración. Están adaptados a días cálidos o sombreados con noches frías. Los híbridos y variedades mejoradas que se cultivan en los Estados Unidos están en este grupo.

Los sorgos tropicales presentan gran número de hojas y por lo tanto mayor área foliar en comparación con los sorgos de clima templado. Sin embargo, los sorgos templados tienen una mayor duración del área foliar por unidad de peso total de la planta y además traslocan más eficientemente los nutrimentos hacia el grano. En tanto que en los sorgos tropicales, el exceso de productos de fotosíntesis se trasloca hacia la panoja, el tallo y la

raíz, y no hacia el grano en sí. Esto explica en parte el bajo rendimiento de grano en estos sorgos y también la falta de respuesta a las aplicaciones de nitrógeno (Goldsworthy, 1970b).

Se conocen cuatro loci para madurez en sorgo, los cuales se han denominado Ma_1 , Ma_2 , Ma_3 y Ma_4 (Pao y Morgan, 1986). Estos loci controlan el período necesario para llegar a la diferenciación floral y la madurez, a la vez que influyen en la respuesta al fotoperíodo y a la temperatura (Sorrells y Myers, 1982).

También se han identificado cuatro loci que determinan la altura de la planta de sorgo, estos genes son de carácter braquítico; *i.e.*, afectan la elongación de los entrenudos pero no su número (Quinby, 1974, p. 31). Dichos loci se han denominado Dw_1 , Dw_2 , Dw_3 y Dw_4 . Los sorgos híbridos que se usan para grano en la actualidad son recesivos para tres de estos loci (triple-enanos) y sus genotipos por lo general son $dw_1dw_2dw_3dw_4$.

Los sorgos templados tienen genes recesivos en el locus Ma_1 y para tres de los cuatro loci de altura, por lo que son relativamente insensibles al fotoperíodo y de porte bajo. Estas características se desarrollaron en los Estados Unidos con el fin de adaptar las plantas a días largos y para mecanizar la cosecha (Quinby, 1974, p. 3). Se cree que el genotipo para madurez de los maicillos criollos, al igual que la mayoría de los sorgos tropicales, es $Ma_1Ma_2Ma_3Ma_4$, o sea homocigótico para los cuatro loci de madurez (Meckenstock *et al.*, 1985). Los genotipos para altura en los maicillos no se han determinado pero se cree que al menos tres de los loci conocidos son homocigóticos dominantes (Meckenstock *et al.*, 1985).

El sorgo tropical es una gramínea que requiere días cortos para iniciar su floración. También, existe una interacción compleja entre el nivel de auxinas y giberelinas (regulado por los genes de madurez), la longitud de los días y la temperatura. Estudios hechos en once isóloneas de sorgo indican que los genes de madurez controlan la respuesta de la planta

al fotoperíodo y a la temperatura, y que la longitud de los días puede retrasar la fecha de floración (Pao y Morgan, 1986; Morgan *et al.*, 1987).

La fecha de siembra parece influir en la determinación de la fecha de inicio de la floración. Andrews (1973), observó que en la variedad 'Farafara' la fecha de aparición de la panoja se retrasó 1,2 días por cada semana de retraso en la siembra. También encontró que en la variedad 'Short Kaura', esta fecha se retrasó en 1,8 días por cada semana de retraso en la siembra y que la duración de la fase vegetativa se acortó en 4,7 días. Es probable que a mayor duración del período vegetativo del sorgo en días largos, se requiera un menor número de días cortos como período de incubación para iniciar la diferenciación floral (Doggett, 1988, p. 134).

Parámetros de Crecimiento

El crecimiento y desarrollo son procesos continuos que llevan a una morfogénesis característica de cada especie; ambos procesos están controlados por el genotipo y el medio ambiente. El crecimiento se puede definir como división celular (aumento en el número) y crecimiento celular (aumento en tamaño). También la diferenciación o especialización de las células es parte del crecimiento. Tomados en conjunto, estos procesos llevan a la acumulación de materia seca (Gardner *et al.*, 1985, p. 197).

Los procesos de división, crecimiento y diferenciación, se pueden usar para establecer las principales etapas de crecimiento de la planta. Estas etapas, en cambio, dan un mejor entendimiento del desarrollo de la planta. Eastin (1970), propuso dividir el crecimiento y desarrollo del sorgo en tres etapas, cada etapa corresponde a un evento fenológico distinto:

GS₁: Período desde la siembra hasta la iniciación de la panícula (diferenciación floral). Esta etapa determina el número de panojas formadas.

GS₂: Período desde la iniciación de la panícula hasta la antesis (floración). Esta

etapa determina el número máximo de semillas en cada panícula.

GS₃: Período desde la anthesis hasta la madurez fisiológica. Esta etapa determina el tamaño de la semilla.

La densidad de las plantas influye en el efecto de los otros componentes al establecer el nivel de competencia entre plantas. Al incorporar el factor número de plantas por unidad de superficie con las tres etapas de crecimiento, tenemos los componentes principales del rendimiento:

$$\text{Rendimiento (kg ha}^{-1}\text{)} = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ plantas}}{\text{ha}} \times \frac{\text{N}^{\circ} \text{ panojas}}{\text{planta}} \times \frac{\text{N}^{\circ} \text{ semillas}}{\text{panoja}} \times \frac{\text{mg}}{\text{semilla}}$$

(Densidad) (GS₁) (GS₂) (GS₃)

Los componentes siguen una secuencia morfológica de izquierda a derecha, la interacción depende de cuál órgano se forma primero y tiende a ser compensatoria dependiendo de la disponibilidad de recursos (Adams y Grafius, 1971). El rendimiento es el resultado de la interacción de sus componentes (Grafius, 1959).

En sorgo, no se han descubierto genes para rendimiento *per se*, pero sí para los componentes de rendimiento. Los cuatro loci para madurez (*Ma*₁, *Ma*₂, *Ma*₃, *Ma*₄) actúan durante la GS₁ y determinan el final de esta etapa, lo que ocurre al inicio de la diferenciación floral. En GS₂, los cuatro loci para altura de la planta (*Dw*₁, *Dw*₂, *Dw*₃, *Dw*₄) predominan y determinan la altura de la planta, la cual varía según las condiciones ambientales en que se desarrolle (Quinby, 1974, p. 74). No se ha determinado si la función de estos genes termina o cambia después de la floración.

Un mejor conocimiento de las interrelaciones fisiológicas del maicillo criollo con su medio ambiente, en particular la forma en la que el cultivo de maíz afecta su rendimiento, ayudará a desarrollar variedades mejor adaptadas a sistemas de cultivo intercalado con maíz y por lo tanto a elevar la productividad de los pequeños agricultores de las zonas en las que se cultiva el maicillo.

