

EFECTO DEL CALIBRE SEMILLA (MASA) EN LA GERMINACIÓN DEL SORGO

Effect of caliber seed (mass) in the germination of sorghum

**Michel Ruiz Sánchez¹✉, Yaumara Muñoz Hernández²,
Daniel Guzmán¹, Raiza Velázquez Rodríguez¹,
Guillermo S. Díaz López¹, Alexeis Y. Martínez²
y Fernando M. Almeida³**

ABSTRACT. The research was carried out at the Base Scientific Technological Unit “Los Palacios”, Cuba, with the objective of determining the effect of the size of the seed (mass) of sorghum in its germination during the dry periods of 2017 and 2018. He worked with two cultivars of sorghum CIAP 132R and ISIAP Dorado. The first experiment was developed in Petri dishes and the second in metal trays (0.70 x 0.50 x 0.08 m), which contained a Gleysol Nodular ferruginoso petroférico. Six calibers of seeds (mass) were evaluated in the two experiments: M1 (0.015 - 0.020 g); M2 (0.021-0.025 g); M3 (0.026 - 0.030 g); M4 (0.031 - 0.035 g); M5 (0.036 - 0.040 g) and the control treatment (mixture of seed size). The germination percentage (PG) was evaluated in time, with a 24 h interval until 96 h after sowing, the germination speed index (IVG), the average number of days to germination (NMDG) and the accumulation of aerial dry mass (MSA) at 10 days after the emergency (DDE). It was found that always the highest seed size (mass) corresponded to the highest PG, IVG and lowest NMDG in both cultivars. The quality indicators PG, IVG and NMDG deteriorate less in the greater seed caliber, in addition to that, to the 10 DDE accumulated greater MSA. A strong and positive relationship was found between the PG and the MSA, which indicated a dependence on the germinative power of the seed.

RESUMEN. La investigación se realizó en la Unidad Científico Tecnológica de Base “Los Palacios”, Cuba, con el objetivo de determinar el efecto del calibre de la semilla (masa) de sorgo en su germinación, en los periodos poco lluviosos de 2017 y 2018. Se trabajó con dos cultivares de sorgo CIAP 132R y ISIAP Dorado. El primer experimento se desarrolló en placas Petri y el segundo en bandejas metálicas (0,70 x 0,50 x 0,08 m), las cuales contenían un suelo Gleysol Nodular ferruginoso petroférico. Se evaluaron seis calibres de semillas (masa): M1 (0,015-0,020 g); M2 (0,021-0,025 g); M3 (0,026-0,030 g); M4 (0,031-0,035 g); M5 (0,036-0,040 g) y un tratamiento testigo (mezcla de calibre de semillas). Se evaluó el porcentaje de germinación (PG) en el tiempo, con un intervalo de 24 horas hasta las 96 horas después de la siembra, el índice de velocidad de germinación (IVG), el número medio de días a la germinación (NMDG) y la acumulación de masa seca aérea (MSA) a los 10 días después de la emergencia (DDE). Se encontró que siempre el mayor calibre semilla (masa) se correspondió con el mayor PG, IVG y menor NMDG en ambos cultivares. Los indicadores de calidad PG, IVG y NMDG se deterioran menos en el mayor calibre semilla, además de que, a los 10 DDE acumularon mayor MSA. Se encontró una relación fuerte y positiva entre el PG y la MSA, que indicó una dependencia del poder germinativo de la semilla.

Key words: cereal, *Sorghum bicolor*, reserve, vigor

Palabras clave: cereal, *Sorghum bicolor*, reserva, vigor

INTRODUCCIÓN

El sorgo (*Sorghum* sp.) es el cuarto cereal en importancia mundial. Aproximadamente en el mundo se siembran 40 millones de hectáreas en la faja comprendida entre los 50° latitud Norte y 50° latitud Sur. Este cultivo constituye una especie típica de zonas cálidas (1). Los principales países productores son: India, Nigeria, Estados Unidos de Norteamérica, Sudán, México y Argentina, siendo este cultivo de

¹ Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), carretera San José-Tapaste, km 3½, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba. CP 32 700

² Universidad "Hermanos Saiz Montes de Oca", calle Martí final, Pinar del Río, Cuba

³ Profesor Asistente, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad "José Eduardo dos Santos", Huambo, Angola

✉ mich@inca.edu.cu

gran importancia en países en vías de desarrollo (2). África es el país con mayor superficie cultivable de este cereal (1).

El sorgo es uno de los cereales que por sus características agronómicas y nutricionales, pudiera aportar grandes beneficios a la alimentación, tanto humana como animal a nivel nacional y mundial. Su importancia radica fundamentalmente en la utilización del grano y el forraje para el alimento animal y como parte esencial de un sistema de rotaciones para mantener la productividad y estructura del suelo. Si bien el destino, a nivel local, ha sido la alimentación animal, en el mundo, alrededor del 40 % de la producción del sorgo granífero es destinado a la alimentación humana, como participante en la producción de alimentos y bebidas para el ser humano (2).

En Cuba, específicamente en la provincia de Pinar del Río, en la última década la superficie cultivable de este cereal se incrementó hasta 700 ha y se estima que alcance las 4000 ha si existieran las condiciones infraestructurales necesarias, debido a su alto valor en la alimentación porcina (3). Para tal propósito se realizan acciones en función del secado y almacenamiento del grano.

La germinación es el reinicio del crecimiento del embrión, paralizado durante las fases finales de la maduración. Los procesos fisiológicos de crecimiento exigen actividades metabólicas aceleradas y la fase inicial de la germinación consiste primariamente en la activación de los procesos, por aumento en la humedad y actividad respiratoria de la semilla (4). La absorción de agua por la semilla desencadena una secuencia de cambios metabólicos que incluye la respiración, la síntesis proteica y la movilización de reservas. A su vez, la división y el alargamiento celular en el embrión provocan la rotura de las cubiertas seminales, que generalmente se producen por la emergencia de la radícula (5). Sin embargo, las semillas de muchas especies son incapaces de germinar, aun cuando presentan condiciones favorables para ello, lo cual se debe a que, las semillas se encuentran en estado de latencia. Mientras no se den las condiciones adecuadas para la germinación, la semilla se mantiene en estado latente durante un tiempo variable, dependiendo de la especie, hasta que en un momento dado pierda su capacidad de germinar (5).

