

ACUMULACION DE MATERIA SECA, IMBIBICION, VIABILIDAD Y GERMINACION DE SEMILLAS INMADURAS DE SORGO

Rafael Mora Aguilar¹, Leopoldo E. Mendoza Onofre²
y Juan Molina Moreno³

RESUMEN

Conseguir germinar semillas fisiológicamente inmaduras de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) puede permitir avances generacionales en períodos más cortos, acelerando los programas de mejoramiento genético que se realizan en regiones con condiciones apropiadas de temperatura y humedad durante la mayor parte del año, como en la zona sur del país donde recientemente se ha empezado a cultivar este cereal. Con el fin de determinar la etapa postantesis más adecuada para cosechar semillas en desarrollo, se evaluó, en condiciones de laboratorio, la viabilidad, germinación, acumulación de materia seca e imbibición de semillas de las líneas PP 290, Tx 378, Tx 430 y Tx 625, cosechadas a intervalos de siete días después de la antesis. Los genotipos PP 290 y Tx 625 presentaron valores de viabilidad y germinación de 75 y 71 %, y de 23 y 17 % respectivamente, siete días después de antesis. Las semillas cosechadas 14 días después de antesis, en los cuatro genotipos, presentaron valores de viabilidad y germinación entre 56 y 99 %; las cosechadas 21 días después de la antesis presentaron valores de germinación superiores al 92 %, mientras que la viabilidad fue estadísticamente igual al 100 %. La acumulación de materia seca mostró dos patrones

de comportamiento en función de la longitud del período de llenado de grano, pero en ambos, la máxima acumulación ocurrió uno o dos días antes de la madurez fisiológica, medida ésta con base en la presencia de la capa negra. La imbibición mantuvo una relación inversa a la acumulación de materia seca y al grado de desarrollo de la semilla, alcanzando la mayor absorción de agua en las primeras 12 horas.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES

Sorghum bicolor (L.) Moench, germinación prematura, absorción de agua.

SUMMARY

The achievement of the germination of physiological immature seeds of sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] could allow breeders to accelerate generations of inbreeding, mainly in those areas where temperature and water are not limiting factors, as it happens in the southern areas of México where this crop is getting more important. In order to know in which developmental stage of the grain filling period could immature seeds be harvested, an study on viability, germination, dry matter accumulation and imbibition of seeds was carried out under laboratory conditions in four sorghum lines (PP 290, Tx 378, Tx 430 y Tx 625), which were harvested each seven day after anthesis. Seed viability and germination of PP 290 and Tx 625 harvested seven days after flowering were 75 and 71 %, and 23 and 17 %, respectively. Seeds of the four genotypes harvested 14 days after anthesis showed between 56 and 99 % of viability and germination respectively; those harvested 21 days after anthesis showed germination values higher than 92 %, while viability reached values statistically equal to 100 %. Dry matter accumulation of seeds followed two types of behaviour depending upon de length of the grain filling period. In both patterns, however, the highest

¹ Investigador de la Red de Sorgo y Mijo del INIFAP; CIFAP-Morelos; CE Zacatepec. Actualmente Profesor del Depto. de Fitotecnia. UACH. C.P. 56230, Chapingo, México.

² Experto Nacional de la Red de Sorgo y Mijo del INIFAP. Apdo. Postal 10, C.P. 56230, Chapingo, Méx.

³ Investigador Docente del Centro de Genética. Colegio de Postgraduados. C.P. 56230. Chapingo, Méx.

dry matter accumulation was reached one or two days before physiological maturity (black layer presence) was obtained. Imbibition correlated negatively with dry matter accumulation and with seed age; most of the water absorption occurred during the first 12 hours.

ADDITIONAL INDEX WORDS

Sorghum bicolor (L.) Moench, premature germination, water absorption.

INTRODUCCION

El sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) es una especie que sólo en los 5 últimos años ha empezado a cultivarse en las regiones tropicales húmedas del país, donde actualmente se siembran casi 150,000 ha. Esta superficie representa cerca del 10% del área total sembrada en México, pero Trujillo (1986) indica que en estas regiones la superficie potencial apta para siembras de sorgo es cercana a un millón de hectáreas. Debido al reducido número de genotipos con buenas características agronómicas y amplia adaptación, así como la poca oferta de semilla de los híbridos comerciales, se considera de importancia aplicar metodologías que den celeridad a los programas de mejoramiento genético que se realizan en esas áreas.

