

ESTUDIOS FISIOTECNICOS DE SORGO REALIZADOS EN EL COLEGIO DE POSTGRADUADOS (MEXICO)¹

Leopoldo E. Mendoza Onofre²

RESUMEN

Utilizando al cultivo del sorgo como ejemplo, se presentan resultados de algunas investigaciones fisiotécnicas realizadas en el Colegio de Postgraduados, en las que se enfatiza la necesidad de emplear caracteres fisiológicos, anatómicos y morfológicos como criterios de selección y evaluación de cultivares, para aumentar la eficiencia de los programas de fitomejoramiento, lo cual requiere la formación de equipos interdisciplinarios de trabajo.

Se presenta una metodología rápida, barata e indirecta para seleccionar genotipos de sorgo con bajo contenido de taninos y que correlaciona ($r = 0.92^{**}$ y $r = 0.89^{**}$) con los métodos químicos de vanilina-HCl y azul de Prusia, respectivamente.

En evaluaciones simultáneas de híbridos de sorgo con sus respectivos progenitores, los resultados preliminares obtenidos mediante análisis de crecimiento y desarrollo apoyan la hipótesis de que el comportamiento de los híbridos depende más del comportamiento del progenitor hembra que del macho.

¹ Este artículo constituye parte de la ponencia presentada por el autor en la XXVII Reunión Anual del PCCMCA, Sto. Domingo, República Dominicana, 23-27 marzo de 1981.

² Profesor-Investigador del Centro de Genética, Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.

SUMMARY

The purpose of this paper is to present some of the results obtained in crop physiology research at the Graduate College, using sorghum as an example. These results emphasize the need for the use of physiological, anatomical and morphological characters, as criteria for the selection and evaluation, in order to attain increased efficiency in breeding. This requires by necessity a multidisciplinary approach.

A fast, inexpensive and indirect method is presented for the identification of low-tannin grain sorghum genotypes, which correlates well ($r = 0.92^{**}$, and $r = 0.89^{**}$) with the vanillin-HCl and prussian blue test, respectively.

Preliminary results of growth analyses of sorghum hybrids and their parental lines grown together in evaluation trials, seem to support the notion that hybrid's performance relates more to that of the female than to the male parent.

INTRODUCCION

Durante el desarrollo y crecimiento de un cultivar existen un sinnúmero de reacciones bioquímicas cuya expresión es determinada por factores genéticos y modificada por los factores ambientales, algunos de los cuales pueden ser manipulados por el hombre a través de las prácticas culturales. En el Cuadro 1 se señala que las reacciones genético-bioquímicas se integran en características fisiológicas, morfológicas

y anatómicas (Ortiz *et al.*, 1979a); entre las características fisiológicas se encuentran la fotosíntesis, la respiración, la absorción, el transporte de agua y minerales, la movilización de fotosintetizados, el desarrollo y el crecimiento foliar, la respuesta a la temperatura, la floración y otras; entre las características morfológicas destacan el número de estructuras reproductivas, de fitómeros, el tamaño de mazorca o panoja, el número, tamaño y disposición de las hojas y la ubicación de órganos fotosintéticos no laminares; y entre las anatómicas no cabe duda que el número, posición y área de estomas, haces vasculares y tejidos de sostén tienen influencia en el rendimiento (Ozbun, 1976). Es así que el nivel de expresión de estas características y de sus interrelaciones, convergen en tres que son fundamentales:

a) la porción del rendimiento total que es de interés del productor (rendimiento económico); b) la acumulación neta de fotosintetizados (rendimiento biológico) y c) la proporción (índice de cosecha) de productos fotosintetizados acumulados en los órganos de importancia económica con respecto al rendimiento biológico (Donald y Hamblin, 1976).

Los genotipos vegetales difieren en la expresión de sus características morfológicas, anatómicas y fisiológicas y, por tanto, en su potencial de rendimiento económico lo que indica la existencia de numerosas combinaciones genético-bioquímicas; las combinaciones que producen rendimientos bajos o intermedios son las que ocurren con mayor frecuencia, por lo que el mejoramiento genético hacia cultivares con

alto rendimiento económico normalmente es un proceso lento y difícil (Ozbun, 1976).

Cuadro 1. Algunas características fisiológicas, morfológicas y anatómicas que intervienen en la producción y eficiencia del rendimiento económico

FISIOLÓGICAS:

Fotosíntesis
Respiración
Absorción y transporte de agua
(y minerales)
Movilización de fotosintetiza-
(dos)
Desarrollo y crecimiento foliar
Iniciación floral, antesis y
(madurez fisiológica)

MORFOLOGICAS:

Número de estructuras reproduc-
(tivas)
Número y forma de fitómeros
Tamaño de mazorca, panoja o
(fruto)
Número, tamaño y disposición
(de hojas)

Organos fotosintéticos no lami-
(nares)

ANATOMICAS:

Número, posición y área de es-
tomas, haces vasculares y teji-
dos de sostén

I) Acumulación neta de
productos fotosinté-
ticos
(RENDIMIENTO BIOLÓGICO)

II) Acumulación de fotosin-
tetizados en órganos de
importancia antropocén-
trica
(RENDIMIENTO ECONÓMICO)

III) Proporción entre el ren-
dimiento económico y el
biológico
(ÍNDICE DE COSECHA)

En la actualidad, el limitado conocimiento que se tiene de la fisiología del rendimiento deja al fitomejorador casi totalmente dependiente de la recombinación aleatoria de los genes favorables así como de los procesos genético-bioquímicos involucrados. La eficiencia del fitomejorador hacia la obtención de cultivares más rendidores sería mayor si se tuviera un mejor entendimiento de los componentes fisiológicos que originan al rendimiento económico y no sólo de los caracteres que los fitomejoradores tradicionalmente han considerado como base para la selección de genotipos, ya que el rendimiento de grano no siempre es el mejor criterio para seleccionar a los genotipos más eficientes (Mendoza y Ortiz, 1972; Ortiz *et al.*, 1979b; Osuna, 1980). Además, una vez entendido el papel de los componentes fisiológicos, se requiere del desarrollo de metodologías que permitan evaluar un gran número de individuos en forma eficaz, rápida y barata, preferentemente.