El bajo porcentaje de germinación de la semilla y la pérdida de la misma es hoy, uno de los principales problemas que afecta la agricultura cubana (6), situación que depende de varios factores externos que afectan la germinación y la velocidad con que ocurre la misma. Entre estos, a la humedad del sustrato, temperatura, la luz, el oxígeno y el dióxido de carbono (7–9), se suma el manejo pos-cosecha, que incluye las condiciones de almacenamiento y conservación

de las semillas, elementos que son fundamentales para mantener los parámetros de calidad de la misma en el tiempo. El tamaño de la semilla y el hábito de crecimiento están relacionados con la eficiencia en la asignación de biomasa al grano en el ambiente de crecimiento, pero además depende de otras características de la semilla, como el vigor (10).

La emergencia de una plántula depende entonces de las características fisiológicas y bioquímicas de las semillas, de su reacción a las condiciones externas a ella y de la eficiencia al utilizar sus reservas durante la germinación (11).

Como requisito indispensable en el cultivo del sorgo, para lograr una buena emergencia, es importante un crecimiento rápido inicial, que se alcanza entre otros factores, con una semilla de calidad y las condiciones de suelo, humedad y temperatura que se le crea a la misma. Debido a que este grano, por sus características botánicas, pierde con rapidez la germinación, la velocidad de germinación y su periodo de latencia a corto plazo, se realizó esta investigación que tuvo como objetivo determinar el efecto del calibre de la semilla (masa) de sorgo en su germinación.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la Unidad Científico Tecnológica de Base “Los Palacios” (UCTB Los Palacios) Cuba, a 22° 34' 32.73" N y 83° 14' 11.95" O, perteneciente al Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), en la fase vegetativa del sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), con los cultivares CIAP 132R e ISIAP Dorado. El experimento se realizó en los periodos poco lluviosos de 2017 y 2018 (enero–marzo), en dos etapas, un primer experimento en condiciones semicontroladas en placas Petri y un segundo experimento en condiciones de bandejas metálicas.

Las semillas de los cultivares CIAP 132R e ISIAP Dorado, procedieron de la comercializadora de Consolación del Sur, provincia de Pinar del Río, las cuales, según factura, su porcentaje de germinación fue de un 85 %. En el caso del cultivar ISIAP Dorado, se utilizó semilla fresca, que se reprodujo en la UCTB “Los Palacios”, con porcentaje de germinación de 93 %.

Para el montaje de las pruebas de germinación a partir de diferentes calibres semilla (masa), primeramente, se clasificaron las semillas ópticamente (a simple vista), las que se separaron según su tamaño, para conformar seis grupos y mediante una Balanza Analítica (Modelo ML 204/01), se establecieron seis rangos por su masa, los cuales conformaron los tratamientos en los dos cultivares de sorgo. Con la ayuda de un contador de grano (Modelo LG-A), se contaron 20 semillas al azar y se conformaron los tratamientos con sus réplicas y repeticiones.

Tratamientos:

M1= 0,015 - 0,020 g

M2= 0,021 - 0,025 g

M3= 0,026 - 0,030 g

M4= 0,031 - 0,035 g

M5= 0,036 - 0,040 g

Testigo (mezcla de calibre de semillas)

PRIMER EXPERIMENTO

Las semillas se colocaron en placas Petri (diámetro 0,1 m), sobre papel de filtro en el fondo de las placas, para un total de 20 semillas por placa, con diez réplicas por cada tratamiento y dos repeticiones en el tiempo, con intervalo entre estas de 30 días. El experimento se condujo siguiendo un Diseño Experimental Completamente Aleatorizado.

La imbibición de la semilla se realizó con la adición inicial de 10 mL de agua destilada por placa, 72 h después se agregó 5 mL por placa. Además, se prepararon tres pruebas de germinación de 100 semillas por placa, para corroborar el porcentaje de germinación de comercialización.

Se determinó el porcentaje de germinación (PG), número medio de días a germinación (NMDG) e índice de velocidad de germinación (IVG). El PG se determinó mediante la cuantificación de las semillas germinadas a las 24, 48, 72, 96 horas después de la siembra, se consideró como semilla germinada aquella con la radícula visible. El número medio de días a germinación (NMDG) y el índice de velocidad de germinación (IVG), se determinaron utilizando las fórmulas matemáticas propuestas por Maguire (12):

$$NMDG = \sum_{i=1}^n \frac{(N_i * T_i)}{n} \quad (1)$$

$$IVG = \sum_{i=1}^n \frac{N_i}{T_i} \quad (2)$$

donde:

N_i es el número de semillas germinadas dentro de los intervalos de tiempo consecutivos

T_i es el tiempo en horas transcurrido entre el inicio de la prueba y el fin del intervalo

n es el número total de semillas germinadas

SEGUNDO EXPERIMENTO

En el segundo experimento se sembraron las semillas de sorgo en bandeja metálica (0,70 x 0,50 x 0,08 m), en el periodo poco lluvioso de 2018 (enero-marzo), que contenían suelo procedente de las áreas de la UCTB "Los Palacios". Se establecieron los mismos tratamientos que se realizaron en placas Petri; pero se depositaron en cada surco las 100 semillas que representan un tratamiento. Las bandejas se colocaron en un invernadero de cristal.

El suelo (Tabla I), se clasificó como Gleysol Nodular ferruginoso petroférico (13) y se caracterizó por un pH ligeramente ácido; contenido de materia orgánica (MO) bajo; bases intercambiables con contenidos típicos para este tipo de suelo y considerados bajos y fósforo asimilable (P) bajo (14).