La utilización de semillas en desarrollo, fisiológicamente inmaduras, puede permitir avances generacionales en períodos más cortos, pues en las áreas referidas la temperatura y la humedad no son limitantes serias para el crecimiento y desarrollo de las plántulas que se obtengan. Aunque en la literatura internacional hay informes de estudios de viabilidad y acumulación de materia seca de semillas en desarrollo de varias especies, no se encontró información publicada aplicable a las condiciones de México. El objetivo de la presente investi-

gación fue determinar, bajo condiciones de laboratorio, los cambios en viabilidad, germinación, imbibición y acumulación de materia seca de semillas en desarrollo.

REVISION DE LITERATURA

La acumulación de materia seca en la semilla de sorgo termina al alcanzarse la madurez fisiológica; en ese momento el floema del parénquima es bloqueado con mucílago y compuestos pécticos, formándose la "capa negra" en la región hilar, la cual impide que continúe la movilización de productos fotosintéticos (Quinby, 1972; Eastin *et al.*, 1973).

En algunos estudios se ha observado que cuando las semillas de sorgo se cosechan antes de la madurez fisiológica y se siembran inmediatamente, muestran latencia a la germinación (Kersting *et al.*, 1961; Collier, 1963; Clark *et al.*, 1967; Paulson, 1969). Cuando las semillas se cosechan en etapas tempranas de maduración y se secan rápidamente, exhiben más latencia que cuando se cosechan en etapas más avanzadas y se secan lentamente, aunque existen diferencias genotípicas para esta característica (Robbins y Porter, 1946; Casey, 1947; Godsell, 1957; Krishnasamy y Ramaswamy, 1985; Maití *et al.*, 1985).

Las semillas de sorgo cosechadas en etapas tempranas de su desarrollo pueden ser viables, y a pesar de que algunos cultivares muestran latencia, otros pueden germinar desde los 12 días después de la floración (Kersting *et al.*, 1961; Clark *et al.*, 1967; Kishnasamy y Ramaswamy, 1985). Semillas cosechadas 12, 15 y 18 días después de la floración presentaron menores valores de emergencia y produjeron plántulas con menor vigor que las más maduras (Kersting *et al.*, 1961).

MATERIALES Y METODOS

Durante el ciclo Otoño-Invierno de 1987-88 se colectaron panojas de las líneas PP 290, Tx 378, Tx 430 y Tx 625 establecidas en parcelas contiguas bajo condiciones de riego en terrenos del Campo Experimental Zacatepec, Mor. (18°39' N y 99°12' O), cuyos suelos de origen aluvial presentan una textura arcillosa.

En cada línea y a intervalos de siete días a partir de la floración, se cosecharon 10 panojas seleccionadas al azar, durante seis veces, abarcando el período completo de llenado de grano. Se consideró como fecha de floración cuando ocurrió la antesis en el tercio medio de la panoja. La fecha de madurez fisiológica se determinó mediante la presencia de la "capa negra" (Eastin *et al.*, 1973) en igual porción de la panoja. Las panojas cosechadas en cada muestreo se secaron a la sombra hasta alcanzar peso constante y se desgranaron manualmente sólo en el tercio medio. Las semillas se mezclaron y muestras de ella se utilizaron para el estudio de laboratorio.

Las determinaciones siguientes se realizaron empleando un diseño experimental de bloques al azar en arreglo factorial completo 4 x 6, correspondiente a los cuatro genotipos y las seis etapas de maduración, respectivamente; la parcela experimental (una repetición) consistió de 100 semillas.

Viabilidad y germinación. Cuatro repeticiones por tratamiento se colocaron en una cámara germinadora con una temperatura constante de $25 \pm 1^\circ\text{C}$ y alta humedad relativa. Las semillas se distribuyeron en toallas de papel secante ("sanitas") humedecidas con agua destilada y con una solución fungi-

cida de Captán (N-triclorometiltio-4-clo-rohexano-1, 2 dicarboximida al 0.2% p/v), en una retícula de 2 x 3 cm; posteriormente las toallas de papel se enrollaron sin presionar demasiado. Se consideró que una semilla había germinado cuando mostró claramente la porción de la radícula y de la plúmula a los siete días después de iniciada la prueba. Para viabilidad se consideró el número total de plántulas, hubieran o no diferenciado radícula y plúmula. En ambos casos se procuró emplear las metodologías propuestas por la ISTA (1985).

