

Determinación de la calidad física y fisiológica en semillas de sorgos evaluados en el Bajío

Jaime Cruz Rodríguez-Gómez^{1,§}

Miguel Hernández-Martínez²

1 Posgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Producción de Semillas-Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. CP. 56264.

2 Campo Experimental Bajío-INIFAP. Carretera Celaya San Miguel de Allende km 6.5, Celaya, Guanajuato, México. CP. 38110.

Autor para correspondencia: rodriguez.jaime@colpos.mx.

Resumen

Para que una semilla sea considerada de alta calidad sus atributos de pureza física, fisiológica y genética deben estar en equilibrio, es por ello por lo que, es de vital importancia su evaluación a través de criterios científicos para su producción y comercialización. En el Laboratorio de Análisis de Semillas del Programa de Producción de Semillas, del Colegio de Postgraduados, *Campus* Montecillo, en 2022 se determinó el contenido de humedad, peso volumétrico y peso de 1000 semillas y se estableció una prueba de germinación estándar con el objetivo de determinar la calidad física y fisiológica en semillas de sorgos cultivados durante el ciclo agrícola otoño-invierno de 2021 en el Campo Experimental Bajío del INIFAP. Los parámetros de calidad física y fisiológica se evaluaron empleando un diseño completamente al azar. El análisis estadístico se realizó mediante un análisis de varianza y la prueba Tukey ≤ 0.5 , empleando el paquete estadístico RStudio 4.3.3. Los cultivares ET-V5 (78.74 g) y Súper Sorgo 35 (38.5 g) presentaron los valores más altos en cuanto a las variables peso volumétrico y peso de 1000 semillas, respectivamente. El cultivar Silo Máster presentó los valores más altos para porcentaje de germinación y porcentaje de viabilidad (82.75 y 86.25%), respectivamente. Los cultivares ET-V5, Súper Sorgo 09 y Super Sorgo 35 presentaron la mejor calidad física en semillas entre los materiales evaluados. Silo Máster superó a los demás cultivares evaluados obteniendo los valores más altos en cuanto a la calidad fisiológica en semillas. Las semillas de los híbridos comerciales con propósito forrajero presentaron mejor calidad física y fisiológica que las variedades experimentales doble propósito, forrajero-etanolero, sobresaliendo los cultivares Silo Máster, Súper Sorgo 09, Super Sorgo 35, ET-V5.

Palabras clave:

(*Sorghum bicolor* (L.) Moench), calidad física, calidad fisiológica, prueba de germinación estándar, prueba de vigor mediante envejecimiento acelerado.



Introducción

El sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) es el quinto cereal más importante en el mundo después del trigo, el arroz, el maíz y la cebada y uno de los alimentos básicos de la población más desposeída del mundo, en particular en los países en desarrollo de África y el sur de Asia (FAO, 2022). A nivel mundial, el sorgo desempeña un papel fundamental en el suministro de alimentos, piensos, forrajes y combustible, además, proporciona la mitad de las calorías alimentarias del mundo (Reynolds *et al.*, 2016).

La fenología del cultivo de sorgo está determinada por la tasa de desarrollo, que representa la edad de una planta y se ve afectada principalmente por el fotoperiodo y la temperatura (Caddel y Weibel, 1971; Quinby *et al.*, 1973; Gerik y Miller, 1984; Hammer *et al.*, 1989; Craufurd *et al.*, 1999). En cambio, el crecimiento del cultivo, que representa la biomasa producida, se ve afectado principalmente por la radiación incidente (Hammer *et al.*, 2010).

Los sorgos forrajeros-etanoleros evaluados en esta investigación son de ciclo intermedio (135 a 140 días a madurez de grano), se adaptan a climas cálidos, semicálidos y templados, con fechas de siembra otoño-invierno y primavera-verano, densidad de siembra 15 kg ha⁻¹, 75 a 85 días a floración, presentan un rendimiento potencial de biomasa de 55 a 80 t ha⁻¹, concentran 16° brix y permite 2 a 3 cortes, dependiendo del riego, fecha de siembra y localidad (INIFAP, 2010). Los Súper Sorgos son híbridos que presentan una tasa de crecimiento aproximado de 6.4 cm día⁻¹, una altura al base de la panoja de 5.2 m a 81 dds, una producción de materia verde de 173 t ha⁻¹, concentran 14° brix. Pueden ser utilizados como biocombustible con base a su alto rendimiento de biomasa; como forraje para alimentar animales, cuya demanda crece cada día mundialmente (INIFAP, 2010).