MATERIALES Y METODOS

El ensayo se realizó en la terraza siete del Departamento de Agronomía de la Escuela Agrícola Panamericana (EAP), El Zamorano, Honduras, en 1989. La EAP se encuentra a una altitud de 805 msnm, 14°00' N, 87°02' O. Durante el ciclo de cultivo, la temperatura promedio fue de 23 °C (Anexo 1) y la precipitación total fue de 776 mm (Anexo 2).

El suelo donde se llevó a cabo el experimento es un Alfisol Franco, perteneciente a la familia mediana sobre fina, mixto isohipertérmico del Vertic Haplustalf, profundo (65 cm), e imperfectamente drenado, aunque presentó permeabilidad moderada en todo el perfil. La topografía es plana o casi plana con pendientes de 2% y con textura media de franca a arcillosa (DEC, 1989).

De acuerdo con los análisis hechos en el Laboratorio de Suelos de la EAP, las características físicoquímicas del suelo donde se sembró el ensayo fueron las siguientes:

Textura	:	Franco	pH	:	5.37(KCl), 6.16(H ₂ O)
Materia Orgánica (%)	:	2.35	Fósforo (ppm)	:	15.35
Nitrógeno (%)	:	0.042	Potasio (ppm)	:	489

Los análisis indican que el suelo es muy bajo en nitrógeno (0.042%), ya que se considera que entre 0.20 y 0.30% es un nivel adecuado. La materia orgánica (2.3%) también presenta un nivel bajo, en tanto que el contenido de fósforo (15 ppm) es mediano y el de potasio (489 ppm) es bastante alto.

La preparación del suelo consistió en un pase de arado y dos de rastra. Luego se procedió a hacer los surcos con espacios de 0.8 m entre sí. La fertilización se realizó al momento de la siembra con 4 g por postura de la formulación comercial 18-46-0, lo cual nos da una equivalencia de 23-25-0 kg NPK ha⁻¹. En el experimento se trató de mantener

un nivel bajo de fertilidad, lo cual es representativo de las fincas en las que se siembra el maicillo, pero se aplicó una dosis baja de fertilizante para evitar el estrés por deficiencia de nutrimentos, no se aplicó potasio porque su concentración en el suelo según el análisis fue alta.

Los sistemas en estudio fueron casado (maíz y sorgo sembrados en la misma postura al mismo tiempo) y cultivo puro, las variedades sembradas (tres de sorgo y una de maíz) fueron las siguientes:

San Bernardo III. Maicillo criollo de la raza integrada *caudatum-durra* que se caracteriza por su porte alto ($Dw_1dw_2Dw_3Dw_4$), madurez tardía, baja productividad, susceptibilidad a *Peronosclerospora sorghi*, resistencia a sequía y adaptación a la siembra intercalada con maíz.

DMV143 6 (TAM428**San Bernardo III*)-23 Fg. Una selección Fg de *San Bernardo III* mejorado mediante una cruce con una variedad de tipo zerazera, TAM428. Esta línea fue desarrollada por el programa de mejoramiento de sorgo SRN-EAP-INTSORMIL, y está siendo probada en fincas. A *San Bernardo III* se le introdujo un gene recesivo neto para cambiar la altura de la planta a intermedia ($dw_1Dw_2Dw_3dw_4$) y resistencia a *Peronosclerospora sorghi*. Esta línea se caracteriza por su alta capacidad de rendimiento, madurez tardía, y plantas de color rojo ($PPq^r q^r$).

Dekalb 64. Híbrido comercial de sorgo de alta producción y porte bajo ($dw_1Dw_2dw_3dw_4$). Este híbrido fue desarrollado para cultivo puro, con tecnología avanzada. Híbridos de este tipo no son sembrados en asocio con maíz.

Maicito. Una variedad de maíz criollo colectado en 1987 en el sur de Honduras, (Tierra Blanca) es muy utilizado por los pequeños agricultores y se caracteriza por la baja altura de sus plantas, precocidad, y resistencia a sequía.

En cultivo puro el sorgo se sembró a una densidad de 75,000 plantas ha⁻¹ y el maíz a una densidad de 50,000 plantas ha⁻¹. Para el sistema casado se sobreimpusieron los dos cultivos en la misma postura para obtener una densidad total de 125,000 plantas ha⁻¹.

El diseño experimental utilizado para el sorgo fue de parcela dividida en bloques completos al azar, con cuatro repeticiones (Little y Hills, 1987). Se utilizó como parcelas principales los sistemas de cultivo y como subparcelas las variedades de sorgo. La superficie de cada parcela principal fue de 96 m² (15 x 6.4 m²), mientras que cada subparcela tuvo una superficie de 16 m² (2.5 x 6.4 m²) y consistió de cinco surcos con 12 posturas cada uno. Se consideró como parcela útil (3.2 m²) las ocho posturas del surco central dejando dos hileras de borde a cada lado y dos posturas al frente y atrás.

La siembra se realizó el 9 de junio de 1989, pero debido a la mala germinación por una costra superficial que inhibió la emergencia de las plantas, se incorporó todo el experimento con rastra, se surcó y se sembró de nuevo. Las parcelas con cultivo puro se sembraron el 31 de Junio, y las parcelas con el sistema casado el 3 de julio de 1989. La siembra se hizo a mano en posturas, dejando una distancia de 0.5 m entre las mismas y 0.8 m entre hileras, se sembró una hilera en cada surco.

Para uniformizar la competencia entre plantas y entre cultivos se realizó un raleo 15 días después de la emergencia de las plantas. Se dejaron dos plantas de maíz y tres de sorgo en cada postura para el sistema casado, tres plantas de sorgo en las parcelas con cultivo puro de sorgo y dos plantas de maíz en las parcelas con cultivo puro de maíz.

Para asegurar un buen establecimiento de la población, se aplicó carbofuran (Furadán 10G) en dosis de 6 kg i.a. ha⁻¹ al momento de la siembra. El producto fue colocado en cada postura antes de cubrir la semilla. Para el control de barrenadores del tallo y del cogollero se hizo una aplicación de methomyl (Lannate 90PS) a razón de 0.7 kg i.a. ha⁻¹, 20 días después de la emergencia de las plantas.

Las parcelas se mantuvieron limpias de malezas durante el ensayo para eliminar la competencia por nutrimentos con el cultivo. Se aplicó atrazina (Gesaprim 80W) en dosis de 3 kg i.a. ha⁻¹ durante la preparación del terreno. El coyolillo (*Cyperus* sp.) se controló antes de la resiembra de las parcelas con aplicaciones dirigidas de glifosato (Roundup CE) a los sitios con malezas, utilizando una dosis de 2.0 l ha⁻¹. Se efectuaron dos deshierbas manuales a los 15 y 31 días posteriores a la emergencia de las plantas; junto con la segunda deshierba se realizó el aporque de todas las parcelas.