Materia seca. Se emplearon tres repeticiones por tratamiento. Las semillas se mantuvieron en una estufa a 72°C por un período de 72 horas, tras lo cual se determinó su peso.

Imbibición. Se utilizaron dos repeticiones por tratamiento. En este caso las semillas se mantuvieron en frascos de vidrio (contenido 150 ml de agua destilada) por un período de 12, 24, 36 y 48 horas, a una temperatura ambiente de $22 \pm 1^\circ\text{C}$. El porcentaje de imbibición se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{IMB} = \left[\left(\frac{\text{PHF}-\text{PHI}}{\text{PHF}} \right) \times 100 \right] - \text{PHS}; \text{ donde:}$$

IMB = Imbibición.

PHI y PHF = Peso de semilla al inicio y al final de la prueba.

PHS = Porcentaje de humedad de la semilla antes de la prueba.

Adicionalmente, se realizaron análisis de regresión empleando los valores medios observados para cada variable con base en el siguiente modelo general:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 X + b_2 X^2; \text{ donde:}$$

\hat{Y} = Respuesta esperada.

b_0, b_1 y b_2 = Coeficiente i de regresión.

X = Número de días después de la antesis.

RESULTADOS Y DISCUSION

El análisis de varianza realizado para cada una de las variables estudiadas mostró diferencias altamente significativas entre genotipos, etapas de maduración, así como para su interacción. El coeficiente de variación fue menor al 3% para la mayoría de las variables y solamente en germinación alcanzó 7%, lo cual indica que los resultados son confiables.

Viabilidad y germinación

Con respecto a viabilidad y germinación se observó que la línea PP 290 superó a las demás en el primer muestreo, realizado siete días después de la antesis, pues alcanzó valores de 75 y 71%, respectivamente; en este muestreo la línea Tx 625 alcanzó porcentajes intermedios (23 y 17%), en tanto que los valores más bajos fueron para las líneas Tx 378 y Tx 430 (Cuadro 1). Las semillas cosechadas 14 días después de antesis, exceptuando a las de la línea Tx 430, presentaron entre 87 y 99% de viabilidad, y de 70 a 96% de germinación; cuando la cosecha se realizó 21 días después

Cuadro 1. Peso seco (PS), viabilidad (V) y germinación (G) de 100 semillas cosechadas después de antesis en cuatro genotipos de sorgo.

| Genotipo | Variable | Días después de antesis ¹ | | | | | |
|----------|----------|--------------------------------------|------|------|------|------|------|
| | | 7 | 14 | 21 | 28 | 35 | 42 |
| PP 290 | PS (mg) | 748 | 1771 | 2762 | 3246 | 3072 | 3019 |
| | V (%) | 75 | 99 | 96 | 100 | 94 | 100 |
| | G (%) | 71 | 96 | 93 | 99 | 92 | 91 |
| Tx 378 | PS (mg) | 322 | 1099 | 1940 | 2660 | 2525 | 2570 |
| | V (%) | 2 | 87 | 97 | 100 | 100 | 100 |
| | G (%) | 2 | 70 | 94 | 97 | 98 | 99 |
| Tx 430 | PS (mg) | 368 | 1157 | 1652 | 2652 | 3128 | 3300 |
| | V (%) | 6 | 71 | 96 | 100 | 100 | 96 |
| | G (%) | 4 | 56 | 92 | 100 | 99 | 98 |
| Tx 625 | PS (mg) | 434 | 837 | 1176 | 1845 | 2054 | 2171 |
| | V (%) | 23 | 95 | 99 | 99 | 100 | 100 |
| | G (%) | 17 | 88 | 95 | 90 | 100 | 100 |

¹ Presencia de la capa negra (días después de antesis) para PP 290: 29; Tx 378: 30; Tx 430: 38; Tx 625: 41.

de antesis, los valores fueron estadísticamente similares al 100% para ambas variables, en los cuatro genotipos. Estos resultados son superiores a los de Kersting *et al.* (1961) y Clark *et al.* (1967), quienes obtuvieron valores de germinación entre 15 y 18% y de 19 a 39%, respectivamente, en semillas cosechadas a los 12 y entre 15 y 24 días después de antesis. Las diferencias genotípicas, así como las condiciones ambientales durante el desarrollo de la semilla, probablemente son los principales factores que determinan las diferencias en viabilidad y germinación en etapas tempranas de su desarrollo, según lo consignan Maití (1986) y Kersting *et al.* (1961).