Tabla I. Algunas propiedades que caracterizan la fertilidad del horizonte cultivable

Propiedad	Unidad	Media	Error estándar
pH		6,46	0,15
MO	%	2,86	0,13
Ca ²⁺		6,97	0,13
Mg ²⁺	cmol kg ⁻¹	3,11	0,06
Na ⁺		0,21	0,02
K ⁺		0,18	0,02
P asimilable	mg kg ⁻¹	46,80	3,80

(0-0,20 m) del suelo Gleysol Nodular ferruginoso petroférico, n= 4 (15)

Las técnicas analíticas utilizadas para las determinaciones realizadas al suelo de la UCTB "Los Palacios" fueron: pH: potenciometría, relación suelo:agua 1:2,5 (NC ISO 10390); materia orgánica (MO) por el método de Walkley y Black (NC 51); cationes intercambiables, a partir de una extracción con NH₄OAc 1 mol L⁻¹ a pH 7 y determinación por complejometría (Ca²⁺ y Mg²⁺) y fotometría de llama (Na⁺ y K⁺), según NC 65 (2000); fósforo asimilable (P), según el método de Oniani (solución extractiva H₂SO₄ 0,1 N), según NC 52.

Antes de iniciar la siembra en las bandejas, se aplicó 500 mL de agua destilada, seguidamente se depositaron las semillas en los surcos (profundidad de siembra 0,01 m), las que se cubrieron con el mismo suelo y se realizó otro riego con 200 mL de agua destilada. A las 48 horas después de la siembra se alternó el riego con 400 mL de agua destilada, para mantener la humedad del suelo hasta que finalizó el experimento (10 DDE).

Se realizaron cuatro repeticiones en estas condiciones para el conteo de germinación (emergencia), el cual inició a partir de las 48 horas después de la siembra en las bandejas y cada 24 horas se repitió el mismo procedimiento hasta las 96 horas después de realizar el primer conteo. En la última repetición después del conteo de germinación, se dejaron crecer las plantas hasta los 10 días después de la emergencia, para determinar la masa seca aérea. Se tomaron 20 plantas por tratamientos de la parte central de cada surco en la bandeja.

Las muestras se colocaron en una estufa con tiro forzado de aire a 70 °C, hasta alcanzar masa constante, la que se midió en una Balanza Analítica (Modelo ML 204/01), el resultado obtenido se expresó en g planta⁻¹.

PROCESAMIENTO DE LOS DATOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En todos los experimentos se comprobaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza (Test Bartlett's y Kolmogórov-Smirnov, respectivamente), en cada variable evaluada. Los resultados de los análisis de suelo se le determinaron la Media, Mediana, el Error Estándar y la Varianza.

Las medias de los tratamientos en el caso del porcentaje de germinación en el tiempo se compararon a partir de los Intervalos de Confianza para $\alpha=0,05$. Los datos obtenidos del porcentaje de germinación (PG), el índice de velocidad de germinación (IVG), el número medio de días a germinar (NMDG) y la acumulación de masa seca aérea (MSA) a los 10 días después de la emergencia, se procesaron mediante análisis de Varianza de Clasificación Simple y cuando existieron diferencias significativas, las medias se compararon según la Prueba de Rangos Múltiples de Duncan ($p \leq 0,05$). Se realizaron además análisis de regresión simple entre el porcentaje de germinación final (PG) y la masa seca aérea (MSA) obtenida a los 10 DDE.

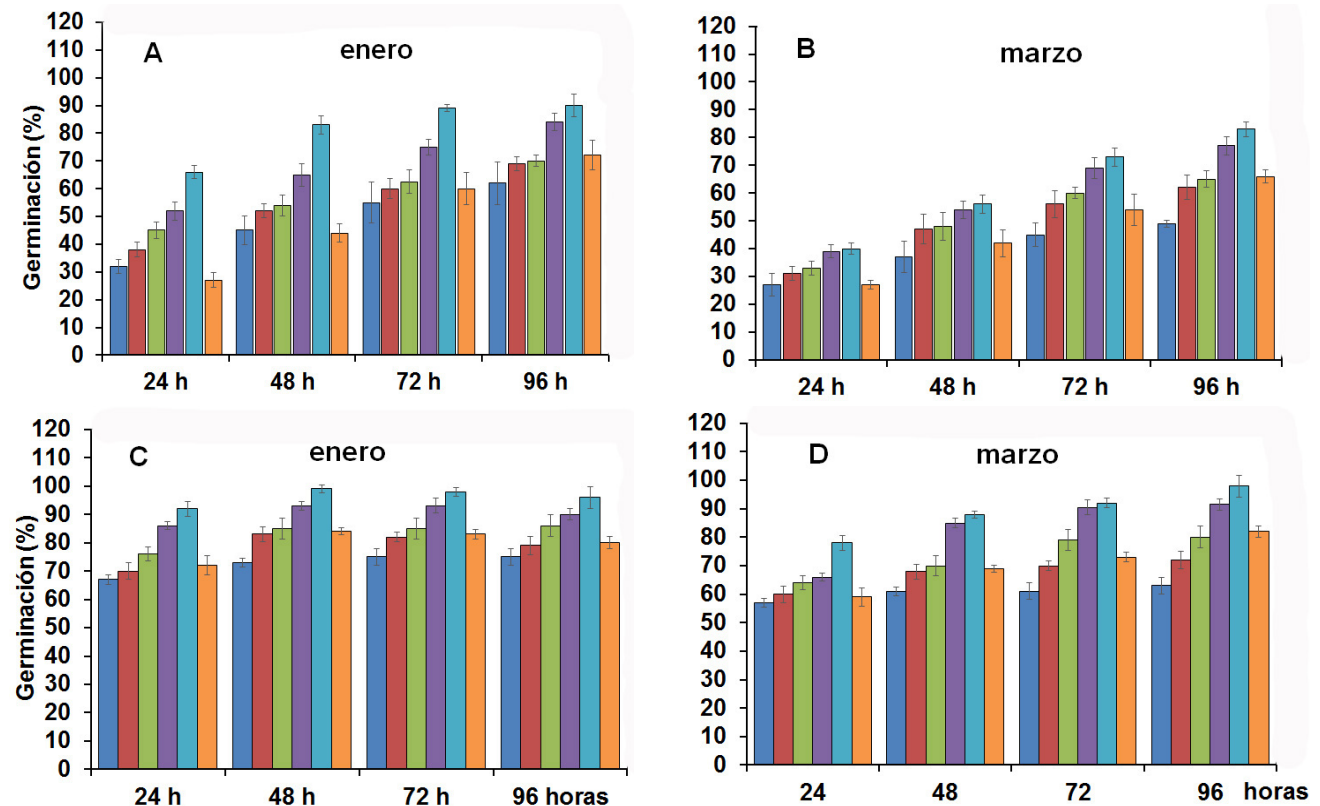
Para todos los análisis estadísticos se utilizó el Programa STATGRAPHICS Centurión sobre Windows, versión XV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Teniendo como hipótesis que la masa de la semilla (calibre) pudiera ser un elemento fundamental en la pérdida de la germinación de la misma, se determinó la masa de los granos (semilla), resultando heterogénea, con valores desde 0,013 g cada semilla hasta 0,055 g. La variabilidad en la masa de la semilla, no permitió la elección de valores únicos de calibres de semillas, por lo que se estableció para la investigación seis grupos de semillas, los cuales conformaron los tratamientos.