Las observaciones realizadas en la parcela útil (Anexos 4 y 5) incluyeron el registro de las etapas fenológicas de diferenciación floral, floración, madurez fisiológica y cosecha, reportadas como días después de siembra (DDS). Los días a diferenciación floral se registraron cuando la panoja en formación era visible al disecar la planta, las plantas del borde se utilizaron para este muestreo destructivo. Los días a floración se registraron cuando el 50% de las panículas llegaron a antesis. Los días a madurez fisiológica se registraron cuando se formó la capa impermeable (*black layer*) en la base de la cariósida.

Para determinar el rendimiento y sus componentes (número de semillas por panoja, número de panojas y tamaño de la semilla) se cosecharon todas las panojas y mazorcas existentes en la parcela útil. El rendimiento de grano trillado por parcela fue ajustado al 14% de humedad. Para obtener el tamaño de la semillas se tomó el peso de 300 semillas para sorgo y de 100 para maíz. El número de granos por panoja/mazorca se calculó en base al tamaño de la semilla y del peso del grano cosechado.

Para evaluar el impacto en la producción por unidad de área de los sistemas de cultivo y de las variedades utilizadas, se utilizó la Razón de Equivalencia de la Tierra (RET) y la Razón de Competencia (RC). La RET se define como el área relativa que se necesita sembrar en cultivo puro, para obtener una producción similar en asoció, utilizando las mismas prácticas agronómicas (Andrews y Kassan, 1976; Mead y Willey, 1980).

La RET se calcula según la fórmula siguiente:

$$RET = R_M + R_S = \frac{Y_M}{S_M} + \frac{Y_S}{S_S}$$

En donde:

R_M = Razón de equivalencia de la tierra de maíz en cultivo puro,

R_S = Razón de equivalencia de la tierra de sorgo en cultivo puro,

C_M = Rendimiento del maíz en casado,

C_S = Rendimiento del sorgo en casado,

P_M = Rendimiento de maíz puro,

P_S = Rendimiento de sorgo puro.

La RC es la proporción de las RET individuales de las dos especies en el asocio, y es una medida del grado de competencia, ya que indica el número de veces que una especie es más competitiva que la otra (Willey y Rao, 1980). También, Willey y Rao (1980) sugieren que la máxima ventaja en el rendimiento se obtiene cuando el balance de la competencia es similar, o la RC = 1.0.

La RC se calcula así:

$$RC = \frac{R_M}{R_S}$$

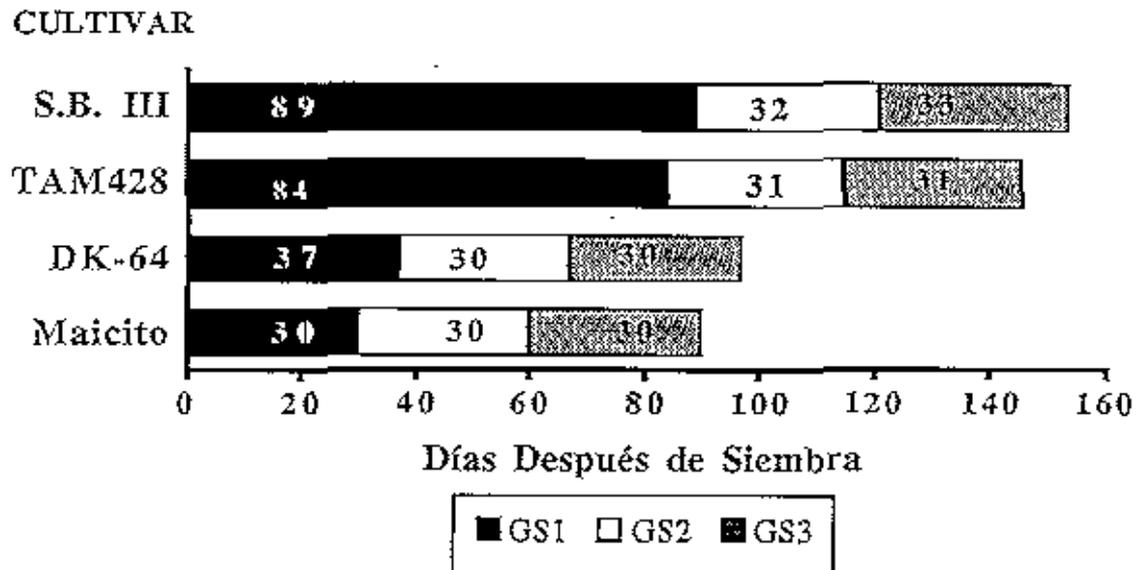
Para los análisis estadísticos se utilizó una microcomputadora IBM PS2-80, y el programa Statistical Analysis System (SAS) Versión 6.03. Para la separación de medias de sorgo en la parcela dividida se utilizó la diferencia mínima significativa (DMS), y para la separación de medias del maíz se utilizó la prueba de Duncan.

RESULTADOS Y DISCUSION

Duración de las Etapas de Crecimiento

La competencia por nutrimentos, agua, y espacio físico afecta la expresión genética de una planta, y por ende su rendimiento. Los componentes del rendimiento, número de panojas por planta, número de semillas por panoja, y tamaño de la semilla, se determinan en etapas fenológicas diferentes (Eastin, 1970). La duración de las tres etapas fenológicas del híbrido DK-64 y del maíz fue sincronizada, mientras que en el maicillo criollo San Bernardo III y en el maicillo enano (TAM428 x San Bernardo III)-23 F₃, la etapa GS₁ (crecimiento vegetativo) cubrió casi todas las etapas fenológicas del maíz, y durante las etapas GS₂ y GS₃ no tuvieron competencia interspecífica (Fig. 1).

Fig. 1. Duración de las etapas fenológicas de los cultivares estudiados, sembrados el 31 de junio de 1989, El Zamorano, F.M., Honduras.



Sorgo

Se encontraron diferencias significativas en la capacidad de rendimiento de los cultivares de sorgo (Cuadro 1). El rendimiento del maicillo enano (TAM428 x San Bernardo III)-23 F₈ en cultivo puro (6.39 t ha⁻¹), fue superior al del maicillo criollo San Bernardo III (3.34 t ha⁻¹), pero comparable al del híbrido DK-64 (4.54 t ha⁻¹) (Cuadro 2). El rendimiento superior de (TAM428 x San Bernardo III)-23 F₈ se debe al mejoramiento y a la selección que se ha hecho en este cultivar, y da una idea del potencial que tienen los maicillos mejorados, llamados también maicillos enanos, para aumentar el rendimiento del sorgo en Honduras.