Los países en desarrollo concentran el 92% del total de la superficie sembrada de sorgo a nivel mundial, África, posee el 65% de esta superficie y el 43% de la producción mundial, seguida de Asia con 17 y 13.5% y América Latina con 10 y 20%, en cuanto a superficie y producción de este cultivo en todo el mundo, respectivamente (FAO, 2022). En África, el sorgo se cultiva en tierras marginales en condiciones de bajos insumos y, en consecuencia, los niveles de rendimiento son relativamente bajos (Orr *et al.*, 2016). En América latina, los niveles de rendimiento son altos debido a prácticas de cultivo más intensivas como en los países desarrollados.

Para lograr altos rendimientos, las semillas utilizadas en la siembra deben ser de alta calidad (Almekinders and Louwaars, 1999). La calidad de las semillas incluye la suma de atributos físicos, fisiológicos, genéticos y sanitarios responsables del desempeño de las semillas en el campo, contribuyendo al establecimiento adecuado de las plántulas, lo cual es crucial para el éxito de un cultivo (Bishaw *et al.*, 2007). La calidad física puede ser evaluada a través de la determinación del contenido de humedad, peso volumétrico y peso de 1000 semillas (Delouche, 1980). La calidad fisiológica comprende aquellos atributos intrínsecos que determinan su capacidad para germinar y puede medirse a través de pruebas de germinación estándar y de vigor mediante envejecimiento acelerado.

En México, la producción de semilla certificada de sorgo a nivel nacional en el ciclo agrícola otoño-invierno 2018-2019 fue de 33.23 t, lo que representa menos del 1% del requerimiento para la siembra de este cultivo a nivel nacional, el otro 99% se suple a través de importaciones (Córdova

et al., 2019). Durante el año agrícola OI+PV 2023 se sembraron 1 336 145.92 ha de sorgo para grano, de estas se cosecharon 1 233 595.92 ha, con una producción de 4 539 101.71 t de sorgo; del total de la superficie sembrada el 31.38% (419 245.28 ha) correspondió a la modalidad bajo riego, con un rendimiento promedio de 3.68 t ha⁻¹ y el 68.62% (916 900.64 ha) a temporal, con un rendimiento promedio de 2.96 t ha⁻¹ de sorgo (SIAP, 2023).

Pecina-Becerril *et al.* (2021), evaluaron la calidad de semillas de catorce líneas de sorgo generadas por el INIFAP, a través de los días a floración, el peso de 1 000 semillas, la germinación al momento de la cosecha y después de seis meses de almacenamiento; en cuanto a la calidad de semilla, señalaron que pesar que se presentaron fuertes precipitaciones durante el llenado de grano y madurez fisiológica las líneas SBA-25, LBA-98, LBA-101 y la cruza SBA25 x SBR-31 sobresalieron por su alto porcentaje de germinación y mantuvieron su calidad después de seis meses de almacenamiento. Por otra parte, Rodrigues *et al.* (2020), en Brasil, evaluaron el efecto de diferentes temperaturas de secado y tiempos de almacenamiento en la calidad fisiológica en semillas de sorgo granífero; los resultados mostraron que parámetros como emergencia, envejecimiento acelerado y la longitud de las plántulas disminuyeron durante el almacenamiento, mientras que la conductividad eléctrica aumentó con el tiempo.

El objetivo de esta investigación fue determinar la calidad física y fisiológica en semillas de cultivares de sorgos forrajeros-etanoleros y Súper Sorgos que fueron cultivados en el Bajío de México.

Materiales y métodos

Ubicación del sitio experimental

La presente investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Análisis de Semillas del Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad, Programa de Producción de Semillas, del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Es preciso señalar que la evaluación agronómica de los genotipos de sorgo se llevó a cabo en el Campo Experimental Bajío del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en el municipio de Celaya, estado de Guanajuato, México, durante el ciclo agrícola otoño-invierno de 2021.