En el caso del porcentaje de germinación (PG) de los cultivares evaluados en el intervalo de tiempo de 24 horas hasta las 96 horas, mostraron en sentido general una tendencia al incrementó en el tiempo, desde el tratamiento M1 hasta el testigo. Siempre fue superior el porcentaje de germinación en el calibre semilla (masa) mayor para ambos cultivares CIAP 132R (Figura 1 A y B) e ISIAP Dorado (Figura 1 C y D).

El calibre semilla (masa) que mostró los valores mayores fueron aquellas que estaban en el rango de 0,036-0,040 g, seguido por la de 0,031-0,035 g.



Marcas sobre las columnas indican Intervalos de confianza ($\alpha=0,05$), n= 10

Figura 1. Porcentaje de germinación del sorgo (PG), cultivar CIAP 132R (A, repetición I y B, repetición II) y ISIAP Dorado (C, repetición I y D, repetición II) en un intervalo de 24 horas, hasta las 96 horas

El porcentaje de germinación a las 96 horas en las condiciones de placa Petri, para el cultivar CIAP 132R osciló entre el 62 y el 90 % con semilla fresca (Tabla II); sin embargo, a los 30 días después que se repitió el experimento el porcentaje de germinación osciló entre 49 y 83 %, correspondiendo los valores menores de germinación a los calibres semillas de menor masa.

En caso del cultivar ISIAP Dorado se encontró un comportamiento similar al cultivar CIAP 132R, en cuanto al porcentaje de germinación a las 96 horas. Los valores mayores de germinación se correspondieron con los calibres semillas de mayor masa; o sea, aquellas que estaban en el rango 0,036-0,040 g, seguido por los calibres semillas de 0,031-0,035 g. El porcentaje de germinación para este cultivar osciló entre 75 y 96 % con semilla fresca, por el contrario, a los 30 días después en la repetición del experimento, el porcentaje de germinación menor (63 %), se correspondió con los calibres semillas de menor masa y el tratamiento M4 y M5 mantuvieron su porcentaje de germinación, respecto a la repetición I.

El IVG (Tabla II) en ambos cultivares (CIAP 132R e ISIAP Dorado), mostró un comportamiento similar a la dinámica de germinación en el tiempo y al porcentaje de germinación final, en función del calibre semilla (masa). Siempre fue superior el IVG en las semillas de mayor calibre. En el caso de CIAP 132R, el IVG cuando se sembró la semilla fresca, los valores oscilaron entre 0,73 y 1,33.

A los 30 días después en la repetición del experimento, los valores oscilaron entre 0,60 y 0,94. Por el contrario los valores de IVG fueron superiores

en la cultivar ISIAP Dorado, los cuales oscilaron entre 1,22 y 1,65 con semilla fresca y en la repetición del experimento a los 30 días después, los valores disminuyeron hasta 1,03 y 1,15. Siempre los menores valores de IVG correspondieron en ambos cultivares a los calibres semillas de mayor masa.

El número medio de día a germinar en el sorgo (Tabla II), en el cultivar CIAP 132R fue menor en el tratamiento M5 en la primera repetición y en la segunda repetición a los 30 días después, seguido por el tratamiento M4. En el caso del cultivar ISIAP Dorado, se encontró un comportamiento similar al cultivar CIAP 132R, los valores menores de NMDG correspondieron al tratamiento M5 en la primera repetición y en la segunda a los tratamientos M5 y M4. El mayor NMDG se correspondió con el tratamiento testigo en ambos cultivares.

El porcentaje de germinación con un intervalo de 24 horas hasta las 96 horas después de la siembra en condiciones de bandeja (Figura 2A y B), mostró el efecto positivo que tiene el calibre de la semilla (masa) en este indicador. El tratamiento M5 resultó ser el de mayor porcentaje de germinación para ambos cultivares (CIAP 132R e ISIAP Dorado). Estos resultados mostraron un comportamiento similar al experimento en condiciones de placa Petri.

El porcentaje de germinación final en las condiciones de bandeja y suelo, mostró un comportamiento similar a las condiciones de placas Petri, tanto en el cultivar CIAP 132R e ISIAP Dorado, las semillas de mayor calibre (masa) mostraron mayor poder germinativo, con un 15 % de germinación superior a las semillas de menor masa (Tabla III).

Tabla II. Porcentaje de germinación, el índice de velocidad de germinación y el número medio de días a germinación de la semilla de sorgo, cultivares CIAP 132R e ISIAP Dorado en condiciones de placa Petri a las 96 horas

Tratamientos	CIAP 132R				ISIAP Dorado				CIAP 132R				ISIAP Dorado											
	PG (%)								IVG								NMDG							
	R I		R II		R I		R II		R I		R II		R I		R II		R I		R II					
M1	62 c	49 d	75 d	63 e	0,73 e	0,60 d	1,22 e	1,03 e	1,77 b	1,96 b	1,12 a	1,37 b												
M2	69 b	62 c	79 cd	72 d	0,84 d	0,73 bc	1,32 d	1,12 d	1,75 b	1,89 bc	1,05 b	1,32 b												
M3	70 b	65 c	86 b	80 c	0,92 c	0,77 b	1,40 c	1,21 c	1,72 b	1,82 c	1,03 bc	1,29 bc												
M4	84 a	77 b	90 b	92 b	1,08 b	0,90 a	1,55 b	1,35 b	1,64 c	1,78 c	0,99 c	1,19 cd												
M5	90 a	83 a	96 a	98 a	1,33 a	0,94 a	1,65 a	1,45 a	1,43 d	1,66 d	0,85 d	1,16 d												
Testigo	72 b	66 c	80 c	82 c	0,78 e	0,68 c	1,34 d	1,15 cd	2,08 a	2,13 a	1,11 a	1,54 a												
ESx	1,536	2,038	2,317	1,527	0,015	0,024	0,022	0,020	0,038	0,058	0,023	0,054												