Es así que en el Centro de Genética del Colegio de Postgraduados se ha integrado un equipo de investigadores que realizan mejoramiento genético con enfoque fisiotécnico, cuyos objetivos son los siguientes (Ortiz *et al.*, 1979a):

1. Definir criterios, metodologías y niveles ambientales para la selección y evaluación de genotipos que hagan más eficientes a los programas de fitomejoramiento, mediante la incorporación de caracteres fisiológicos, anatómicos y morfológicos, a las distintas fases del mejoramiento genético.

2. Definir y desarrollar arquetipos vegetales que permitan hacer uso óptimo de los niveles ambientales disponibles en el área de producción.

Para cumplir con tales objetivos, se requiere del conocimiento, lo más integral posible, del cultivo, del ambiente y de su interacción, en forma tal que se haga una explotación óptima tanto del potencial genético como del potencial ambiental.

En relación al cultivar, se requiere conocer su botánica (su fisiología, su anatomía, su morfología) y, por supuesto, las variaciones genéticas que en cada uno de estos aspectos existen dentro de la especie pues tales variaciones son la base del fitomejoramiento.

En relación al ambiente, se ha insistido en que la definición, el conocimiento y el entendimiento del agroecosistema para la producción de un cultivo dado, no es el mero reconocimiento de los factores biológicos, físicos y climáticos de esa área y de la forma en que tales factores afectan al cultivo, sino que además se requiere conocer el ambiente social, cultural y económico bajo el cual se produce y explota un determinado cultivar, así como el ambiente en el cual se consumirá el producto vegetal de interés.

ASPECTOS RELEVANTES DEL CULTIVO DEL SORGO EN MEXICO

La problemática del cultivo del sorgo en nuestro país involucra, entre otros, los siguientes aspectos:

1. En 1979 el sorgo ocupó el segundo lugar de importancia tanto en superficie cosechada (1 367 637 ha) como en producción obtenida (4 010 607 ton), siendo superado únicamente por el maíz. Existen evidencias de que este crecimiento, que ha sido explosivo en los últimos 15 años (la superficie se ha cuadruplicado durante ese período), se ha presentado a costa del desplazamiento del maíz en las mejores tierras del cultivo. Esto ha ocurrido a pesar de que existen datos de la mayor resistencia del sorgo a niveles adversos de sequía bajo condiciones semitropicales.

2. Los 4 millones de toneladas de grano de sorgo obtenidas en 1979 se destinaron, casi en su totalidad, a la industria de producción de alimentos balanceados para aves y ganado. Diversos organismos mexicanos impugnan tanto el empleo de granos como fuente de alimento para animales en un país como el nuestro que dispone del 50% de su superficie con pastos naturales y/o cultivados, como la falta de atención al grano de sorgo como alimento para el hombre.

3. El crecimiento de la demanda de grano de sorgo, a pesar del crecimiento en superficie cultivada ya señalado, ha obligado a la importación de 1 millón de toneladas en 1978 y se estima que en 1980 se importaron cerca de 2 millones de toneladas. La incapacidad de la oferta para satisfacer la demanda, en parte se debe a que el 98% de la semilla sembrada en nuestro país corresponde a cultivares que no fueron seleccionados para las condiciones ecológicas de nuestras áreas sorgueras. Esto ocurre a pesar de que

desde 1975 se cuenta con 35 híbridos generados por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA).

A continuación se presentan los resultados de algunas investigaciones enfocadas a la atención de cada uno de los tres aspectos mencionados.

ESTUDIO DE RESISTENCIA A SEQUIA EN SORGO

En virtud de que la semilla comercial utilizada por el agricultor corresponde a semilla híbrida, normalmente la evaluación y selección de cultivares se hacen en plantas F_1 . Esto quizás también se deba a razones de índole práctica pues se reconoce que el fenómeno de heterosis limita el valor de las evaluaciones que se hacen directamente sobre los progenitores. Sin embargo, en la mayoría de los proyectos de investigación que actualmente se conducen en el área de fisiotecnia encaminados hacia la formación de híbridos, el objetivo es la caracterización inicial de las líneas progenitoras; caracterización que permitirá cotejar la hipótesis de heterosis para otros caracteres de interés fisiotécnico. Es decir, la heterosis se ha estudiado y demostrado en caracteres como altura de planta, tamaño de fruto, número de frutos, número de hojas, área foliar, etc.; pero en caracteres donde se involucra resistencia a factores adversos como sequía, frío, baja disponibilidad de elementos nutrimentales, eficiencia del área foliar, índice de cosecha y otros, no hay una evidencia clara que indique una resistencia

superior del híbrido a la que presenta el progenitor más resistente.

Así pues, con el objetivo principal de evaluar el comportamiento de líneas B y de líneas R, se estableció un experimento en el Campo Agrícola de Zacatepec, Morelos, dependiente del INIA, durante el ciclo de invierno de 1978, en colaboración con el M.C. Raúl Wong Romero y el Dr. Abel Muñoz Orazco. Se estudiaron 25 líneas B y 24 líneas R. Los tratamientos de humedad fueron dos: a) Riego: se aplicaron riegos suficientes para que las plantas no mostraran síntomas de sequía, y b) Sequía: aproximadamente 20 días antes de la floración se suspendió el riego por un período de aproximadamente 40 días, después de los cuales se aplicaron riegos hasta el final del ciclo de cultivo.