En general, el sistema casado redujo significativamente el rendimiento de sorgo (Cuadro 1). Además, se encontró interacción significativa entre los sistemas de cultivo y los cultivares de sorgo para los componentes de rendimiento: número de panojas (GS₁), número de semillas (GS₂) y peso de la semilla (GS₃) (Cuadro 1). Estas interacciones indican que la competencia con maíz afectó en diferente forma a los cultivares de sorgo.

No se pudo detectar un efecto significativo del cultivo casado en el maicillo criollo San Bernardo III para el rendimiento o sus componentes. Este resultado confirma las observaciones de que las poblaciones criollas producen rendimientos bajos pero estables, y concuerdan con las características descritas por Harlan (1975) para las poblaciones nativas denominadas "*landraces*". El maicillo criollo, además muestra, al mantener estable su rendimiento en los dos sistemas de cultivo, que tiene un alto grado de adaptación al cultivo en asocio con maíz.

El cultivo del maicillo mejorado en casado disminuyó significativamente su rendimiento (38%). Esta reducción fue debida a la competencia con el maíz en GS₁, cuyo efecto fue reducir el número de panojas por parcela. El desarrollo de la etapa GS₃ sin la competencia con el maíz, permitió al maicillo mejorado compensar la competencia durante

Cuadro 1. Cuadrados medios para el rendimiento y sus componentes en sorgo.

Fuente de Variación	gl	Rendimiento	Número de Panfúculas	Semillas/Panfúcula	Tamaño de Semilla
Bloques	3	0.383	10.93	45983	6.522*
Sistemas (S)	1	24.458**	126.04*	4671849**	2.898
Error (a)	3	1.068	16.37	485044	3.953
Cultivar (C)	2	12.247**	60.12*	2071273*	32.136**
S x C	2	2.962	63.29*	2451578*	14.806*
Error (b)	12	1.604	17.31	486723	1.682
C.V. (%)		33.7	17.2	32.2	5.6

*,** Significativo al 0.05 y 0.01 nivel de probabilidad, respectivamente.

Cuadro 2. Interacción entre sistemas de cultivo y cultivares de sorgo para el rendimiento y sus componentes.

Cultivar	gl	Rendimiento		Panojas/Parcela		Semillas/Panoja		Tamaño Semilla	
		Puro	Casado	Puro	Casado	Puro	Casado	Puro	Casado
		(t/ha)		(n)		(n)		(mg)	
TAM428* SB III	2	6.39a [†]	3.96b	31a	21c	3083a	2409abc	21.7c	24.4ab
San Bernardo III	2	3.34bc	2.69bc	28ab	23bc	1752cd	1858cd	22.4bc	20.0c
DK-64	2	4.54ab	1.56c	21c	22bc	2980ab	901d	24.3ab	26.1a

[†]Medias seguidas por la misma letra dentro del rendimiento o sus componentes, no son diferentes significativamente, según la prueba DMS al nivel de probabilidad 0.05.

la etapa vegetativa con un mayor llenado de grano, el que aumentó en un 13% (de 21.7 a 24.4 mg semilla⁻¹). Esta capacidad no fue observada en el maicillo criollo y este mayor tamaño de la semilla indica que el maicillo mejorado tuvo una mejor translocación de fotosintatos y nutrimentos hacia el grano que el maicillo criollo ya que el número de semillas por panícula en los dos cultivares fue comparable. Además, el mayor tamaño de semilla incrementa la utilidad de los maicillos mejorados para la elaboración de tortillas (Gómez, 1986).

Se observa que el mayor rendimiento del maicillo enano en cultivo puro se debió a que tuvo un mayor número de semillas por panoja (GS₂). Esto concuerda con otros informes, que indican que el aumento en los rendimientos de los sorgos híbridos en general, se debe al incremento en el número de semillas por panoja (Miller y Kebede, 1984; Quinby, 1963). También, este resultado indica que los maicillos mejorados tienen un potencial muy alto de rendimiento y es muy posible que, al usar estos materiales para hacer híbridos, se llegue a sobrepasar en rendimiento a los híbridos convencionales.

El mayor efecto del sistema de cultivo casado en el rendimiento se observó en el híbrido DK-64, cuyo rendimiento fue 66% menor que en cultivo puro. Este resultado demuestra que los sorgos precoces, cuyas etapas fisiológicas coinciden con las del maíz, no se adaptan al sistema casado. Esto explica en parte el porqué los híbridos comerciales no son favorecidos para siembras en asocio.

El análisis de los componentes de rendimiento de DK-64, nos indica que el sistema casado redujo el rendimiento de DK-64 principalmente por su efecto adverso en el número de semillas formadas. Esta reducción indica que la competencia con el maíz afectó negativamente el desarrollo del híbrido durante la etapa GS₂ cuando la demanda máxima del maíz y del sorgo por nutrimentos se presentó al mismo tiempo. Siendo que DK-64 por lo general tiene una panícula por planta, no se esperaba que el cultivo casado afectase mucho

el número de panojas formadas (GS_1). En contraste con el maicillo enano, el híbrido DK-64 no pudo compensar la deficiencia en el número de semillas por panoja con un mayor tamaño de la semilla debido a que la competencia con el maíz también persistió durante esta etapa. Los dos maicillos no presentaron diferencias significativas en el número de semillas por panoja, en tanto que el híbrido DK-64 tuvo una buena reducción en el número de semillas por panoja al ser sembrado en asocio con maíz.

Los rendimientos en el sistema casado del maicillo enano (TAM428 x San Bernardo III)-23 F₃ (3.96 t ha^{-1}), del híbrido DK-64 (1.56 t ha^{-1}), y del maicillo criollo San Bernardo III (2.69 t ha^{-1}) fueron estadísticamente comparables. Aunque esta diferencia en el rendimiento entre el maicillo mejorado y el maicillo criollo no fue significativa en casado, el rendimiento superior del maicillo enano en cultivo puro muestra su mayor capacidad de rendimiento y demuestra que es la mejor variedad para ser usada en cultivo puro. Además el maicillo enano es una buena alternativa para el cultivo en casado debido a su alta capacidad de rendimiento que sugiere que si hay muerte de plantas de maíz en el cultivo en asocio, el maicillo enano aprovechará en mejor forma la disminución de la competencia, para producir más grano que el maicillo criollo.

Los resultados indican que el sembrar maicillos mejorados, tanto en cultivo puro como en el sistema casado, es una alternativa viable para aumentar la productividad de los pequeños agricultores que siembran maicillo y maíz. Aunque no se pudo comprobar que exista una ventaja competitiva del maicillo mejorado en casado, los resultados indican que el maicillo mejorado tuvo un rendimiento comparable al del maicillo criollo y sugiere que se necesita un poco más de mejoramiento para que esta variedad pueda superar a su padre criollo en el sistema de cultivo casado.