Manejo agronómico en campo

La fertilización al momento de la siembra se realizó utilizando la fórmula 90-40-00 (kg ha⁻¹ de N-P2O5-K2O); luego, a los 35 días después de siembra, al momento de la primera escarda, se aplicaron 90 kg ha⁻¹ de nitrógeno. El requerimiento hídrico del cultivo se suplió a través del riego de nacencia, aunque se programaron cuatro riegos con calendario 0-35-75-110 días después de siembra, no se llevaron a cabo los tres últimos ya que la precipitación durante el ciclo de cultivo (750 mm) fue superior al promedio (520 mm). El control de malezas se efectuó en preemergencia aplicando 2 L ha⁻¹ de Gesaprim Combi (Atrazina+Terbutrina). El control del pulgón amarillo del sorgo (*Melanaphis sacchari*), plaga que se presentó a los 45 días después de siembra, se llevó a cabo utilizando el insecticida Toretto (Sulfoxaflor) con dosis de 50 ml ha⁻¹.

Material genético

El material genético consistió en semillas cosechadas de cultivares de sorgos evaluados en el Campo Experimental Bajío, Silo Máster, Silo Miel, Silage King, RB-Cañero, Súper Sorgo 02, Súper Sorgo 09 y Súper Sorgo 35 (híbridos comerciales con propósito forrajero), ETV1, ETV-2, ET-V3, ET-V4, ET-V5 (variedades experimentales doble propósito, forrajero-etanolero) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), durante el ciclo agrícola otoño-invierno de 2021.

Diseño experimental

La calidad física y fisiológica en semillas de sorgo se evaluó a través de un experimento establecido bajo un diseño completo al azar con el número de repeticiones que establece la ISTA, 2015, para cada prueba. En campo se empleó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones, la unidad experimental consistió en cuatro surcos de 5 m de longitud y una distancia entre surcos de 0.76 m, la parcela útil fue de un surco central, la siembra se realizó manualmente con depósito continuo de semilla (chorrillo).

Variables evaluadas

Variables de calidad física

La calidad física se determinó a través del contenido de humedad (CH), peso volumétrico (PV) y peso de 1 000 semillas (PMS). Para la determinación CH se utilizó el método de secado en estufa a una temperatura de 130 °C por un periodo de 2 h. En este método se asume que, mediante el calor aplicado a la muestra, se elimina solamente el agua del grano, midiéndose entonces la materia seca, y por diferencia de peso se calcula el contenido de humedad expresado en porcentaje (ISTA, 2015). Para el procedimiento se utilizaron cajas vacías, las cuales se pesaron con sus respectivas tapas, se vertieron 5 g de semilla entera de sorgo dentro de cada caja, cuatro repeticiones por genotipo se taparon e inmediatamente se pesaron, posteriormente se colocaron dentro de la estufa, después de transcurrido el periodo de secado se retiraron las cajas de la estufa y se pesaron. El CH se calculó mediante la siguiente ecuación: $\%dehumedad = \frac{M2 - M3 \times 100}{M2 - M1}$, en donde, M1= peso en gramos de la caja y su tapa; M2= peso en gramos de la caja, tapa y semilla antes del secado y M3= peso en gramos de la caja, tapa y semilla después del secado.

El PV se evaluó a partir de una muestra de 100 g de semilla, la cual fue vertida en una probeta de 100 ml para determinar el volumen ocupado. El dato se tomó en cuatro repeticiones por genotipo. El PV se calculó con la siguiente ecuación: $Pesovolumetrico = \frac{pesodesemilla(100g)}{volumenocupadoporlos100g} \times 100$. Para obtener el PMS se pesaron ocho repeticiones de 100 semillas por genotipo, con los datos obtenidos se calculó el promedio, la varianza, la desviación estándar y el coeficiente de variación. Cuando el coeficiente de variación obtenido es inferior a 4, el PMS se obtiene multiplicando la media aritmética de las ocho repeticiones por 10 (ISTA, 2015).

Variables de calidad fisiológica

La calidad fisiológica se evaluó mediante una prueba de germinación estándar a través de las variables porcentaje de germinación (PG), porcentaje de plántulas anormales (PPA), porcentaje de semillas no germinadas (PSNG) y porcentaje de viabilidad (PDV).