En el Cuadro 2 se presentan las medias de los grupos de líneas B y R para diversas características analizadas en el estudio. Destaca que el rendimiento de grano del grupo de líneas B disminuyó en un 21% mientras que la reducción del grupo de líneas R fue del 17%. Castro (1975), trabajando con 24 genotipos de maíz de precocidad y adaptación variable, encontró que la disminución promedio en el rendimiento de grano por efecto de la sequía en la etapa de floración, fue del 28% (en una localidad templada-fría) y del 40% (en la misma localidad donde se realizó este trabajo, o sea, en Zacatepec, Mor.). Castellón (1979) encontró una reducción del 53% por efecto de la sequía al evaluar en Chapingo, seis maíces temporaleros de la Mesa Central y

Sierra de Chihuahua, México.

Cuadro 2. Medias de diversas características de líneas B y R de sorgo evaluadas en riego (R) y sequía (S); porcentaje de S respecto a R (adaptado de Wong, 1979)

Carácter	Líneas	Riego	Sequía	S/R (%)
V ₁	B	6121	4815 **	79
	R	5862	4845 **	83
V ₂	B	79.92	77.28 **	97
	R	76.14	74.38 **	98
V ₃	B	31.36	32.61 **	104
	R	33.70	34.00 ns	100
V ₄	B	111.48	109.89 *	99
	R	110.12	108.38 **	98
V ₅	B	1321	1190 ns	90
	R	965	943 ns	98
V ₆	B	1604	1449 ns	90
	R	1267	1234 ns	97
V ₇	B	120.72	102.94 *	85
	R	130.32	102.32	79

*, **: Diferencia (R-S) significativa al 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente

ns: Diferencia (R-S) no significativa

V₁ = Rendimiento de grano (kg/ha); V₂ = Días a floración media; V₃ = Días de llenado de grano; V₄ = Días a madurez fisiológica; V₅ = Número de granos por panoja; V₆ = Área foliar (cm²/planta); V₇ = Rendimiento biológico (g/planta)

En el Cuadro 3 se presentan los promedios de algunos índices de eficiencia fisiotécnica y el efecto de la sequía sobre los mismos. Se observa que a pesar de que la sequía

disminuyó el rendimiento de grano, no afectó a la proporción de la producción de materia seca total que se acumuló en el grano, o sea, que el índice de cosecha no se modificó por efecto de la sequía, lo cual básicamente se debió a que el rendimiento biológico se redujo en igual proporción que la producción de grano. En cambio, el nivel de sequía afectó a la eficiencia del área foliar y a la producción diaria de grano.

Cuadro 3. Medias de los índices de eficiencia de líneas B y R de sorgo evaluadas en riego (R) y sequía (S); porcentaje de S respecto a R (adaptado de Wong, 1979)

Caracter	Líneas	Riego	Sequía	S/R (%)
IC	B	46.24	44.88 ns	97
	R	44.04	45.08 ns	101
EAF ₁	B	3.91	3.46 **	88
	R	5.03	4.16 *	83
EAF ₂	B	352.82	316.48 **	90
	R	459.80	386.06 *	84
RCC	B	54.76	42.89 **	78
	R	53.08	44.55 **	84

*, **: Diferencia (R-S) significativa al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente

ns: Diferencia (R-S) no significativa

IC = Índice de cosecha (%); EAF₁ = Eficiencia del área foliar (gramos de grano producido por m² de área foliar presente en antesis); EAF₂ = (EAF₁ por día del ciclo del cultivo, g/cm²/día); RCC = rendimiento por día del ciclo de cultivo (kg/día)

Naturalmente que dentro de cada grupo de líneas se detectaron diferentes respuestas a la sequía; en el Cuadro 4

se presentan los datos de rendimiento de grano obtenidos en líneas B representativas de los diversos tipos de respuesta. Se observa que hubo tres genotipos que presentaron mayores rendimientos bajo sequía que bajo riego (genotipos 3, 9 y 1); además, se observa que los genotipos 11, 36 y 2 produjeron rendimientos superiores a las 6 ton/ha bajo sequía mientras que el promedio de rendimiento (de las 25 líneas B bajo sequía) fue el 79% del correspondiente bajo condiciones de riego.

Cuadro 4. Rendimiento económico (kg/ha) de líneas B representativas de tipos de comportamiento bajo riego-sequía (adaptado de Wong, 1979)

No. de genotipo	Riego	Sequía	S/R (%)
3	3860	4847	125
9	4984	5053	101
1	5582	6620	119
11	8777	6857	78
36	8710	6800	78
2	7745	6283	81
33	5619	3350	60
32	4805	3540	74
38	5197	4096	79
8	3582	3347	94
\bar{X} de 25 líneas	6121	4815	79

En las líneas R (Cuadro 5) se detectaron seis líneas que tuvieron mayores rendimientos de grano bajo sequía que bajo riego (genotipos 21, 45, 12, 17, 46 y 16), mientras

que cinco genotipos tuvieron rendimientos superiores a las 6 toneladas (genotipos 14, 16, 12, 42 y 25). El grupo de 24 líneas R produjo un 83% del rendimiento bajo riego.

Los resultados obtenidos en este estudio permitieron seleccionar líneas que se están evaluando en otros ambientes del país, bajo el mismo sistema riego-sequía por el M.C. Arturo Estrada Gómez. Una vez que se confirme la respuesta de las líneas, uno de los caminos con que se continuará este proyecto será el estudio de la herencia de la resistencia a la sequía. Se considera que la información relacionada con la herencia del carácter facilitará la futura formación de híbridos que posean tal resistencia.