Maíz

El sistema casado también redujo significativamente el rendimiento del maíz (Cuadro 3). El Maicito rindió 3,96 t ha⁻¹ en cultivo puro, mientras que la siembra en casado redujo su rendimiento entre 2,41 a 2,81 t ha⁻¹ (Cuadro 4). Aunque el maíz tuvo la tendencia de rendir más con los sorgos de menor altura, no se pudo comprobar que este efecto sea significativo.

El análisis de los componentes de rendimiento indica que la razón para la reducción en rendimiento del maíz en el sistema casado varió según el tipo de sorgo con el que se sembró (Cuadro 4). Aunque el rendimiento de Maicito disminuyó cuando se sembró casado con San Bernardo III, ninguno de sus componentes se redujo significativamente. Esto sugiere que la competencia del maicillo fue moderada pero persistente durante las tres etapas de crecimiento del maíz. Esta competencia se puede explicar en base a que el maicillo criollo no cambió su etapa de crecimiento ni su demanda de nutrientes (supuestamente) durante las tres etapas de crecimiento del maíz.

El maíz tuvo mayor competencia con el maicillo mejorado que con el maicillo criollo durante la etapa GS₁, lo que redujo el número de mazorcas. Sin embargo el maíz compensó esta reducción en el número de mazorcas con el desarrollo de un grano más pesado que el de las parcelas sembradas con el maicillo criollo (Cuadro 4).

La competencia con DK-64, que tuvo sus etapas de crecimiento sincronizadas con las de Maicito, fue fuerte durante la etapa GS₂, ya que fue el único sorgo que logró reducir significativamente el número de semillas por mazorca. Este aumento en la competencia por parte del DK-64 se explica por la demanda por nutrientes en el sorgo que alcanza su máximo durante la etapa GS₂ (Vanderlip, 1979). Sin embargo el maíz compensó la reducción en el número de semillas por mazorca con un aumento significativo en el tamaño de la semilla. Ambos cultivares, DK-64 y Maicito fueron más afectados durante GS₂.

Cuadro 3. Cuadrados medios para el rendimiento y sus componentes en maíz.

Fuente de Variación	gl	Rendimiento (t/ha)	Número de Mazorcas	Semillas/Mazorca	Tamaño de Semilla
Bloques	3	0.292	2.16	5645	49.08
Cultivar (C)	3	1.963*	30.16*	16801	180.30*
Error	9	0.436	10.22	5747	29.66
C.V. (%)		22.7	16.6	11.4	5.5

* Significativo al nivel de probabilidad 0.05.

Cuadro 4. Separación de medias del rendimiento de maíz y sus componentes.

Variedad en Asocio	gl	Rendimiento (t/ha)	Número de Mazorcas (n)	Semillas/ Mazorca (n)	Tamaño de Semilla (mg)
Cultivo puro	4	3.92 ^{af}	20 ^a	659 ^a	95.8 ^{bc}
DK-64	4	2.81 ^b	17 ^{ab}	501 ^b	107.3 ^a
TAM428*S.B.III	4	2.47 ^b	14 ^b	590 ^{ab}	100.5 ^{ab}
S.B.III	4	2.41 ^b	15 ^{ab}	575 ^{ab}	91.6 ^c

† Letras diferentes en la misma columna denotan diferencias significativas al nivel de probabilidad 0.05, según la prueba de Duncan.

En contraste con el sorgo, el componente que más ha contribuido en el aumento en rendimiento de los maíces híbridos desarrollados en los Estados Unidos ha sido el tamaño de la semilla y no el número de semillas por mazorca, (Duvick, 1984). También, nuestros resultados indican que el tamaño de grano fue el componente que más compensó el efecto de la competencia en el rendimiento de Maicito. Al parecer, los fitomejoradores que desarrollan maíces para sistemas intercalados con sorgo deben maximizar sus esfuerzos para aumentar el tamaño de la semilla.

Razón de Equivalencia de la Tierra

La razón de equivalencia de la tierra (RET) es una medida de la productividad de dos o más especies en asocio. Mientras mayor sea el número de la RET, es más eficiente el comportamiento de dichas especies en el sistema. La mayor RET en este estudio (1.42) se obtuvo con el maicillo criollo San Bernardo III (Cuadro 5), seguido por el maicillo enano (TAM428*S.B.III)-23 Fg (1.25) y el híbrido comercial DK-64 (1.06). Sin embargo, esto no quiere decir que el sistema de San Bernardo III casado con Maicito es el más productivo, sino solamente que estos dos cultivares son un 42% más productivos cuando se siembran en casado, que cada uno en cultivo puro. La producción total de San Bernardo III y Maicito en casado fue de 5.1 t ha⁻¹, en comparación (TAM428*S.B.III)-23 Fg y Maicito tuvieron una producción total de 6.43 t ha⁻¹ que es mayor que la del maicillo criollo, aunque su RET es menor.

La alta RET de San Bernardo III nos explica el porqué los agricultores que siembran maicillo en América Central utilizan sistemas de cultivo intercalado de maíces indígenas. Al sembrar variedades criollas en cultivo puro, los rendimientos son bajos; en cambio, debido a su estabilidad en mantener el rendimiento en asocio, la siembra intercalada es la forma más eficiente de uso de la tierra para dichas variedades criollas.

Cuadro 5. Razones de equivalencia de la tierra (RET) y razones de competencia (RC) para el sorgo y el maíz.

Cultivar	Sorgo			Maíz			RET	RC
	Casado	Puro	R_s	Casado	Puro	R_M		
	t ha ⁻¹	t ha ⁻¹		t ha ⁻¹	t ha ⁻¹			
San Bernardo III	2.69	3.34	0.81	2.41	3.92	0.61	1.42	1.32
TAM428*S.B.III	3.96	6.39	0.62	2.47	3.92	0.63	1.25	0.98
DK-64	1.56	4.54	0.34	2.81	3.92	0.71	1.06	0.47

El objetivo de sembrar un sorgo híbrido es maximizar la producción de grano. El 66% de reducción en rendimiento de DK-64 en el sistema casado, junto con una RET de 1.06 nos indica que no hay ninguna ventaja al sembrar este híbrido en casado; y que para justificar la compra de semilla híbrida hay que sembrarla en cultivo puro. Este resultado no quiere decir que no se debe sembrar híbridos en sistemas intercalados, sino sólo aquellos que tengan etapas de crecimiento sincronizadas con las del maíz. Es muy probable que un híbrido fotosensitivo que tenga una etapa de crecimiento comparable a la de los maicillos criollos podría ser utilizado para obtener mayores rendimientos en el sistema.