El comportamiento en viabilidad y germinación se ajustó a un modelo de regresión lineal-cuadrático, en el cual el coeficiente de determinación fluctuó de 0.82** a 0.95** para viabilidad, y de 0.83** a 0.98** para germinación, excepto para la línea PP 290 en que fue de 0.67** y 0.77**, respectivamente. Tanto los valores observados (Cuadro 1) como los predichos por el modelo de regresión (Figura 1) indican que la viabilidad y la germinación a los 14 días después de la antesis fueron superiores al 50%, aun en los genotipos tardíos (Tx 430 y Tx 625). La pequeña disminución en viabilidad y germinación mostrada por las semillas cosechadas 35 días después de la antesis, puede atribuirse al deterioro que empieza a sufrir la semilla (Kersting *et al.* 1961; Glueck y Rooney, 1976; Maití *et al.*, 1985).

La respuesta general observada en las semillas menos maduras (las cosechadas siete días después de antesis) puede atribuirse a que el embrión aún no se ha formado completamente, pues generalmente hasta 12 días después de antesis completa su diferencia-

ción (Artschwager y McGuire, 1949) aunque continúa creciendo y termina su actividad meristemática cerca de 13 días después (Paulson, 1969); por esta razón puede considerarse que el embrión alcanza la madurez morfológica a los 25 días después de la antesis. La madurez morfológica del embrión parece explicar *per se* la máxima viabilidad y germinación observada entre los 21 y 35 días después de antesis. En el caso de la línea PP 290, en la literatura no se ha informado de genotipo alguno cuyas semillas hayan mostrado valores tan altos de germinación (70%) al ser cosechadas siete días después de antesis. Los granos de esta línea, a diferencia de las otras tres, se caracterizan por no contener compuestos fenólicos (taninos) los que han sido relacionados con una mayor tolerancia a la germinación en la panoja del sorgo (Valdivia, 1977). Sin embargo, es conveniente abundar más en el estudio de este genotipo.

Por otra parte, como la presencia de la capa negra en las líneas tardías ocurrió entre 38 y 41 días después de antesis, destaca que es factible adelantar en casi un mes el avance generacional requerido en programas de fitomejoramiento, donde es común encontrar genotipos de precocidad similar a Tx 430 y Tx 625. De confirmarse los resultados obtenidos en este estudio, conducido en condiciones de laboratorio, con el comportamiento de la germinación bajo condiciones de campo, se aumentarían las probabilidades de obtener al menos tres generaciones por año calendario en localidades cálido-húmedas. En caso de pretender una mayor seguridad en la germinación, se podría cosechar a los 21 días después de antesis, cuando todos los genotipos presentan, al menos, 90% de germinación, lográndose así un adelanto promedio cercano a 20 días.