Cuadro 5. Rendimiento de grano (kg/ha) de líneas R representativas de tipos de comportamiento bajo riego-sequía (adaptado de Wong, 1979)

No. de genotipo	Riego	Sequía	S/R (%)
21	4262	5497	129
45	3227	3819	118
12	6161	6624	107
17	2438	2619	107
46	5398	5695	105
16	6474	6720	104
14	8659	8629	100
42	8174	6412	78
25	6453	6247	97
13	7978	5386	67
48	6810	3441	50
20	6242	5052	81
41	7260	4229	68
\bar{X} de 24 líneas	5862	4845	83

FORMACION DE CULTIVARES DE SORGO PARA CONSUMO HUMANO

Otro aspecto de interés es la formación de cultivares de sorgo con posibilidades de consumo humano. El sorgo ha desplazado al maíz en las áreas de riego y de buen temporal, considerándose poco probable que las áreas temporales tradicionales (las de mayor riesgo por ser donde el temporal es escaso y/o irregular, con alta frecuencia de bajas temperaturas al principio o al final del ciclo), sean suficientes para abastecer la demanda de maíz de nuestra creciente población. También se ha observado que año tras año aumentan las importaciones de grano de sorgo, el cual normalmente posee un alto contenido de compuestos fenólicos lo que reduce su valor biológico como fuente de carbohidratos. La dependencia que existe en México de variedades mejoradas producidas en EE UU, país donde el grano se destina para forrajes concentrados, obliga a seguir produciendo granos con alto contenido de fenoles, no aptos para producir los diversos alimentos que se derivan del maíz.

Una región donde el maíz es predominante y el sorgo puede sustituirlo, es la comprendida en los Valles altos de México, donde actualmente hay 1 millón de ha de maíz y donde existen ya resultados positivos sobre sorgos tolerantes al frío y productores de grano bajo esos ambientes (Livera, 1970; Osuna, 1980). Para estas áreas se están seleccionando líneas sin testa, estructura donde se acumula la mayor cantidad de compuestos fenólicos del grano. Se ha aplicado una prueba indirecta de selección hacia

bajo contenido de taninos que básicamente consiste en emplear un álcali (o blanqueador) que disuelve los compuestos fenólicos (Mendoza y Ortiz, 1977-78). En el Cuadro 6 se indica el material y el equipo necesario, así como el procedimiento correspondiente.

Con objeto de probar la bondad de este método indirecto con respecto a métodos químicos directos como el de la vanilina-HCl y el método de azul de Prusia, se correlacionaron las calificaciones visuales obtenidas por el método de blanqueador con los valores obtenidos de los métodos químicos obteniéndose correlaciones de $r = 0.92^{**}$ y $r = 0.89^{**}$, respectivamente (Cuadro 7). Estos resultados dan la confianza necesaria para seguir aplicándolo pues se pueden clasificar 800 líneas diarias con un mínimo de personal y equipo (Mendoza y Ortiz, 1978), mientras que los métodos químicos directos sólo permiten clasificar aproximadamente 50 líneas diarias a un costo mayor.

En la actualidad se cuenta con un grupo de aproximadamente 200 líneas experimentales que se evaluarán en diversas localidades de los valles altos para probar su adaptabilidad.

Cuadro 6. Material, equipo y procedimiento para detectar indirectamente el nivel de taninos en el grano de sorgo (Mendoza y Ortiz, 1977-78)

Material y Equipo:

1. Solución blanqueadora conteniendo hipoclorito de sodio entre 5 y 6%
2. Trozos de hidróxido de potasio
3. Baño María a 60°C
4. Reloj
5. Agitador, colador y tubos de ensaye
6. Recipiente con agua
7. Toallas de papel de color blanco (o papel filtro)

Procedimiento:

1. Mezclar 500 ml de blanqueador con 100 g de KOH.
 2. Añadir 10 ml de la solución a tubos de ensaye conteniendo de 40 a 100 semillas de cada genotipo.
 3. Colocar los tubos en el baño María por 10-15 min, agitando la solución cada 2-3 min.
 4. Sacar cada tubo de ensaye; recoger las semillas en un colador y la solución en un recipiente pues ésta se puede emplear 2-3 veces más.
 5. Sumergir levemente el colador con semillas en el recipiente con agua.
 6. Depositar las semillas en las toallas de papel. Se difundirán los fenoles presente en la testa.
 7. Evaluar visualmente dicha coloración.
-

Cuadro 7. Correlaciones entre diversos métodos de detección de fenoles (Mendoza y Ortiz, 1978)¹

Métodos	r
Visual vs vanilina-HCl	0.92 **
Visual vs azul de Prusia	0.89 **
Vinilina vs azul de Prusia	0.96 **

¹ Los datos de los análisis químicos de la vanilina-HCl y azul de Prusia fueron proporcionados por el M.C. Héctor Cejudo Gómez (Investigador del INIA-México).

FORMACION DE CULTIVARES ADAPTADOS A LAS ZONAS SORGUERAS TRADICIONALES DE MEXICO

El sorgo es un cultivo introducido en América, lo que naturalmente obliga a que los programas nacionales de fitomejoramiento inicien sus actividades mediante la introducción de germoplasma. Desafortunadamente, la introducción de germoplasma, a nivel comercial, se realiza principalmente en base a semilla híbrida producto de combinaciones entre progenitores adaptados, o cuando menos formados y seleccionados para los ambientes de EE UU. El INIA ha realizado introducciones de líneas progenitoras desde hace aproximadamente 25 años, en las cuales ha practicado selección y formado híbridos que se han evaluado en las principales áreas sorgueras del país, por lo que puede considerarse que cuenta con germoplasma progenitor e híbridos adaptados a nuestro país (Carballo, 1978). En el Colegio

de Postgraduados también se introdujeron líneas progenitoras y poblaciones de sorgo en 1977 cuyo análisis se ha limitado a los ambientes de Zacatepec, Mor., La Barca, Jal. y Gral. Terán, Nuevo León.