Letras desiguales en la columna difieren significativamente ($p < 0,05$), según Prueba de Rangos Múltiples de Duncan, $n = 10$

Calibres semillas M1(0,015-0,020 g); M2(0,021-0,025 g); M3(0,026-0,030 g); M4(0,031-0,035 g); M5(0,036-0,040 g) y testigo (mezcla de calibre de semillas)

(PG) porcentaje de germinación

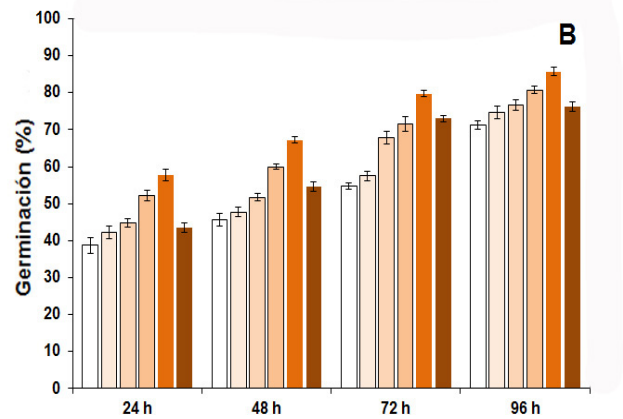
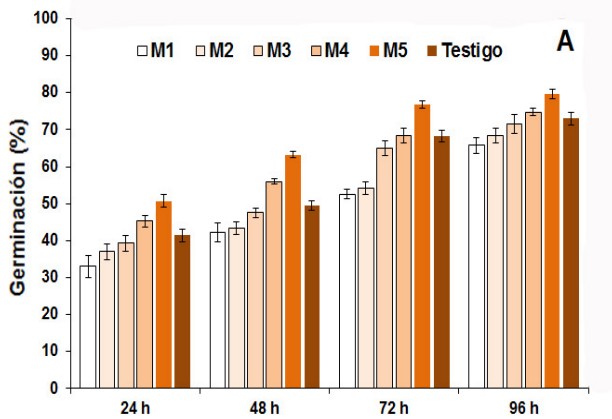
(IVG) índice de velocidad de germinación

(NMDG) número medio de días a germinación

(R I) primera repetición con semilla fresca

(R II) Segunda repetición a los 30 días después

(ESx) Error estándar de la media



Marcas sobre las columnas indican intervalos de confianza ($\alpha=0,05$), $n=4$

Figura 2. Porcentaje de germinación del sorgo, cultivar CIAP 132R (A) e ISIAP Dorado (B), en un intervalo de 24 h, hasta las 96 h

Es importante señalar que los valores de germinación en el cultivar CIAP 132R oscilaron entre un 66 y 80 %; sin embargo, para ISIAP Dorado fueron superiores, oscilaron entre 71 y 86 %.

Tabla III. Porcentaje de germinación del sorgo, cultivar CIAP 132R (A) e ISIAP Dorado (B) en condiciones de bandeja a las 120 horas

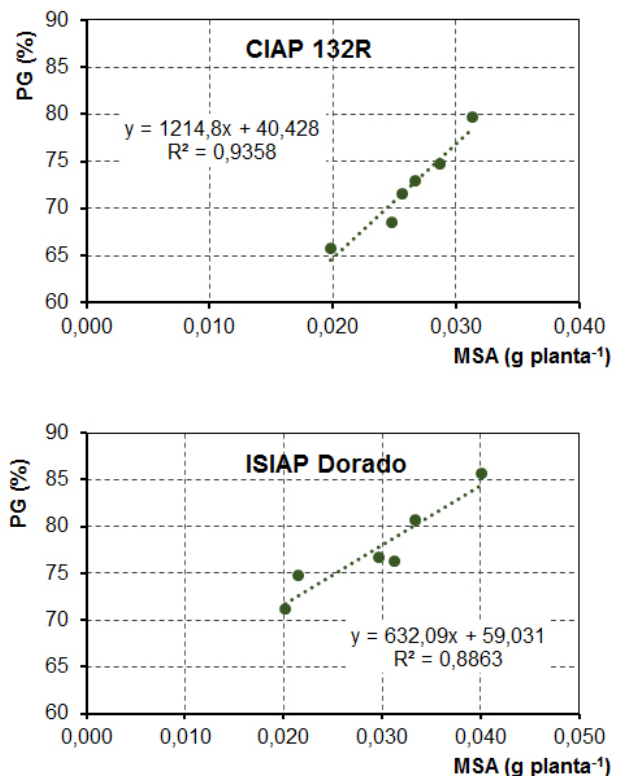
Tratamientos	CIAP 132R	ISIAP Dorado
M1	65,75 d	71,25 d
M2	68,50 d	74,75 c
M3	71,50 c	76,75 c
M4	74,75 b	80,75 b
M5	79,75 a	85,75 a
Testigo	73,00 bc	76,25 c
ESx	3,68	1,80

Letras desiguales en la columna difieren significativamente ($p<0,05$), según Prueba de Rangos Múltiples de Duncan, $n=20$

Calibres semillas M1(0,015-0,020 g); M2(0,021-0,025 g); M3(0,026-0,030 g); M4(0,031-0,035 g); M5(0,036-0,040 g) y testigo (mezcla de calibre de semillas)

La masa seca aérea al finalizar el experimento; o sea, a los 10 días después de la emergencia, evidenció el efecto positivo que tiene el calibre de la semilla (masa) en las variables antes evaluadas y específicamente en la masa seca total, a partir de que los tratamientos de mayor calibre (M4 y M5) fueron los que acumularon mayor masa seca aérea en los dos cultivares.