Prueba de germinación estándar

se tomó de cada genotipo una muestra de 100 semillas, para establecer cuatro repeticiones de 25 semillas. El experimento se llevó a cabo utilizando el método “entre papel” recomendado por la ISTA (2015) , con cierta modificación respecto a la desinfección de las semillas, la cual consistió en remojar las semillas en una solución de hipoclorito de sodio al 5% por un periodo de 10 min. El método “entre papel” consiste en extender dos toallas de papel previamente humedecidas con agua destilada sobre una superficie plana previamente desinfectada con etanol e hipoclorito de sodio, y sobre las cuales se colocaron 25 semillas distribuidas en cinco columnas y cinco hileras; posteriormente, las semillas se cubrieron con otras dos toallas húmedas, se enrollaron y ubicaron en bolsas de plástico con orientación vertical. Después, los “rollos” se llevaron a un cuarto de germinación con temperatura de 25 °C. En el cuarto de germinación la distribución de los tratamientos fue bajo un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones.

Durante la prueba, se mantuvieron constantes los niveles de humedad y la temperatura de 25 °C. La prueba tuvo una duración de 10 días. El PG se estimó respecto a las plántulas con germinación normal, es decir, aquellas que presentaron raíz, mesocótilo, coleóptilo y hojas bien desarrolladas, sanas y sin malformaciones. Se realizó un solo conteo a los 10 días de establecida la prueba. El PG se calculó mediante la siguiente ecuación: $Porcentaje\ de\ germinación = \frac{numero\ de\ plantas\ normales}{100} \times 100$. PPA, se contaron las plántulas que presentaron malformaciones en algunas de sus estructuras esenciales. La determinación del PPA se realizó mediante la ecuación siguiente: $Porcentaje\ de\ plántulas\ anormales = \frac{numero\ de\ plantas\ anormales}{100} \times 100$. PSNG, se contaron las semillas que no presentaron estructuras esenciales. Para la determinación del PSNG se utilizó la siguiente ecuación: $Porcentaje\ de\ semillas\ no\ germinadas = \frac{numero\ de\ semillas\ no\ germinadas}{100} \times 100$. PDV, se refiere al porcentaje de semillas que presentaron germinación visible (plántulas normales más plántulas anormales) al finalizar la prueba. La determinación del PDV se realizó mediante la siguiente ecuación: $Porcentaje\ de\ viabilidad = \frac{plántulas\ normales + plántulas\ anormales}{100} \times 100$.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron analizados mediante un análisis de varianza y la prueba Tukey 5%, empleando el paquete estadístico RStudio 4.3.3., 2020.

Resultados y discusión

Evaluación de la calidad física de semilla

El análisis de varianza mostró diferencias highly significativas ($p \leq 0.01$) entre los tratamientos evaluados (Cuadro 1).

Cuadro 1. Significancia estadística de los cuadrados medios de las variables de calidad física.

Variables evaluadas	Fuentes de variación	CV (%)	R2
Cultivares de sorgo			
Contenido de humedad	0.74**	3.78	0.59
Peso volumétrico	24.69**	1.27	0.89
Peso de 1000 semillas	1.27**	2.42	0.97

Significancia a $p \leq 0.05$; **= $p \leq 0.01$; CV= coeficiente de variación; R2= coeficiente de determinación.

Comparación de medias

En lo que respecta al CH los cultivares Súper Sorgo 02 (11%), Silo Miel (10.91%), ET-V4 (10.75%) y ET-V3 (10.4%) presentaron los valores más altos y Súper Sorgo 09 (9.35%) el más bajo (Cuadro 2). Las semillas contienen alrededor de un 30% de humedad en la madurez fisiológica, y el nivel se reduce al 10-15% a los 20-25 días después de alcanzar la madurez fisiológica (House, 1985).

Cuadro 2. Comparación de medias de las variables de calidad física.

Cultivares	Contenido de humedad (%)	Peso volumétrico (kg hl-1)	Peso de 1 000 semillas (g)
ET-V1*	10.15 b	71.05 c	24.3 e
ET-V2*	10.25 b	72.5 b	35.8 b
ET-V3*	10.4 a	75.62 b	35.9 b
ET-V4*	10.75 a	74.1 b	26 e
ET-V5*	10.3 b	78.74 a	31.9 c
Súper Sorgo 02**	11 a	72.33 b	21.8 f
Súper Sorgo 09**	9.35 c	77.82 b	36.9 b
Súper Sorgo 35**	10.15 b	77.22 b	38.5 a
Silo Máster**	10.15 b	75.62 b	25.2 e
Silo Miel**	10.91 a	77.07 b	25.8 e
Silage King**	10.3 b	77.82 b	29.4 d
RB Cañero**	10.3 b	74.78 b	29.1 d

Medias con letras iguales dentro de columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey ≤ 0.05). *= variedades experimentales; **= híbridos comerciales.