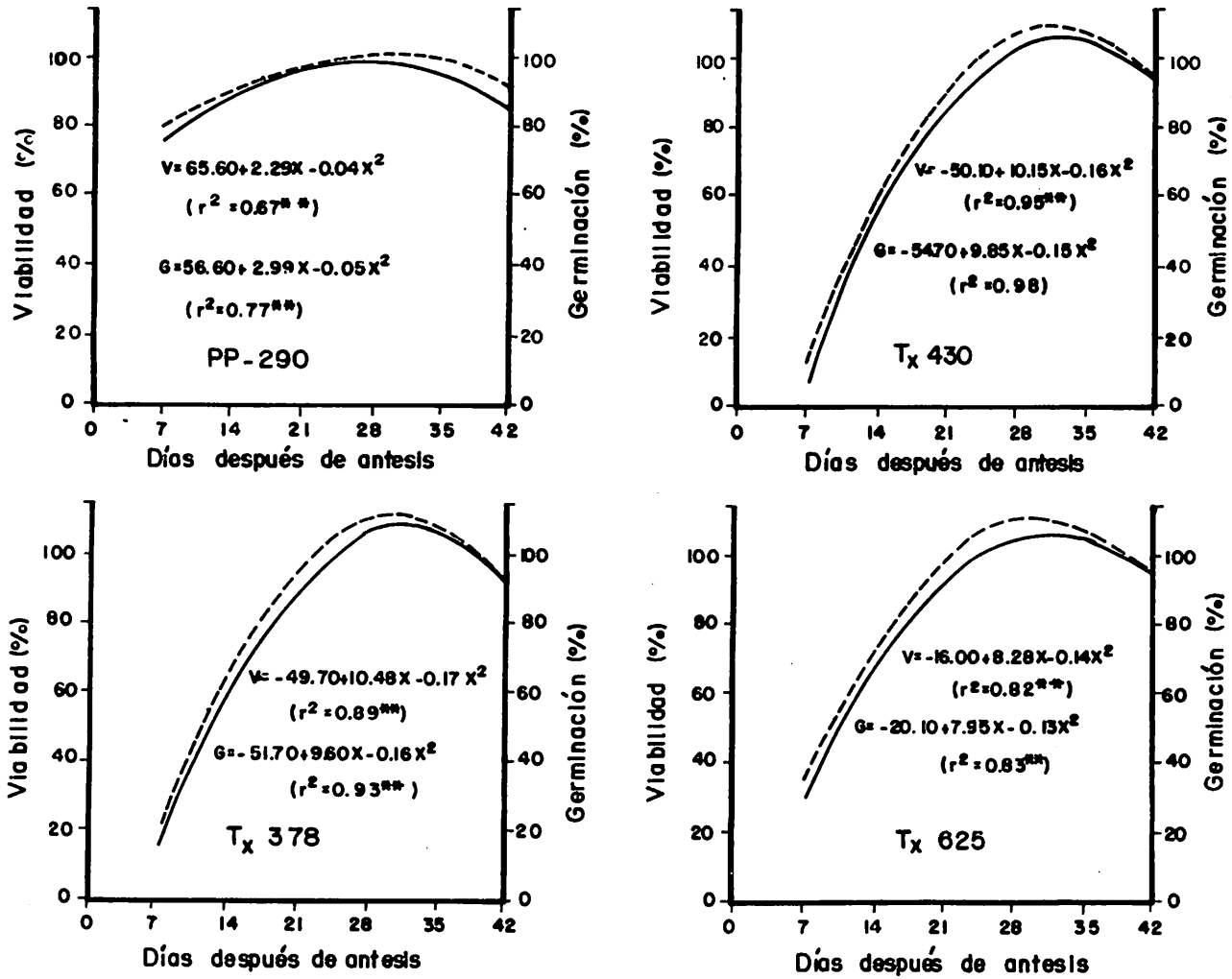


Figura 1. Porcentajes de viabilidad (---) y germinación (—) de semillas cosechadas después de antesis, en cuatro genotipos de sorgo.

Acumulación de materia seca

Se observaron dos patrones de comportamiento para la acumulación de materia seca, los cuales probablemente están asociados con la longitud del período de llenado de los genotipos. En el caso de PP 290 y TX 378, líneas precoces y con un período de llenado corto en el campo (29 y 30 días, respectivamente) se observó (Cuadro 1) que la acumulación de materia seca fue rápida en el período de 7 a 21 días después de antesis, alcanzando la máxima acumulación a los 28 días. Las pequeñas reducciones de materia seca después de la máxima acumulación pueden atribuirse a la respiración del embrión, como lo indican Kersting *et al.* (1961). En esos dos genotipos, el patrón de comportamiento también se ajustó a un modelo de regresión lineal-cuadrático (Figura 2a y 2b) con coeficientes de determinación de 0.99** y 0.98**, respectivamente.

En el caso de las líneas Tx 430 y Tx 625, genotipos con período de llenado intermedio (aproximadamente de 40 días), la acumulación de materia seca siguió y se ajustó a un modelo de regresión lineal, el cual presentó coeficientes de determinación de 0.97** y 0.96**, respectivamente. Las Figuras 2c y 2d muestran claramente dicha tendencia lineal en la acumulación de materia seca, aunque en el campo la presencia de la capa negra ocurrió a los 38 días después de antesis en Tx 430 y a los 41 días en Tx 625.

Hay autores que observaron diferencias genotípicas en la tasa de acumulación de materia seca (Subramanian *et al.*, 1983); en el presente caso, desde los siete días después de antesis hasta el momento de la máxima acumulación la tasa fue de 89 mg día⁻¹ en PP 290 y Tx 430, de 86 mg día⁻¹ en

Tx 378, y sólo de 53 mg día⁻¹ en Tx 625. Para los tres primeros genotipos tales valores se encuentran en la gama de 80 a 120 mg día⁻¹ que Collier (1963) menciona para esta especie.

Imbibición

En general la imbibición de semillas de los cuatro genotipos presentó un comportamiento similar, el cual se ajustó a un modelo de regresión lineal-cuadrático cuyo coeficiente de determinación fluctuó de 0.93** a 0.99** (Figura 2).