La máxima ventaja en rendimiento de los cultivos en asocio ocurre cuando el balance de la competencia entre las dos especies es similar (Willey y Rao, 1980). El maicillo criollo San Bernardo III tuvo una razón de competencia (RC) de 1.32 o sea, fue un 32% más competitivo que el maíz. Esta ventaja en la competencia le permitió al maicillo criollo mantener estable su rendimiento (Cuadro 2), pero redujo el rendimiento del maíz (Cuadro 4). El maicillo enano, (TAM 428 x S.B. III)-23 Fg, tuvo una RC de 0.98; es decir, el maíz y el maicillo mejorado fueron igualmente competitivos. Aunque (TAM 428 x S.B. III)-23 Fg y Maicito sufrieron una reducción del rendimiento en casado (Cuadro 5), su rendimiento combinado fue un 20% mayor que con el maicillo criollo y 32% mejor que con el híbrido DK-64. El híbrido DK-64 tuvo una RC de 0.47, lo que indica que el Maicito fue 53% más competitivo que DK-64 (Cuadro 5). Esta desventaja de DK-64 se manifiesta en la reducción significativa en el rendimiento de este híbrido (Cuadro 2).

CONCLUSIONES

El maicillo criollo San Bernardo III tuvo un rendimiento bajo pero estable en los dos sistemas, cultivo puro y casado. La siembra de San Bernardo III con el maíz criollo Maicito en casado aumentó la productividad de la tierra con estas variedades en un 42%. Este aumento en la productividad, junto con los rendimientos bajos pero estables, explica en parte el porqué las variedades criollas tradicionalmente se siembran en asocio.

El maicillo mejorado (TAM428 x San Bernardo III)-23 F₈ tuvo el mayor potencial de rendimiento en cultivo puro, pero al ser sembrado casado con maíz, redujo su rendimiento a un nivel comparable al del maicillo criollo. Tomando en cuenta la situación de los pequeños agricultores que siembran sorgo en asocio y/o cultivo puro, el maicillo mejorado (TAM428 x San Bernardo III)-23 F₈ ofrece mayor flexibilidad al agricultor para maximizar los rendimientos en ambos sistemas usando la misma variedad.

No se encuentra ventaja al sembrar en el sistema casado variedades de maíz y sorgo cuyas etapas de crecimiento estén sincronizadas, como fue el caso de DK-64 y Maicito. El rendimiento de DK-64 en casado, se redujo significativamente (66%) como resultado de la competencia con el maíz. Tampoco se pudo comprobar que al usar sorgos de baja altura en el cultivo casado aumente el rendimiento del maíz.

Tanto las RET como las RC muestran que el cultivo en asocio favorece la combinación de especies cuyas etapas de crecimiento no coinciden. En este estudio, un maíz precoz sembrado con un sorgo tardío (fotosensitivo) dio el mejor resultado en casado. El maicillo mejorado tuvo una RC comparable a la del maíz y dio el mayor rendimiento total de maíz y maicillo.

RECOMENDACIONES

El sistema casado hace uso eficiente de la tierra cuando se usan variedades criollas tradicionales. Sin embargo, los rendimientos que se obtienen son bajos. Para incrementar estos rendimientos, los programas de mejoramiento se deben enfocar en aumentar la capacidad de producción de las variedades bajo condiciones de cultivo en asocio; y posteriormente liberar y promover el uso de estas variedades criollas mejoradas entre los pequeños agricultores para aumentar sus ingresos e intensificar el uso de la tierra.

Los híbridos convencionales de sorgo reducen significativamente su rendimiento cuando se siembran en asocio con maíz. Estos híbridos producen el mayor retorno a la inversión cuando se siembran en cultivo puro y con tecnología avanzada, por lo que deben ser utilizados por aquellos agricultores que posean grandes extensiones de terreno, y suficiente capital para adquirir insumos.

Los programas de mejoramiento de maíz deben desarrollar cultivares que aumenten su rendimiento en casado por medio del aumento del tamaño de grano en lugar de aumentar el número de granos por mazorca o de hileras por mazorca.

LITERATURA CITADA

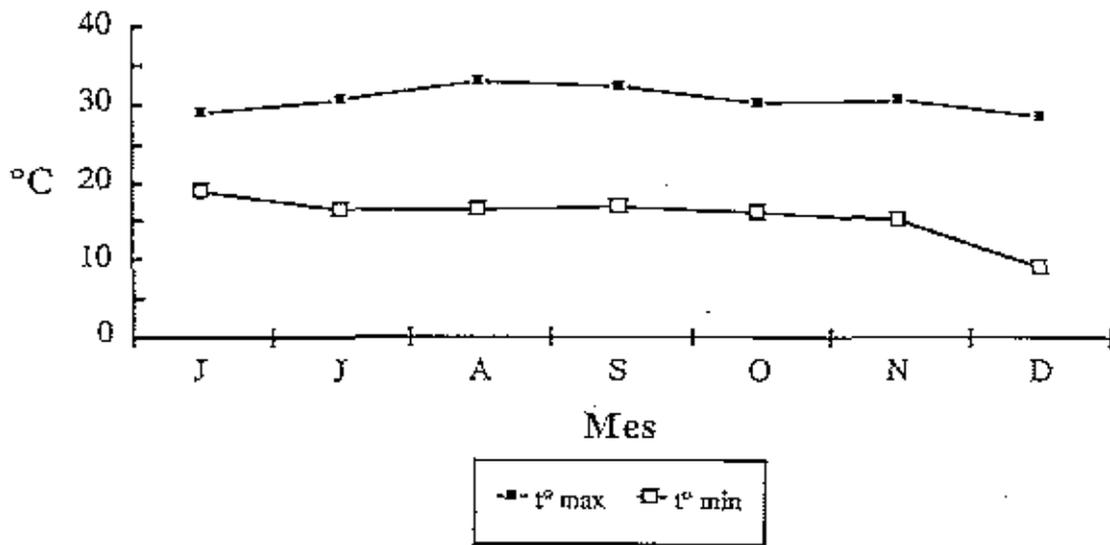
- ADAMS, M.W. y J.E. Grafius. 1971. Yield components compensation--Alternative interpretations. *Crop. Sci.* 11:33-35.
- AGUIRRE, J.A. y G. Tablada. 1988. Macroanálisis de la producción de granos básicos en Honduras 1976 - 1987. *Publ. Misc.* 4. IICA, Tegucigalpa, Honduras.
- ANDREWS, D.J. 1973. Effects of date of sowing on photosensitive nigerian sorghums. *Expl. Agric.* 9:337-346.
- ANDREWS, D.J. y A.H. Kassan. 1976. The importance of multiple cropping in increasing world supplies. p. 1-10 *En* R.I. Pappendick *et al.*, (ed.) Multiple Cropping Symposium. *Spec. Publ.* 27. ASA CSSA y SSSA, Madison, WI.
- ARIAS, F.R. y R.N. Gallaher. 1987. Maize-sorghum farming systems in Central America: Situational analysis. *J. Agron. Educ.* 16:5-11.
- DIRECCION EJECUTIVA DEL CATASTRO. 1989. Estudio de suelos a semidetalle del valle El Zamorano. Secretaría de Planif. Coord. y Presup. Tegucigalpa, Honduras.
- DOGGETT, H. 1988. *Sorghum*. 2a Ed. Longman, England.
- DUVICK, D.N. 1984. Genetic contributions to yield gains in U.S. hybrid maize, 1930 to 1980. p. 15-48. *En* W.R. Fehr (ed.) Genetic contributions to yield gains of five major crop plants. *CSSA Spec. Publ.* 7, Madison, WI.
- EASTIN, J.D. 1970. Photosynthesis and translocation in relation to plant development. p 214-225. *En* N.G.P Rao y L.R House (ed.) *Sorghum in the Seventies*. Oxford & IBH., New Delhi, India.
- ESCALADA, R.G. y D.L. Plucknett. 1975. Rawon cropping of sorghum: I. Origin, time of appearance, and fate of tillers. *Agron. J.* 67:473-478.
- FERNANDEZ, L.D. y D.H. Meckenstock. 1987. Virulencia de *Peronosclerospora sorghii* en Honduras. *Ceiba* 28:79-100.
- GARDNER, F.P., R.B. Pearce y R.L. Mitchell. 1985. *Physiology of crop plants*. Iowa Univ. Press, Ames, IW.
- GOLDSWORTHY, P.R. 1970a. The sources of assimilate for grain development in tall and short sorghum. *J. Agric. Sci., Camb.* 74:523-531.
- GOLDSWORTHY, P.R. 1970b. The canopy structure of tall and short sorghum. *J. Agric. Sci., Camb.* 75:123-131.