El porcentaje de humedad de las semillas es generalmente mayor en la época de cosecha cuando se utilizan semillas con niveles bajos de vigor en el establecimiento del cultivo. Este hallazgo indica que el proceso de maduración puede retrasarse debido al bajo vigor de las semillas utilizadas en la siembra (Camargo y Vaughan, 1973).

En cuanto a las variables PV y PMS los cultivares ET-V5 (78.74%) y Súper Sorgo 35 (38.5 g) presentaron los valores más altos, respectivamente, y ET-V1 (71.05%) y Súper Sorgo 02 (21.8 g) los valores más bajos, difiriendo con los resultados obtenidos por Bravo *et al.* (2021) que evaluar el rendimiento del grano de cuatro diferentes híbridos de sorgo de grano MALÓN, ADVANTA 1302, ADVANTA 1350, ADVANTA 1250 y su adaptabilidad en tres agroecosistemas de la provincia de los Ríos, Ecuador, reportaron que el peso promedio de 1000 semillas osciló entre 22.9 a 32.6 g.

Es importante resaltar que a pesar de que los materiales evaluados presentaron diferencia estadística significativa con respecto a las variables medidas, estas están por encima del promedio de los valores reportados en la literatura para este cultivo, lo que evidencia la buena calidad física que poseen estos cultivares de sorgo (ISTA, 2015), respecto a las variables medidas.

Evaluación de la calidad fisiológica de la semilla

Prueba de germinación estándar

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas ($p \leq 0,01$) en todas las variables estudiadas, excepto en el porcentaje de plántulas anormales (Cuadro 3).

Cuadro 3. Significancia estadística de los cuadrados medios de las variables evaluadas en la prueba de germinación estándar.

Variables	Fuentes de variación	CV (%)	R2
Cultivares de sorgo			
Germinación (%)	245.37**	7.72	0.75
Plántulas anormales (%)	23.14	46.3	0.39
Semillas no germinadas (%)	186.02**	17.08	0.72
Viabilidad (%)	186.02**	6.49	0.72

Significancia a $p \leq 0.05$; **= $P \# 0.01$; CV= coeficiente de variación; R2= coeficiente de determinación.

Comparación de medias

El cultivar Silo Máster presentó los valores más altos para PG y PDV (82.75 y 86.25%), respectivamente, y el valor más bajo lo presentó el cultivar ET-V1 (53.75%). Por otro lado, lo concerniente a SNG, el valor más alto lo presentó el cultivar ET-V1 (41%) y el más bajo el cultivar Silo Máster (13.75%) (Cuadro 4). Ruiz *et al.* (2018) , al estudiar el efecto del calibre de semilla en la germinación de los cultivares de sorgo ISIAP Dorado y CIAP 132R, reportaron valores de germinación entre 65.75 a 79.75% para CIAP 132R y para ISIAP Dorado 71.25 a 85.75%. Los resultados reportados por los autores guardan cierta relación con los encontrados en este estudio.

Cuadro 4. Comparación de medias de las variables evaluadas en la prueba de germinación estándar.

Cultivares	Germinación (%)	Plántulas anormales (%)	Semillas no germinadas (%)	Viabilidad (%)
ET-V1*	53.75 c	5.25 a	41 a	59 c
ET-V2*	66 b	9 a	25 b	75 b
ET-V3*	72.5 b	5.5 a	22 b	78 b
ET-V4*	68.25 b	8 a	23.75 b	76.25 b
ET-V5*	60.75 b	8.5 a	30.75 b	69.25 b
Súper Sorgo 02**	61.75 b	11 a	27.25 b	72.75 b
Súper Sorgo 09**	58.5 b	8 a	33.5 b	66.5 b
Súper Sorgo 35**	61.25 b	7.75 a	31 b	69 b
Silo Máster**	82.75 a	3.75 a	13.75 c	86.25 a
Silo Miel**	67.5 b	3.75 a	28.75 b	71.25 b
Silage King**	71.5 b	5.5 a	23 b	77 b
RB Cañero**	59.25 b	10.25 a	30.5 b	69.5 b

Medias con letras iguales dentro de columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey ≤ 0.05). *= variedades experimentales; **= híbridos comerciales.