Aquí conviene recalcar el enfoque que se le está dando al programa de formación de híbridos en el Colegio de Postgraduados, que consiste en la caracterización inicial de los progenitores, preferentemente en forma simultánea con los híbridos respectivos, para posteriormente tener mayor base para planear los cruzamientos debidos. En este sentido, los estudios que se realizan tienen como objetivo fundamental el generar híbridos de mayor rendimiento económico que los actuales y con alta calidad de grano, para lo cual se insiste en que este objetivo se alcanzaría más fácilmente a través de equipos interdisciplinarios, que integren los conocimientos de la genética, la fisiología, la anatomía y la morfología; por ejemplo, el conocimiento de la fenología de la especie (ciencia que estudia las relaciones entre el clima y los fenómenos biológicos periódicos) es básico para analizar las respuestas de los genotipos a los diversos niveles ambientales, así como para explicar las diferencias en rendimiento económico que existe entre ellos.

El rendimiento de grano es la parte de la producción biológica que interesa al productor y generalmente es el criterio principal de selección que emplea el fitomejorador. El rendimiento de grano (carácter complejo,

poligénico, de herencia cuantitativa) es la resultante de los componentes del rendimiento, de los cuales, los más conocidos son el número de plantas por unidad de superficie, el número de frutos por planta y el tamaño del fruto (a éstos en lo sucesivo se denominarán "componentes morfológicos terminales del rendimiento"). En fisiotecnia se considera que el rendimiento económico y sus componentes morfológicos terminales son en gran medida, resultante de procesos fisiológicos, por lo que deberían de considerarse a estos en un programa integral de fitomejoramiento.

El desarrollo (cambio cualitativo en la organización, forma y funcionamiento de las células) y el crecimiento (incremento cuantitativo en número y tamaño de células) son dos de los procesos fisiológicos que las plantas presentan. Desde el punto de vista agronómico y de fitomejoramiento, interesa observar, analizar y cuantificar estos procesos a partir de la siembra y germinación de la semilla y básicamente, una vez emergida la plántula (Cuadro 8).

Cuadro 8. Componentes del rendimiento económico en cereales

Componentes morfológicos	Componentes fisiológicos
Número de plantas por m ²	Fotosíntesis
Número de frutos por planta	Respiración
Tamaño (peso) de fruto	Movilización
	Absorción
	Transpiración
	Crecimiento
	Desarrollo, etc.

En la fenología del cultivo del sorgo (Cuadro 9) se adopta el criterio de Castillo (1980) quien considera 3 etapas claves: 1) Período de crecimiento vegetativo; 2) Período de formación de órganos florales; y 3) Período de llenado de grano. Los eventos que ocurren durante estos períodos están íntimamente relacionados con el rendimiento económico. Así, puesto que el grano es el producto biológico de interés, el primer requisito a satisfacer es que el desarrollo cambie de vegetativo a reproductivo (lo cual ocurre en el primer período), para lo cual se requiere que ocurra la iniciación floral, o sea, el cambio de actividad meristemática apical de formación de primordios foliares a florales; además, en este período queda definido el número de plantas por unidad de superficie, que es uno de los componentes morfológicos terminales del rendimiento. Una vez inducida la iniciación floral y que los órganos florales empiezan a crecer, es necesario asegurar que tales órganos tengan las condiciones adecuadas hasta que se presente la antesis, la polinización y la fecundación, pues en el segundo período queda potencialmente definido otro de los componentes morfológicos terminales del rendimiento que es el número de frutos por planta. Finalmente, en el tercer período queda establecido el tamaño del grano, tercer componente morfológico del rendimiento. Castillo (1980), evaluó la importancia de la duración de cada uno de esos períodos sobre el rendimiento de grano, la producción de materia seca en esas etapas.

Cuadro 9. Características principales de los períodos de desarrollo en sorgo (adaptado de Castillo, 1980)

PERIODO VEGETATIVO (GERMINACION A INICIACION FLORAL)

- 1) Diferenciación del número total de hojas (área foliar potencial)
- 2) La mayor parte del sistema radicular queda establecido
- 3) Diferenciación del número total de macollos (número potencial de panojas)
- 4) Establecimiento del número total de plantas por unidad de superficie

PERIODO DE FORMACION DE ORGANOS FLORALES (INICIACION FLORAL A ANTESIS)

- 1) Diferenciación del número total de flores (número potencial de frutos)
- 2) Crecimiento y establecimiento del área foliar real
- 3) Crecimiento de entrenudos (altura real de plantas)
- 4) Competencia entre estructuras vegetativas y reproductivas

PERIODO DE LLENADO DE GRANO (ANTESIS A MADUREZ FISIOLOGICA)

- 1) Fecundación y crecimiento del grano (tamaño de grano)
 - 2) Duración del área foliar post-antesis
 - 3) Eficiencia en la movilización y acumulación de fotosintetizados
-

y otros caracteres de 6 líneas B, 6 líneas R y los 36 híbridos resultantes de sus combinaciones posibles, empleando germoplasma del INIA. Además, se empleó el esquema básico del Diseño II de Comstock y Robinson para estimar efectos y varianzas de aptitud combinatoria general y específica.

En el Cuadro 10 se muestra las asociaciones entre la duración de los diferentes períodos y el rendimiento de los 36 híbridos y entre cada progenitor con los híbridos en los que participó, al evaluarlos en el Campo Agrícola Experimental de El Bajío (INIA). En los híbridos destacó la mayor correlación entre el rendimiento de grano y la duración del período de llenado de grano ($r=72^{**}$) y días a madurez fisiológica ($r=69^{**}$). Es importante señalar que en los híbridos con hembras o machos comunes, la mayor contribución se debe al progenitor hembra pues sus correlaciones son superiores a la de los machos.