- GOMEZ, F.A. 1986. Agronomic grain and food quality evaluation of 14 sorghum food type genotypes for combining ability, heterosis, environmental and genetic effects in A-line X tester analysis. Ph. D. Diss. Texas A&M Univ., College Station., TX.
- GRAFIUS, J.E. 1959. Heterosis in barley. *Agron. J.* 51:551-555.
- HARLAN, J.R. 1975. *Crops and Man*. ASA y CSSA, Madison, WI.
- HAWKINS, R. 1984. Intercropping maize with sorghum in Central America: A cropping system case study. *Agric. Sys.* 15:1-19.
- ISBELL, V.R. y P.W. Morgan. 1982. Manipulation of apical dominance in sorghum with growth regulators. *Crop Sci.* 22:30-35.
- LITTLE, T.M. y F.J. Hills. 1987. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. Trillas, México D.F., México.
- MEAD, R. y R.W. Willey. 1980. The concept of a 'Land Equivalent Ratio' and advantages in yields from intercropping. *Expl. Agric.* 16:217-228
- MECKENSTOCK, D.H., G.C. Wall y R. Nolasco. 1985. Aspectos de mejoramiento genético en la investigación sobre sistemas de cultivos en Honduras, p. 68-75. *En* C.L. Paul y B.R. DeWalt (ed). El sorgo en sistemas de producción en América Latina. Proc. Taller INTSORMIL, ICRISAT y FSSP, El Batán, México. 16-22 Sept. 1984. INTSORMIL, México D.F., México.
- MECKENSTOCK, D.H. y F. Gómez. 1987. Sorghum improvement in Honduras and Central America, p. 128-139. *En* INTSORMIL Annual Report 1987, Univ. of Nebraska, Lincoln, NE.
- MILLER, F.R. y Y. Kebede. 1984. Genetic contribution to yield gains in sorghum, 1950 to 1980, p. 1-14. *En* W.R. Fehr (ed.) Genetic contributions to yield gains of five major crop plants. CSSA Spec. Publ. 7, Madison, WI.
- MONGE-VILLALOBOS, L.A. 1989. Los cultivos básicos. 2a ed. San José, Costa Rica.
- MORGAN P.G., L.W. Guy y C. Pao. 1987. Genetic regulation of development in *Sorghum bicolor*: III. Asynchrony of thermoperiods with photoperiods promotes floral initiation. *Plant Physiol.* 83: 448-450.
- PAO, C.I. y P.G. Morgan. 1986. Genetic regulation of development in *Sorghum bicolor*: II. Effect of the ma_3^r allele mimicked by GA_3 . *Plant Physiol.* 82:581-584.
- PEACOCK, J.M. y J.L. Wilson. 1984. Sorghum, p. 249-269 *En* P. R. Goldsworthy y N. M. Fisher (ed.) The physiology of tropical field crops. Wiley & Sons, N.Y.
- QUINBY, J.R. 1963. Manifestations of hybrid vigor in sorghum. *Crop Sci.* 3:288-291.

- QUINBY, J.R. 1974. Sorghum Improvement and the Genetics of Growth. Texas A & M Press, College Station, TX.
- ROSENOW, D.T. 1988. The maicillos criollos: A global perspective. *Ceiba* 29: 14.
- SAUER, J. 1954. Notes on sorghum in Guatemala. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 41:220-221.
- SCHERTZ, K.F. 1979. Biology of sorghum. p. 124-125. *En* M.K. Harris (ed.) Biology and breeding for resistance to arthropods and pathogens in agricultural plants. Proc. Short Course in Host Plant Resistance. College Station, TX, 22 July-4 Aug. 1979. Texas A & M Univ., College Station, TX.
- SORRELLS, M.E. y O. Myers. 1982. Duration of developmental stages of 10 Milo maturity genotypes. *Crop. Sci.* 22:310-314.
- THOMPSON, K.S., K.M. DeWalt y B.R. DeWalt. 1985. Household food use in three rural communities in southern Honduras. Tech. Rep. 2. Univ. of Kentucky, Lexington, KY.
- TORCHELLI, J.C. y M. Narváez. 1980. Los granos básicos en su aspecto económico. p. 55. SRN-Centro de Documentación e Información Agrícola, Tegucigalpa, Honduras.
- VALLEJO, A.R. 1889. Primer Anuario Estadístico. Vol. 1. Biblioteca Nacional, Tegucigalpa, Honduras.
- VANDERLIP, R.L. 1979. How a sorghum plant develops. Tech. Bull. S-3, Noviembre 1979, Coop. Ext. Service, Kansas State University, Manhattan. KS.
- WILLEY, R.W. y M.R. Rao. 1980. A competitive ratio for quantifying competition between intercrops. *Expl. Agric.* 16:117-125.
- WRIGHT, S.A., W.R. Jordan, P.W. Morgan and F.R. Miller. 1983. Genetic and hormonal control of shoot and root growth in sorghum. *Agron. J.* 75:682-686.