En la prueba de germinación estándar el cultivar Silo Máster sobresalió con respecto a los demás cultivares evaluados presentando mayor PG y PDV y el menor PSNG, en contraparte con el cultivar ET-V1 que presentó los valores más bajos en cuanto a PG y PDV y el mayor PSNG. Batista *et al.* (2022), al evaluar la calidad fisiológica y el desempeño inicial de plantas de sorgo cuyas semillas fueron recubiertas con zinc reportaron valores de germinación que oscilaron entre el 80 y 85.5%. Muui *et al.* (2020), evaluaron atributos de calidad fisiológica de semillas de accesiones de germoplasma de sorgo de las regiones oriental, costera y de Nyanza de Kenia, los autores reportaron porcentajes de germinación que oscilan entre 18 y 100%. Los resultados obtenidos en ambos trabajos guardan cierta relación con los obtenidos en esta investigación.

Conclusiones

Las semillas de los híbridos comerciales con propósito forrajero presentaron mejor calidad física y fisiológica que las variedades experimentales doble propósito, forrajero-etanolero, sobresaliendo los cultivares Silo Máster, Súper Sorgo 09, Super Sorgo 35, ET-V5.

Bibliografía

- 1 Almekinders, C. J. M. and Louwaars, N. P. 1999. Farmers' seed production: new approaches and practices. Intermediate Technology Publications, London. 250-285 pp.
- 2 Batista, V. A. P.; Vieira, H. D.; Pires, J. I. C. and Acha, A. J. 2022. Sorghum seed coating with zinc: Physiological quality and initial performance of plants. *Acta Scientiarum. Agronomy*. 44(1):e53803. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v44i1.53803>.
- 3 Bishaw, Z.; Niane, A. A. and Gan, Y. 2007. Quality seed production. Lentil: an ancient crop for modern times. 349-383 pp.
- 4 Bravo, B. D. A.; Pacheco, F. A.; Pérez, J. J. R.; Mesa, R. R.; Yáñez, J. C. O. and Salvatierra, J. B. 2021. Comportamiento agronómico y productivo de híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) en zonas agroecológicas de la Región Costa del Ecuador. *Revista Científica Agroecosistemas*. 9(3):168-178.
- 5 Caddel, J. L. and Weibel, D. E. 1971. Effect of photoperiod and temperature on the development of sorghum. *Agronomic Journal*. 6(3):799-803.
- 6 Camargo, C. P. and Vaughan, C. E. 1973. Effect of seed vigor on field performance and yield of grain sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Proceedings of the Association of Official Seed Analysts*. 63:135-147.
- 7 Córdova-Téllez, L.; Caballero-García, M. A.; Hernández-Nicolás, N. Y. and Ríos-Santos, E. 2019. Boletín informativo de producción de semilla calificada por el SNICS. 25-43 pp.
- 8 Craufurd, P. Q.; Mahalakshmi, V.; Bidinger, F. R.; Mukuru, S. Z.; Chanterreau, J.; Omanga, P. A.; Qi, A.; Roberts, E. H.; Ellis, R. H.; Summerfield, R. J. and Hammer, G. L. 1999. Adaptation of sorghum: characterization of genotypic flowering responses to temperature and photoperiod. *Theory Applied Genetic*. 99(5):900-911.
- 9 Delouche, J. C. 1980. Environmental effects on seed development and seed quality. *Hort Science*. 15(6):13-18.