A partir de un análisis de regresión, se encontró una fuerte relación entre el porcentaje de germinación (PG) y la masa seca aérea (MSA) en ambos cultivares, con coeficientes de determinación de $R^2 = 0,9358$ para el cultivar CIAP 132R y de $R^2 = 0,8863$ para el cultivar ISIAP Dorado (Figura 3).



Coefficiente de regresión (R^2) Masa seca aérea (MSA)

Figura 3. Regresión entre el porcentaje de germinación (PG) a las 96 horas y la masa seca aérea (MSA) a los 10 días después de la emergencia de plantas de sorgo, cultivares CIAP 132R e ISIAP Dorado, cultivados en bandeja en un suelo Gleysol Nodular ferruginoso petroférico

La variabilidad que se encontró en la masa del grano, con valores que van desde 0,015 g hasta 0,040 g para estos dos cultivares, puede deberse a las características específicas de la planta de sorgo. En cuanto a su propio crecimiento y desarrollo, que debe estar asociada a patrones genéticos y ambientales. El tamaño del grano y de la masa del mismo varía en el sorgo, por lo general desde 2,0 hasta 4,5 mm de diámetro y como promedio su masa es de alrededor de 25 g por cada 1 000 granos, pero puede variar desde 13 hasta 40 g por cada 1 000 granos (16). Esta variación en la masa del grano dependerá del factor genético (masa potencial) y de la capacidad de la planta para acumular materia seca durante la etapa de crecimiento de llenado del grano (16). El clima, la fertilidad del suelo y agua disponible influyen en el tamaño y en la masa (peso) final de granos. En términos generales, el 85 % de la materia seca producida por la planta durante la etapa de crecimiento GS III (etapa de llenado del grano) va directamente al grano (16).

Al respecto se informó que, la masa de la semilla se relaciona con la cantidad de reserva que tiene la misma, para con posterioridad completar con mayor vigor el proceso de germinación (17). El tamaño de la semilla se considera como un indicador de la calidad fisiológica, debido a que las semillas de mayor tamaño o de mayor masa, muestran mejor germinación y vigor (18,19). Sin embargo, para otras especies graníferas no se cumple lo expresado anteriormente en relación con el tamaño del grano, como es el caso del grano de arroz (*Oryza sativa* L), donde su masa varía por tipos y cultivares (20,21).

Para el cultivar de sorgo CIAP 132R se indicó que la masa de los granos como promedio de una panoja es de 26,8 g (8,22), y para el caso del cultivar ISIAP Dorado el promedio es de 29,5 g (23,24), por lo tanto, es posible la presencia de granos de mayor tamaño en el cultivar ISIAP Dorado; no siendo así para el CIAP 132R, el cual presenta una masa promedio menor. Sin embargo, se comercializa la semilla con un calibre de semilla variado.

El porcentaje de germinación en el tiempo, en los dos cultivares (CIAP 132R e ISIAP Dorado) hasta 96 horas después de la siembra, el índice de velocidad de germinación y el número medio de días para germinar, estuvo en correspondencia con el tamaño de la semilla. Estos resultados pueden deberse a que las semillas de mayor calibre contengan mayor cantidad de sustancia de reserva y asociado a esto la posibilidad de que estas puedan almacenar mayor cantidad de agua, necesaria para completar la germinación. Al respecto se informó que en la semilla ocurren varios procesos que dependen únicamente de las reservas en la semilla.

El ácido giberélico del embrión actúa sobre la capa de aleurona donde se activa la enzima amilasa que inicia la degradación de sustancias de reserva contenidas en el endospermo y cotiledón. De la digestión de tejidos de reserva son liberados diversos compuestos para ser reutilizados en múltiples procesos de síntesis. Moléculas complejas como son: celulosas, hemicelulosas, almidones, amilopeptinas, lípidos, ligninas, proteínas, ácidos nucleicos, vitaminas y hormonas, son degradadas a moléculas simples por enzimas específicas (17,20).

Las disminuciones en los valores de germinación entre un momento y el otro, o sea, el experimento que se montó con semilla fresca y a los 30 días después, puede deberse fundamentalmente a tres factores, a la maduración fisiológica de la semilla, a las condiciones de almacenamiento de las mismas y a cambios internos en la semilla ocasionado por los dos factores anteriores. Este resultado indicó que la semilla de sorgo pierde con rapidez su poder germinativo, a partir de las transformaciones que ocurren en la semilla.

Al respecto se indicó que las causas que originan la degradación de dichas sustancias y que conllevan a la pérdida de vigor y la germinabilidad de las semillas son diversas y que aún no se conocen (25). Sin embargo, como las estructuras subcelulares están compuestas por lípidos y proteínas, con el paso del tiempo, la membrana celular gradualmente se va degradando, perdiendo así su capacidad selectiva. Este deterioro se lleva a cabo a consecuencia de la autoxidación de los lípidos, en semillas con reservas de aceites, formando peróxidos que activan algunas enzimas y que afectan la viabilidad y vigor de las semillas (9).

Utilizar en la práctica productiva semillas de sorgo de mayor calibre (masa), es un elemento importante para garantizar la producción, así como incrementos en la misma. Es por eso que, las pruebas de velocidad de emergencia o de germinación, para establecer el IVG, permite obtener mejores estimadores de vigor de estas, para ser utilizadas en programas de mejoramiento genético, ya que se ha demostrado que plantas con mayor vigor, poseen características superiores de área foliar, masa seca y longitud de raíz (12).

Los resultados en condiciones de bandeja con suelo, corroboran lo encontrado en el experimento anterior, en cuanto al porcentaje de germinación en el tiempo y a las 96 horas después de la siembra, así como la masa seca aérea a los 10 días después de la emergencia. Siempre el calibre de semilla mayor mostró los mejores resultados en estos indicadores (PG en el tiempo, PG y MSA). Estos resultados sugieren el uso de semillas de mayor calibre, las que se corresponden con un mayor llenado y maduración biológica en la panícula (16,17).

Varios estudios acerca de la germinación de semillas analizan los factores que pueden influir en la germinación, tales como la luz, la temperatura, y la humedad (18,26). Sin embargo, son pocos los estudios que toman en cuenta la masa de la semilla como elemento indispensable para lograr altas producciones. Es importante señalar que las condiciones en las que se realizó el experimento, la emergencia del coleóptilo se hizo visible a las 48 horas, o sea 24 horas después que lo ocurrido en las placas Petri.