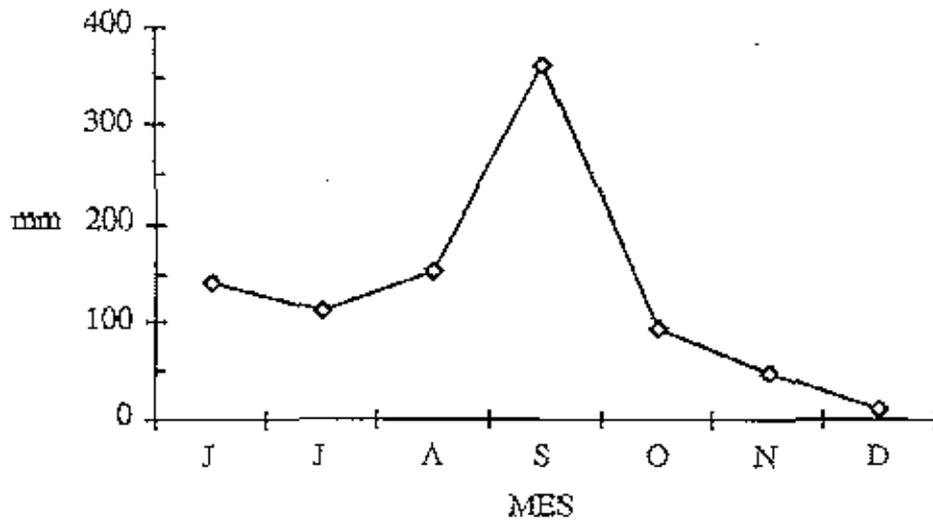
ANEXOS

Anexo 1. Temperaturas máximas y mínimas durante el ciclo de cultivo. El Zamorano, F.M., Honduras, 1989



	J	A	S	O	N	D	Media
°C max.	30.6	32.9	32.2	30.2	30.6	28.6	30.8
°C min.	16.5	16.5	16.7	16.3	15	9	15

Anexo 2. Precipitación durante el ciclo de cultivo. El Zamorano, R.M.,
Honduras, 1989



	J	A	S	O	N	D	Total
PPT mm	110.9	150.8	360.2	94.4	47.7	11.5	775.5

Anexo 3. Croquis del Ensayo

IV	S1	406 V2	405 V1	404 V3	2.5 m
	S2	401 V1	402 V2	403 V3	2.5 m
III	S2	306 V1	305 V2	304 V3	2.5 m
	S1	301 V1	302 V3	303 V2	2.5 m
II	S1	206 V1	205 V3	204 V2	2.5 m
	S2	201 V3	202 V1	203 V2	2.5 m
I	S2	106 V3	105 V2	104 V1	2.5 m
	S1	101 V1	102 V2	103 V3	2.5 m
		6.4 m	6.4 m	6.4 m	

Anexo 4. Datos tomados en sorgo.

Parcela	Sis†	Var‡	Número panojas	Número posturas	Peso panojas (g)	Peso grano (g)	Peso 300 granos	Humedad (%)
101	P	1	31	8	2574	1379	5.8	15.50
102	P	2	28	8	3621	2175	5.1	13.01
103	P	3	27	8	2270	1452	6.7	13.34
104	C	1	30	8	2561	1189	5.7	12.46
105	C	2	18	8	1470	696	7.4	12.90
106	C	3	17	8	681	383	7.2	12.79
201	C	3	20	8	999	587	7.8	13.67
202	C	1	22	8	1837	810	6.9	13.12
203	C	2	18	8	1480	649	7.5	12.90
204	P	2	32	8	3624	2397	6.4	13.24
205	P	3	18	8	1907	1381	7.3	13.78
206	P	1	23	8	1600	806	7.2	13.45
301	P	1	27	8	2174	1047	6.9	13.01
302	P	3	16	8	1816	1238	7.5	13.56
303	P	2	30	8	2759	1730	6.4	13.16
304	C	3	26	8	908	563	8.3	13.78
305	C	2	25	8	2610	1500	7.0	12.90
306	C	1	22	8	1835	837	5.6	13.01
401	C	1	18	8	1421	563	5.5	12.90
402	C	2	23	8	2221	2176	7.0	13.34
403	C	3	23	8	681	456	7.9	13.78
404	P	3	21	8	2270	1713	7.5	13.56
405	P	1	29	8	2216	1041	6.9	13.01
406	P	2	35	8	2962	1796	7.1	13.10

† P = Cultivo Puro, C = Casado

‡ 1 = San Bernardo III, 2 = (TAM428*S.B. III)-23 Fg, 3 = DK64

Anexo 5. Datos tomados en maíz.

Parcela	Sist†	Var‡	Número mazorcas	Número posturas	Peso mazorcas (g)	Peso grano (g)	Peso 100 granos	Humedad (%)
104	C	1	16	8	899	676	24	13.05
105	C	2	11	8	867	653	30	13.80
106	C	3	20	8	2520	1769	32	14.05
107	P	4	16	8	1300	1080	28	12.99
201	C	3	17	8	1210	980	32	13.26
202	C	1	14	8	933	710	28	12.88
203	C	2	18	8	1177	1045	29	13.50
207	P	4	18	8	1120	965	30	14.02
304	C	1	16	8	1080	845	31	13.89
305	C	3	14	8	1045	923	31	12.99
306	C	2	12	8	927	683	32	13.50
307	P	4	20	8	1611	1410	29	13.20
401	C	1	13	8	910	838	26	12.99
402	C	2	13	8	956	793	29	13.64
403	C	3	17	8	1120	840	33	13.68
407	P	4	25	8	2181	1860	27	12.88

† P = Cultivo Puro, C = Cansado

‡ Variedad en ascocio: 1 = San Bernardo III, 2 = (TAM428*S.B. III)-23 Fg, 3 = DK64, 4 = Maicito

DATOS BIOGRAFICOS

Nombre: Patricio Fernando Gutiérrez Carvajal.
Fecha de Nacimiento: Marzo 1, 1966.
Lugar de Nacimiento: Quito, Ecuador.
Estado Civil: Soltero
Dirección: P. O. Box 6402 C.C.I.
Quito, Ecuador

EDUCACION:

Enero 9 - Abril 28, 1989 Spring term Univ. of Florida (Major: Agricultural Operations Management), Gainesville, Florida.

Diciembre, 1987 Agrónomo, Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras.

1977-1983 Educación Secundaria, Cardenal Francis Spellman School, Quito, Ecuador.

1971-1977 Educación Primaria, Cardenal Francis Spellman School, Quito, Ecuador