La mayor imbibición ocurrió en las semillas más inmaduras, cosechadas siete días después de antesis (Cuadro 2); en los muestreos posteriores este proceso disminuyó de intensidad y alcanzó su valor mínimo en aquéllas cosechadas entre 28 y 35 días después de antesis. Es posible que este comportamiento sea debido a la rehidratación que las semillas en desarrollo sufrieron, para recuperar el agua perdida durante la etapa de secado a la sombra, desde la cosecha hasta su análisis en el laboratorio, pues en condiciones de campo el contenido de humedad de las panojas es menor a medida que se alcanza la madurez fisiológica. En consecuencia, la mínima imbibición coincidió con la máxima acumulación de materia seca, etapa en que la semilla ha alcanzado la madurez fisiológica.

Una vez alcanzada la madurez fisiológica, la tendencia a incrementar la imbibición entre 35 y 42 días después de antesis puede estar asociada con un proceso de deterioro de la semilla (Glueck y Rooney, 1976) ya que la respiración del embrión puede aumentar el intercambio gaseoso y la permeabilidad de las membranas (Maití *et al.*, 1985).

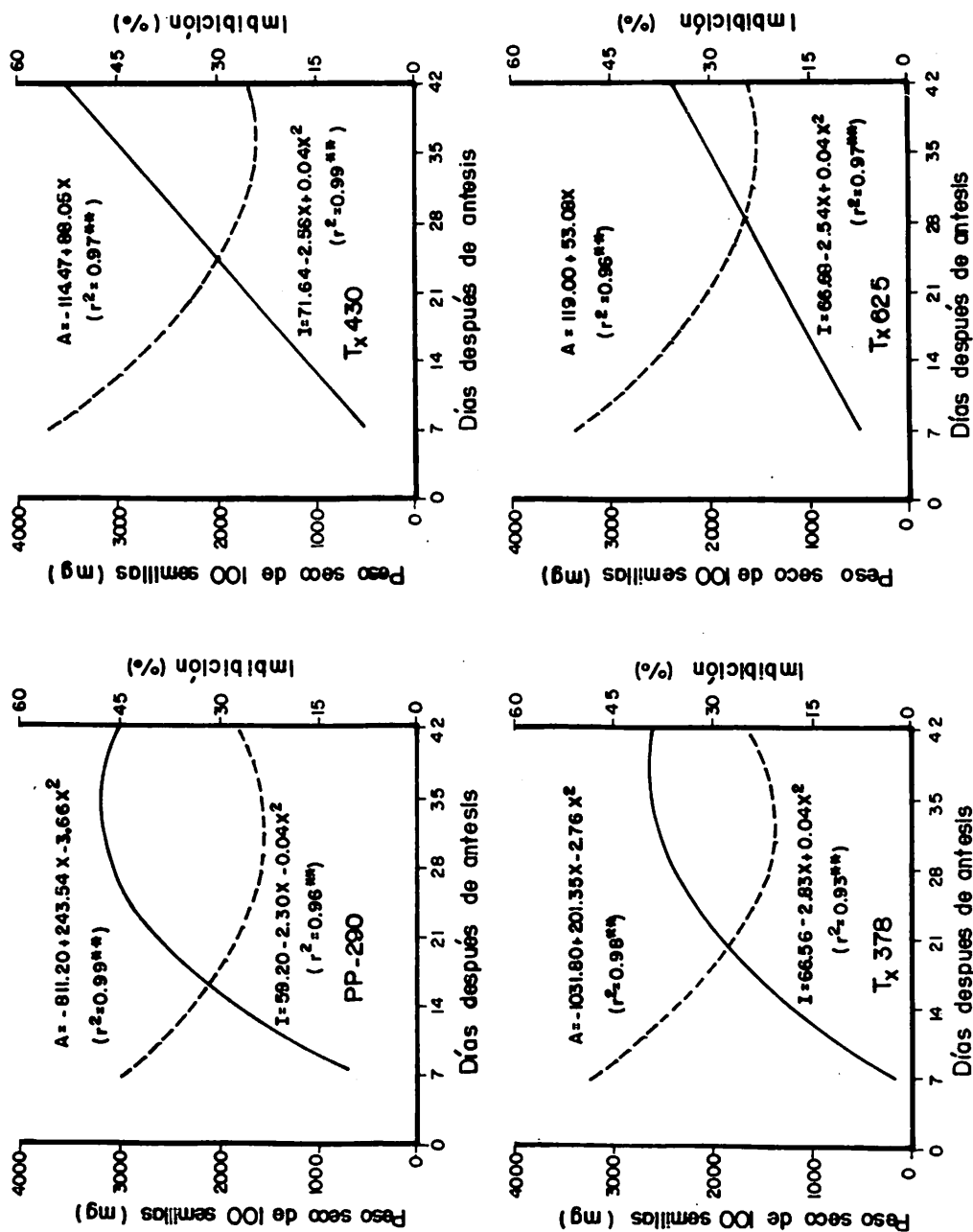


Figura 2. Acumulación de materia seca (—) e imbibición (---) de semillas cosechadas después de antesis, en cuatro genotipos de sorgo.