Para lograr elevar los indicadores de la germinación en el sorgo se hace necesario clasificar la semilla, con la finalidad de comercializar aquellas de mayor calibre y lograr altos porcentajes de germinación y uniformidad en la plantación. Las semillas de sorgo son de tamaño pequeño, con escasas reservas, son exigentes en las condiciones de suelo para su implantación y las arvenses compiten con ventaja en los primeros estadios. Su crecimiento inicial es lento en comparación con el maíz (*Zea mays* L.) y la soya (*Glycine max* L.), de hecho, el crecimiento no es rápido hasta los 15 cm de altura, que es cuando la planta comienza a acelerar su crecimiento (24).

El NMDG es un indicador importante en el manejo agronómico del cultivo del sorgo, debido a su efecto positivo en la competencia con las arvenses y se relaciona directamente con el IVG. Es por ello que, encontrar un NVDG mayor en el tratamiento control en ambos cultivares se puede considerar desfavorable para el cultivo, debido fundamentalmente, por la mezcla de calibre semilla.

La alta relación que se encontró entre el porcentaje de germinación (PG) y la masa seca aérea (MSA) en ambos cultivares (CIAP 132R e ISIAF Dorado), corroborado con los coeficientes de determinación, explicó el 93 % del modelo ajustado de la variabilidad en PG para el cv. CIAP 132R y en el caso del cv. ISIAF Dorado el modelo ajustado explicó el 88 % de la variabilidad en PG. Estos resultados indicaron nuevamente el efecto positivo que tiene el calibre semilla (masa), para lograr un mayor crecimiento en su primera etapa de desarrollo. Elemento que es fundamental para la adaptabilidad y competencia de estas plantas en condiciones de campo y, por ende, lograr una mayor población y supervivencia, a partir de que se reconoce el crecimiento lento del sorgo en su primera etapa de desarrollo (1,16,23,27,28).

A partir de los resultados alcanzados en condiciones de placa Petri y en las bandejas con suelo, el calibre de semilla 0,036-0,040 g podría considerarse la masa adecuada para asegurar una rápida y exitosa germinación producto de un balance entre la madurez fisiológica y las reservas de la semilla. Estos resultados, en cuanto al efecto del calibre semilla (masa) para este cultivo, sugieren que las semillas pequeñas no son capaces de sobrevivir a una mayor cantidad de micrositios y actualmente a las

influencias de los procesos de cambio climático (29). Por el contrario, las semillas de mayor calibre (masa) tienen una mayor reserva metabólica, que incrementa la probabilidad de establecimiento de las plántulas y de adaptarse a las condiciones adversas creadas por el cambio climático.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ◆ Las semillas de sorgo de mayor calibre (0,036-0,040 g) alcanzan mayor porcentaje de germinación, índice de velocidad de germinación, menor número de días para germinar y conservan por un tiempo mayor su poder germinativo.
- ◆ Es determinante en la primera etapa de crecimiento del cultivo del sorgo el calibre de semilla (masa), porque tiene mayor poder germinativo y acumulación de masa seca aérea.
- ◆ Se recomienda utilizar calibre de semilla (masa) superior a 0,030 g y realizar otras investigaciones a nivel bioquímico que expliquen el poder germinativo de las semillas de mayor calibre (masa) en el cultivo del sorgo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Canet R, Rivero L, Armenteros M. Manual para la producción del cultivo del sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench. 2da ed. La Habana, Cuba: Instituto de Investigaciones de Granos; 2011. 19 p.
2. FAO. La economía del sorgo y del mijo en el mundo: hechos, tendencias y perspectivas [Internet]. Food & Agriculture Org.; 1997. 72 p. Available from: https://books.google.com/cu/books/about/La_econom%C3%A9Da_del_sorgo_y_del_mijo_en_el.html?id=pKtRbOpFY-VEC&redir_esc=y
3. García M. Potencian cultivo del sorgo en Pinar del Río [Internet]. Periódico Juventud Rebelde. 2014 [cited 2018 Oct 5]. Available from: <http://www.juventudrebelde.cu/cuba/2014-07-10/potencian-cultivo-del-sorgo-en-pinar-del-rio>
4. Obregon P. La Germinación [Internet]. Monografias.com. [cited 2018 Oct 12]. Available from: <https://www.monografias.com/trabajos70/germinacion/germinacion.shtml>
5. Chessa A. Sorgo Granífero—La importancia de su cultivo y correcto manejo en Siembra Directa – Campaña 2014/15 [Internet]. Argentina; 2015 p. 1–10. Available from: [https://www.google.com/url?sa=t&rc=t=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiQquCZI4HeAhUI01kKHw3A8wQFjAAegQICRAC&url=https%3A%2F%2Fwww.agroconsultasonline.com.ar%2Fdocumento.html%2F%2FSorgo%2520Gran%25C3%2583%25C2%25ADero.%2520La%2520importancia%2520de%2520su%2520cultivo%2520y%2520correcto%2520manejo%2520en%2520Siembra%2520Directa.%2520Campa%C3%2583%25C2%25B1a%25202014-15%2520\(2014\).pdf%3Fop%3D%26documento_id%-3D511&usq=AOvVaw33C-vKGgRr4YlukJENwB2k](https://www.google.com/url?sa=t&rc=t=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiQquCZI4HeAhUI01kKHw3A8wQFjAAegQICRAC&url=https%3A%2F%2Fwww.agroconsultasonline.com.ar%2Fdocumento.html%2F%2FSorgo%2520Gran%25C3%2583%25C2%25ADero.%2520La%2520importancia%2520de%2520su%2520cultivo%2520y%2520correcto%2520manejo%2520en%2520Siembra%2520Directa.%2520Campa%C3%2583%25C2%25B1a%25202014-15%2520(2014).pdf%3Fop%3D%26documento_id%-3D511&usq=AOvVaw33C-vKGgRr4YlukJENwB2k)