- 10 FAO. 2022. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Cultivos y productos de ganadería. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL>.
- 11 Gerik, T. J.; Miller, F. R. 1984. Photoperiod and temperature effects on tropically and temperatelyadapted sorghum. *Field Crops Res.* 9:29-40.
- 12 Hammer, G. L.; Van Oosterom, E. V.; McLean, G.; Chapman, S. C.; Broad, I.; Harland, P. and Muchow, R. C. 2010. Adapting APSIM to model the physiology and genetics of complex adaptive traits in field crops. *J. Exp. Bot.* 61(8):2185-2202.
- 13 Hammer, G. L.; Vanderlip, R. L.; Gibson, G.; Wade, L. J.; Henzell, R. G.; Younger, D. R.; Warren, J. and Dale, A. B. 1989. Genotype-by-environment interaction in grain sorghum II. Effects of temperature and photoperiod on ontogeny. *Crop Science.* 29:376-384.
- 14 House, L. R. 1985. A guide to sorghum breeding, 2nd Ed. ICRISAT, Patancheru. 206 p.
- 15 INIFAP. 2010. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Noreste-Campo Experimental Río Bravo. Folleto técnico núm. 43. 13-25 pp. ISBN: 978-607-425-355-9.
- 16 ISTA. 2015. International Seed Testing Association. International rules for seed testing. Published by The International Seed Testing Association. PO. BOX 308, 8303 Bassersdorf, CH-Switzerland. 243 p.
- 17 Muui, C. W.; Muasya, R. M.; Nguluu, S. y Kambura, A. 2020. Evaluation of seed quality attributes of sorghum germplasm accessions from eastern, coastal and Nyanza regions, Kenya. *Sustainable Agriculture Research.* 9(3):1-9. <https://doi.org/10.5539/sar.v9n3p9>.
- 18 Orr, A.; Mwema, C.; Gierend, A. and Nedumaran, S. 2016. Sorghum and millets in Eastern and Southern Africa. Facts, trends and outlook. Working Paper Series No. 62. ICRISAT Research Program, Markets, Institutions and Policies. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, Patancheru. 76 p.
- 19 Pecina-Becerril, A.; Yáñez-López, R.; Quijano-Carranza, J. A.; Bujanos-Muñiz, R.; Andrio-Enriquez, E. y Pecina-Quintero, V. 2021. Producción y calidad de la semilla de sorgo en el Centro de México bajo polinización controlada: comportamiento de progenitores de sorgo. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria.* 23(1):20-79. <https://doi.org/10.21930/rcta.vol23-num1-art:2079>.
- 20 Quinby, J. R.; Hesketh, J. D. and Voigt, R. L. 1973. Influence of temperature and photoperiod on floral initiation and leaf number in sorghum. *Crop Science.* 13(2):243-246.
- 21 Reynolds, M. P.; Quilligan, E.; Aggarwal, P. K.; Bansal, K. C.; Cavalieri, A. J.; Chapman, S.; Chapotin, S. M.; Datta, S. K.; Duveiller, E.; Gill, K. S.; Krishna, S. V. J.; Joshi, A. K.; Koehler, A. K.; Kosina, P.; Krishnan, S.; Lafitte, R.; Mahala, R. S.; Muthurajan, R.; Paterson, A. H.; Prasanna, B. M.; Rakshit, S.; Rosegrant, M. W.; Sharma, I.; Singh, R. P.; Sivasankar, S.; Vadez, V.; Ravi, V.; Vara-Prasad, P. V. and Yadav, O. P. 2016. An integrated approach to maintaining cereal productivity under climate change. *Glob Food Sec.* 8:9-18.
- 22 Rodríguez, G. B.; Resende, O.; Silva, L. C. D. M. and Ferreira-Junior, W. N. 2020. Physiological quality of graniferous sorghum seeds during storage. *Research, Society and Development.* 9(6):e27963152. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i6.3152>.
- 23 RStudio Team. 2020. RStudio: integrated development environment for R. Boston, MA: RStudio, PBC. <http://www.rstudio.com/>.

- 24 Ruiz-Sánchez, M.; Muñoz-Hernández, Y.; Guzmán, D.; Velázquez-Rodríguez, R.; Díaz-López, G. S.; Martínez, A. Y. y Almeida, F. M. 2018. Efecto del calibre semilla (masa) en la germinación del sorgo. *Cultivos Tropicales*. 39(4):51-59.
- 25 SIAP. 2023. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Anuario estadístico de la producción agrícola. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. Ciudad de México. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>.



Determinación de la calidad física y fisiológica en semillas de sorgos evaluados en el Bajío

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 01 March 2025
Date accepted: 01 July 2025
Publication date: 10 November 2025
Publication date: Oct-Nov 2025
Volume: 16
Issue: 7
Electronic Location Identifier: e3853
DOI: 10.29312/remexca.v16i7.3853

Categories

Subject: Artículos

Palabras clave:

Palabras clave:

(*Sorghum bicolor* (L.) Moench)

calidad física

calidad fisiológica

prueba de germinación estándar

prueba de vigor mediante envejecimiento acelerado

Counts

Figures: 0

Tables: 4

Equations: 0

References: 25