Una evidencia más de que el híbrido tiene un comportamiento más similar al de la hembra que al del macho, lo constituye el trabajo en marcha del Ing. Francisco Zavala y el autor, donde se evaluaron también 6 líneas B, 6 líneas R y a los 6 híbridos producto de una sola línea B con otra R. Se tomaron datos de peso seco y área foliar a intervalos de una semana, desde la emergencia hasta aproximadamente 20 días después de la madurez fisiológica, con los cuales se realizó análisis de crecimiento en base a las curvas de acumulación de peso seco y área foliar, la tasa de asimilación neta (TAN), la tasa relativa de crecimiento (TRC)

Cuadro 10. Correlaciones entre las componentes de tiempo y rendimiento para valores de híbridos y para promedios de híbridos con una misma línea. Bajío, 1978. P-V (Castillo, 1980)

Carácter	Efectos de	Número pares	C a r á c t e r					
			DPCV	DPFOF	DFLOR	DPLLG	DMF	
REND	Híbridos	36	.5260**	.2421	(-.6483**) ¹	.5173**	.7195**	.6863**
	Hembras	6	.9560**	.8017	(-.7360)	.9458**	.8366*	.9203*
	Machos	6	.1588	.5449	(-.9460**)	.1329	.8384	.7260
DPCV				.5803**	(-.4070*)	.9312**	.4430**	.8309**
				.8749*	(-.6918)	.9930**	.9026*	.9758**
				.6028	(-.3072)	.9832**	-.1526	.6957
DPFOF						.7871**	.3437*	.7257**
						.9251**	.9003*	.9522**
						.6916	-.6947	.1022
DFLOR							.4577**	.9017**
							.9088*	.9881**
							-.1824	.7042
DPLLG								.7792**
								.9585**
								.5620

¹ Entre paréntesis, correlaciones considerando al % de la DPFOF respecto al ciclo de cultivo
 *, ** Significativos estadísticamente al .05 y al .01, respectivamente

y la tasa de crecimiento de cultivo (TCC). Los resultados preliminares señalan que tanto en Zacatepec, Mor., como en Gral. Terán, N.L., el peso seco promedio del grupo de híbridos superó a ambos progenitores (Figura 1), manifestándose así el efecto heterótico y que el grupo de hembras superó al de machos; sin embargo, pruebas de contrastes realizadas en el período de emergencia a antesis y de antesis a madurez fisiológica indicaron diferencias significativas entre hembras e híbridos de Gral. Terán, e igualdad estadística en Zacatepec, Mor.; las diferencias entre hembras y machos fueron significativas. En relación al área foliar (Figura 2) el vigor híbrido se manifestó sólo hasta la etapa de antesis ya que durante la época de llenado de grano el grupo de hembras mantuvo mayor área foliar que el híbrido; nótese que el grupo de machos tuvo la menor área foliar. Finalmente, en el Cuadro 11 se presentan los resultados de las pruebas de contrastes entre grupos de genotipos para la TCC que equivale a la producción de materia seca por unidad de área de terreno por unidad de tiempo, en Zacatepec, Mor., donde destaca la igualdad entre hembras e híbridos para esta variable, manifestándose igual comportamiento en Gral. Terán.

En la actualidad se continúa trabajando sobre esta hipótesis (similitud de comportamiento entre el híbrido y la línea B e independencia respecto a la línea R), que de confirmarse, facilitará la selección de progenitores idóneos para formar híbridos de mayor potencial productivo