6. Cueto N, Morejón L, Herrera R, Porras Á. BIOFIE: una experiencia positiva en ayuda a las semillas. *Agricultura Orgánica*. 2013;19(1):12–4.
7. Machado MI, Herrera RV, Morales MC. Efecto del ozono (O₃) sobre el vigor de las semillas de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) variedad UDG-11. *Centro Agrícola*. 2015;42(1):11–6.
8. Martínez S de J, Gómez R, Rodríguez G, Veitia N, Saucedo O, Gil V. Caracterización morfoagronómica de plantas de sorgo granífero variedad CIAP 132R-05 regeneradas vía embriogénesis somática en condiciones de campo. *Centro Agrícola*. 2016;43(3):73–9.
9. Caroca R, Zapata N, Vargas M. Efecto de la temperatura sobre la germinación de cuatro genotipos de maní (*Arachis hypogaea* L.). *Chilean journal of agricultural & animal sciences*. 2016;32(2):94–101. doi:10.4067/S0719-38902016000200002
10. OECD. Safety Assessment of Transgenic Organisms in the Environment [Internet]. OECD Publishing, Paris; 2016 [cited 2018 Oct 12]. (OECD Consensus Documents, Harmonisation of Regulatory Oversight in Biotechnology). Report No.: volumen 6. Available from: <https://doi.org/10.1787/9789264253421-en>.
11. Peña-Valdivia CB, Trejo C, Celis-Velazquez R, López Ordáz A. Reacción del frijol silvestre (*Phaseolus vulgaris* L.) a la profundidad de siembra. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 2013;4(1):89–102.
12. Maguire JD. Speed of Germination—Aid In Selection And Evaluation for Seedling Emergence And Vigor1. *Crop Science*. 1962;2(2):176–7. doi:10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x
13. Hernández A, Pérez J, Bosch D, Castro N. Clasificación de los suelos de Cuba. Mayabeque, Cuba: Ediciones INCA; 2015. 93 p.
14. Pozo C, Cabrera JR, Márquez E, Hernández O, Ruiz M, Domínguez D. Características y clasificación de suelos Gley Nodular Ferruginoso bajo cultivo intensivo de arroz en Los Palacios. *Cultivos Tropicales*. 2017;38(4):58–64.
15. Ruiz M. Comportamiento del arroz (*Oryza sativa* L.) inoculado con hongos micorrízico arbusculares y expuesto a diferentes condiciones hídricas en el suelo. [Tesis de Doctorado]. [Mayabeque, Cuba]: Universidad Agraria de La Habana; Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas; 2016. 98 p.
16. PIONEER. Sorgo: crecimiento y desarrollo del cultivo [Internet]. Argentina: Pioneer Argentina S.R.L.; 2018 [cited 2018 Apr 20] p. 4. (BOLETÍN TÉCNICO PIONEER). Available from: https://www.pioneer.com/CMRoot/International/Argentina_Intl/AGRONOMIA/boletines/SorgoCrecimiento_y_desarrollo_del_cultivo.pdf
17. Ríos GFL. Ecofisiología de árboles [Internet]. Universidad Autónoma de Chapingo, México: Chapingo; 2009. 490 p. Available from: <https://books.google.com/cu/books?id=Az5OnQAACAAJ>
18. Aguiar I de. Conservação de sementes. *Manual Técnico De Sementes Florestais*. 1995;(14):33–44.
19. Ayala G, Terraza T, López L, Trejo C. Variación en el tamaño y peso de la semilla y su relación con la germinación en una población de *Stenocereus beneckeii*. *Interciencia*. 2004;29(12):692–7.
20. Pérez I, Montoya MA. Calidad del grano y variabilidad genética de variedades y líneas de arroz del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). *Agronomía Tropical*. 2009;59(4):445–56.
21. Díaz SH, Cristo E, Morejón R, Castro R, Shiraishi M, Dhanapala MP, et al. Análisis de la estructura productiva y comportamiento del rendimiento de cuatro variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) de diferentes orígenes en la prefectura de Ibaraki, Japón. *Cultivos Tropicales*. 2013;34(1):42–50.
22. Saucedo OM, Fernández LE, Quiñones R, Rodríguez G, Moya A. Las aves granívoras y el cultivo del sorgo en la provincia de Villa Clara, Cuba. *Centro Agrícola*. 2017;44(2):36–43.
23. Oramas G. Informe de nuevas variedades: ISIAP Dorado, primera variedad de sorgo de grano blanco para consumo humano en Cuba. *Cultivos Tropicales*. 2013;23(4):75. doi:10.1234/ct.v23i4.630
24. Carrasco N, Zamora M, Melin A. Manual de sorgo [Internet]. 1ra ed. Carrasco N, Zamora M, Melin A, editors. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria: Buenos Aires: INTA. Chacra Experimental Integrada Barrow; 2011 [cited 2018 Oct 12]. 105 p. (Publicaciones Regionales). Available from: <https://inta.gob.ar/documentos/manual-de-sorgo>
25. Palafox SS. Priming para incrementar la calidad fisiológica de la semilla de chile ancho [Internet] [Tesis de Diploma]. [México]: Universidad Autónoma de San Luis de Potosí; 2012. 60 p. Available from: <http://ninive.uaslp.mx/jspui/bitstream/i/3471/1/IAF1PRI01201.pdf>
26. Ruedas M, Valverde T, Argüero SC. Respuesta germinativa y crecimiento de plántulas de *Mammillaria magnimamma* (Cactaceae) bajo diferentes condiciones ambientales. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 2000;(66):25–35.
27. García G. El sorgo para grano [Internet]. Madrid, España: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación; 2017. 20 p. Available from: www.mapama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1982_07.pdf
28. García E, Permuy V, Chaveco O, Segura T. Recomendaciones para el cultivo de sorgo para granos (*Sorghum bicolor* L. Moench). Holguín, Cuba: Estación Territorial de Investigaciones Agropecuarias de Holguín. Ministerio de la Agricultura; 2005.
29. FAO. El cambio climático, la agricultura y la seguridad alimentaria [Internet]. Roma, Italia: FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura; 2016 p. 4. Report No.: 5349S/1/01.16. Available from: <http://www.fao.org/3/a-i5349s.pdf>

Recibido: 11 de julio de 2018

Aceptado: 5 de octubre de 2018