Cuadro 2. Porcentajes de absorción de agua en semillas de sorgo cosechadas después de antesis y sometidas a cuatro períodos de imbibición.

| Genotipo | Período de imbibición (hs) | Días después de antesis | | | | | |
|----------|----------------------------|-------------------------|------|------|------|------|------|
| | | 7 | 14 | 21 | 28 | 35 | 42 |
| PP 290 | 12 | 40.6 | 27.4 | 21.9 | 20.1 | 23.1 | 21.4 |
| | 24 | 45.5 | 30.8 | 25.9 | 23.7 | 25.2 | 24.2 |
| | 36 | 46.4 | 31.6 | 27.0 | 24.4 | 25.3 | 26.3 |
| | 48 | 46.0 | 30.7 | 25.9 | 24.4 | 24.4 | 24.7 |
| Tx 378 | 12 | 43.7 | 26.9 | 19.7 | 17.7 | 18.4 | 18.8 |
| | 24 | 50.0 | 30.7 | 23.2 | 22.6 | 21.9 | 22.5 |
| | 36 | 51.6 | 31.2 | 25.5 | 23.8 | 24.4 | 23.3 |
| | 48 | 50.5 | 30.3 | 24.7 | 22.6 | 23.2 | 22.2 |
| Tx 430 | 12 | 52.9 | 36.2 | 29.5 | 22.2 | 21.2 | 20.8 |
| | 24 | 55.5 | 39.8 | 32.6 | 25.1 | 23.8 | 23.5 |
| | 36 | 55.6 | 41.4 | 34.2 | 26.2 | 24.6 | 25.2 |
| | 48 | 54.9 | 41.6 | 33.2 | 26.1 | 23.5 | 24.2 |
| Tx625 | 12 | 44.4 | 32.2 | 25.3 | 20.7 | 20.1 | 19.8 |
| | 24 | 49.8 | 35.2 | 28.6 | 23.6 | 22.9 | 22.6 |
| | 36 | 51.6 | 36.8 | 30.0 | 22.9 | 25.9 | 23.5 |
| | 48 | 50.7 | 36.3 | 29.1 | 22.6 | 25.7 | 24.2 |

La velocidad de imbibición, independientemente de la etapa de desarrollo de la semilla, fue alta en las primeras 12 horas y declinó rápidamente entre las 24 y 48 horas posteriores al inicio de la prueba, lo cual coincide con los resultados de Meyers *et al.* (1984) y Maití *et al.* (1985). A los siete días después de antesis y durante las primeras 12 horas, la imbibición fluctuó de 40.6 a 52.9%; para las 24 y 48 horas siguientes ésta aumentó entre 2.6 y 4.9% y en 2.7 a 6.0%, respectivamente. A los 35 días después de antesis la imbibición en las primeras horas fluctuó de 18.4 a 23.1%; y se incrementó entre 2.1 y 3.5% y entre 2.8

y 6.0% a las 24 y 48 hs, respectivamente (Cuadro 2). La rápida absorción de agua en las primeras horas se atribuye a la imbibición de los coloides de la semilla seca, al ablandamiento de las cubiertas y a la rápida hidratación del protoplasma (Ching, 1972).

Por último, la absorción lograda en un período de 12 horas, una vez que la semilla maduró fisiológicamente, fluctuó entre 18.4 y 20.1% en genotipos de maduración precoz (PP 290 y Tx 378) y entre 19.8 y 21.2% en los de maduración intermedia (Tx 625 y Tx 430), lo cual coincide con resultados de Maití (1986), quien encontró que la

capacidad de imbibición por granos comerciales varía de 13 hasta 47% debiéndose tal amplitud a diferencias genotípicas.

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados anteriores se concluye que:

Semillas cosechadas siete días después de antesis en la línea PP 290 mostraron 75% de viabilidad y 71% de germinación, superando a Tx 430, Tx 378 y Tx 625 en ese muestreo.