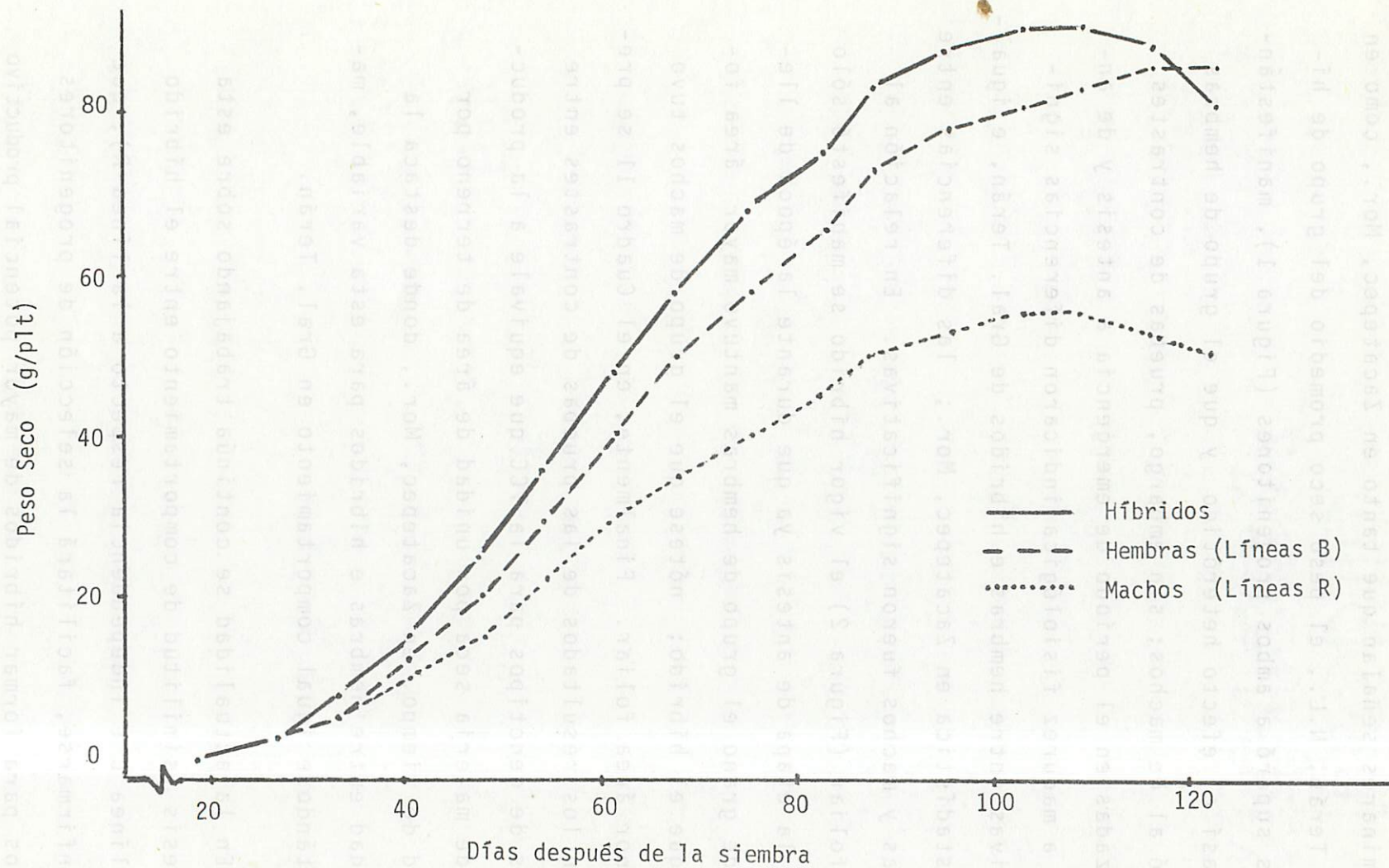


Figura 1. Producción total de materia seca de 6 híbridos de sorgo y sus respectivos progenitores. Zacatepec, Morelos, México. Verano-Otoño, 1978

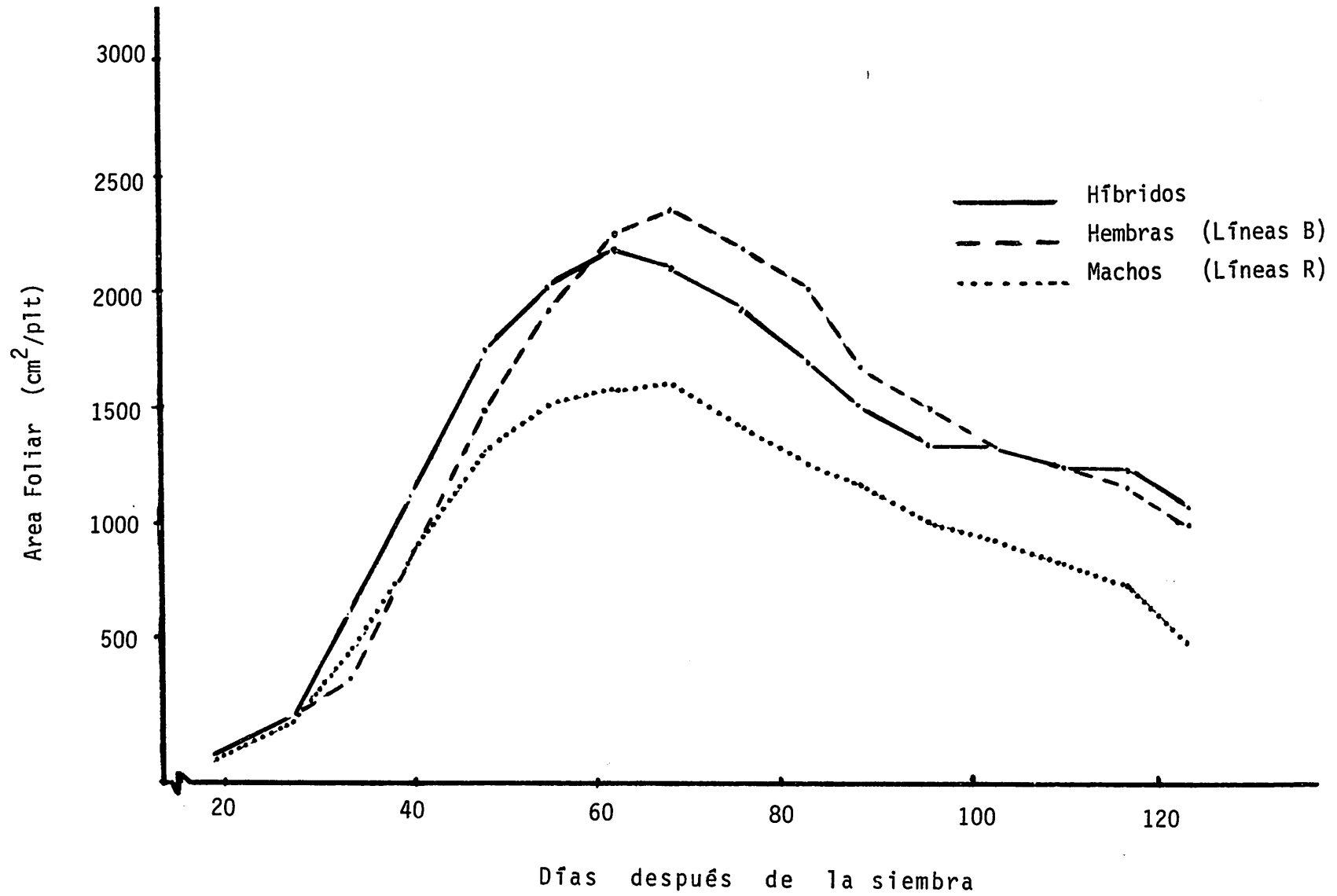


Figura 2. Area foliar activa de 6 híbridos de sorgo y sus respectivos progenitores Zacatepec, Morelos, México. Verano-Otoño, 1978

Cuadro 11. Resultados de las pruebas de contrastes y medias de grupos de genotipos para la TCC¹, Zacatepec, Mor. 1978

Días desde la siembra	Significancia de F				M e d i a s		
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	♀	♂	F ₁
18	**		**	*	16.2	17.9	24.0
26	**		**	**	46.7	46.5	72.2
33	**	**		**	95.8	68.3	103.7
40	**	**		**	116.2	78.7	128.6
47	**	**		**	126.7	84.4	140.6
54	**	**		**	128.9	85.9	143.8
61	**	**		**	124.1	83.5	141.5
68	**	**		**	115.6	77.2	131.5
75	**	**		**	101.8	67.5	115.3
82					60.6	54.7	92.8
88					58.9	40.4	57.9
95					53.8	23.7	38.0

$$C_1 = \left(\frac{\bar{Q} + \bar{O}}{2} \right) \text{ vs } F_1$$

$$C_2 = \bar{O} \text{ vs } \bar{Q}$$

$$C_3 = \bar{Q} \text{ vs } F_1$$

$$C_4 = \bar{O} \text{ vs } F_1$$

¹ gramos de materia seca por m² de terreno por semana

y con características específicas de precocidad, rendimiento de grano, eficiencia en la producción de materia seca, duración de las etapas fenológicas, etc.

CONCLUSIONES

1. El mejoramiento genético del rendimiento económico requiere de investigaciones secuenciadas, detalladas, pero fundamentalmente integradas y multidisciplinarias, lo que sólo puede realizarse por grupos interdisciplinarios.

2. Existe variación en la respuesta de líneas B y R sometida a tratamientos de riego-sequía.

3. Mediante la aplicación de una técnica rápida, barata, indirecta de detección de taninos con alta correlación con las pruebas químicas directas, se han seleccionado líneas tolerantes al frío y de bajo contenido de taninos.

4. Se presenta información que apoya la hipótesis de que el comportamiento del híbrido se asemeja más al del progenitor hembra que al del macho.

5. Con objeto de entender mejor el comportamiento de los híbridos, es necesario evaluarlos conjuntamente con los progenitores.

RECONOCIMIENTO

El autor desea reconocer las aportaciones del Dr. Joaquín Ortiz Cereceres y de los M.C. Víctor González Hernández

y Manuel Livera Muñoz en las discusiones conjuntas de donde emanaron la terminología, conceptos y objetivos generales del área de isiotecnia que aquí se indican y al Dr. Ortiz Cereceres por sus sugerencias en la revisión de este artículo.

BIBLIOGRAFIA

- Carballo C., A. 1978. Sorgo. In: Recursos genéticos disponibles a México. Tarcicio Cervantes S. (Editor). México. Sociedad Mexicana de Fitogenética. pp 85-91.
- Castellón O., J.J. 1979. Resistencia a heladas y sequía en maíces de la Mesa Central y Sierra de Chihuahua. Tesis de M.C. Centro de Genética. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Castillo G., F. 1980. El rendimiento de grano en sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), su relación con los períodos de desarrollo y otros caracteres. Efectos de aptitud combinatoria. Tesis de M.C. Centro de Genética. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Castro R., V.M. 1975. Determinación de localidades para la investigación de la resistencia a la sequía en plantas, mediante la evaluación de genotipos de maíz. Tesis de M.C. Centro de Genética. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Donald, C.M., and Hamblin, J. 1976. The biological yield and harvest index of cereals as agronomic and plant breeding criteria. *Adv. Agron.* 28:361-405.

- Livera M., M. 1979. Adaptación y adaptabilidad de genotipos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) tolerantes al frío. Tesis de M.C. Centro de Genética. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Mendoza O., L.E. y Ortiz C., J. 1972. Estimadores del área foliar e influencia del espaciamiento entre surcos, la densidad de siembra y la fertilización sobre el área foliar en relación con la eficiencia en la producción de grano de dos híbridos de maíz. *Agrociencia* 11:57-71.
- _____ y _____. 1977-78. Mejoramiento genético para valor nutritivo del grano de sorgo. I. Prueba indirecta de detección de taninos. *Avances en la Enseñanza e Investigación*. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. p 112.
- _____ y _____. 1978. Mejoramiento genético para valor nutritivo del grano de sorgo. II. Correlación entre un método visual y métodos químicos de detección de taninos. *Avances en la Enseñanza e Investigación*. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. pp 91-92.
- Ortiz C. J., Mendoza O., L.E. y González H., V.M. 1979a. Actividades académicas del área de fisiotecnia (fundamentos, objetivos, metas, líneas y proyectos de investigación, necesidades). Marzo de 1979. Centro de Genética. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México (Mimeo)
- _____, _____ y _____. 1979b. La fisiotecnia como base en el mejoramiento de arquetipos vegetales para los agroecosistemas. II Seminario sobre análisis de los agroecosistemas en México (16-20 de julio de 1979). Centro de Botánica. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. (Mimeo.)

- Osuna O., J. 1980. Estimación y uso de índices fisiotécnicos en la evaluación de genotipos de sorgo para grano (*Sorghum bicolor* L. Moench) tolerantes al frío bajo diferentes ambientes en Chapingo, México. Tesis de M.C. Centro de Genética. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Ozbun, J.L. 1976. Researchable areas which have potential for increasing crop production. Grant Report to the Science and Technology Office of the National Science Foundation (E.U.). Cornell University, Ithaca, New York.
- Wong R., R. 1979. Comportamiento de las características agronómicas, índices fisiológicos y patrones de crecimiento de 50 genotipos de sorgo bajo el esquema riego-sequía. Tesis de M.C. Centro de Genética. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.