En los cuatro genotipos, las semillas inmaduras de sorgo alcanzaron su máxima viabilidad y germinación a los 21 días después de la antesis, aunque desde los 14 días después de ésta presentaron valores de germinación superiores al 50%.

La acumulación de materia seca de semillas en desarrollo fue casi lineal entre los 7 y 21 días después de antesis en genotipos precoces, lográndose la máxima acumulación aproximadamente a los 35 días de ocurrida ésta. En genotipos de ciclo intermedio, la acumulación se comportó en forma lineal hasta la madurez fisiológica, la cual ocurrió cerca de 40 días después de antesis.

La mayor absorción de agua, independientemente del período de imbibición, se presentó en las semillas menos maduras. En cualquier etapa de desarrollo de éstas, la mayor absorción de agua ocurrió durante las primeras 12 horas de imbibición.

BIBLIOGRAFIA

- Artschwager, E. and R. C. McGuire. 1949. Cytology of reproduction in *Sorghum vulgare*. J. Agric. Res. 78: 659-673.
- Casey, J. E. 1947. Apparent dormancy in sorghum seed. Assoc. Seed. Anal. News. 21: 34-46.
- Clark, L. E., J. W. Collier, and R. Lagston. 1967. Dormancy in *Sorghum bicolor* (L.) Moench. I. Relationship to seed development. Crop Sci. 7: 497-501.
- Collier, J. W. 1963. Caryopsis development in several grain sorghum varieties and hybrids. Crop Sci. 3: 419-421.
- Ching, T. M. 1972. Metabolism of germination seeds. In: Seed Biology Vol. II. Kozlowski, T. T. (ed.). New York, Academic Press. pp. 103-205.
- Eastin, J. D., J. H. Hultquist, and C. Y. Sullivan. 1973. Physiologic maturity in grain sorghum. Crop Sci. 13: 175-178.
- Glueck, J. A. and L. W. Rooney. 1976. Physical and chemical characterization of sorghum lines with resistance to grain deterioration. Cereal Food World 21: 436-437.
- Godsell, S. F. 1957. Germination of dormant sorghum seed. Agron. J. 49: 387-389.
- ISTA. 1985. International rules for seed testing. Rules 1985. Seed Sci. and Technol. 13:299-355.
- Kersting, J. F., F. C. Stickler, and A. W. Pauli. 1961. Grain sorghum caryopsis development. I. Changes in dry weight, moisture percentage and viability. Agron. J. 53: 36-38.
- Krishnasamy, V. and K. R. Ramaswamy. 1985. Effect of date of harvest on the yield, size, germination and vigour of the seed of "CHS-5" hybrid sorghum. Indian J. Agric. Sci. 55: 526-530.
- Maitf, R. K. 1986. Morfología, Crecimiento y Desarrollo del Sorgo. Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de Nuevo León. Marín, N. L. pp. 15-51.

- _____, P. S. Raju, and R. R. Bidinger. 1985. Studies on germinability and some aspects of pre-harvested physiology of sorghum grain. *Seed Sci. and Technol.* 13: 27-35.
- Meyers, S. P., C. J. Nelson, and R. D. Horrocks. 1984. Temperature effects on imbibition, germination and respiration of grain sorghum. *Field Crops Res.* 8: 135-142.
- Paulson, I. W. 1969. Embriogeny and caryopsis development of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *Crop Sci.* 9:98-102.
- Quinby, J. R. 1972. Grain filling period of sorghum parents and hybrids. *Crop Sci.* 12: 690-691.
- Robbins, W. A. and R. H. Porter. 1946. Germinability of sorghum and soybean seed exposed to low temperature. *J. Amer. Soc. Agron.* 38: 905-913.
- Subramanian, V., R. Jambunathan, and N. Seetharama. 1983. Biochemical changes during seed development in sorghum (*Sorghum bicolor*). *Phytochemistry* 22: 1097-1101.
- Trujillo A., J. 1986. El programa de investigación del cultivo de sorgo para el trópico mexicano. En: Memorias de la II Reunión Nacional de Sorgo. González C., G. (comp.). Universidad Autónoma de Sinaloa. Culiacán de Rosales, Sin. pp. 66-71.
- Valdivia B., R. 1977. Estudio de algunos aspectos bioquímicos y fisiológicos relacionados con la germinación en panoja del grano de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Méx. 125 p.