

TAMAÑO DE SEMILLA Y SU EFECTO SOBRE EL CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS DE *Cajanus cajan* (L.) Millsp.

SEED SIZE AND ITS EFFECT ON GROWTH OF SEEDLINGS OF *Cajanus cajan* (L.) Millsp.

**Sergio Iban Mendoza-Pedroza¹, Efraín Méndez-Gaona², Kevin U. Pérez-Cruz²,
Adrián Hernández-Livera³, José Alberto Salvador Escalante-Estrada⁴ y Pablo Alfredo Domínguez-Martínez^{1,5*}**

¹Colegio de Postgraduados (CP), Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad–Ganadería. Texcoco, México. ²Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Zootecnia. Texcoco, México. ³CP, Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad – Producción de Semillas. Texcoco, México. ⁴CP, Postgrado en Botánica. Texcoco, México. ⁵Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle del Guadiana. Durango, México.

*Autor de correspondencia (dominguez.pablo@inifap.gob.mx)

RESUMEN

El frijol de palo (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) es una leguminosa tolerante a la sequía, útil para consumo humano, como fuente de forraje y para brindar servicios ambientales. El objetivo del presente trabajo fue evaluar los efectos del tamaño de semilla sobre la germinación y crecimiento de plántulas de frijol de palo en condiciones de invernadero. En el experimento se evaluó la calidad física de un lote de semilla colectado en Montecillo, Texcoco, México. La semilla se dividió en grande y chica para establecer los tratamientos. Cada tratamiento tuvo tres repeticiones con 100 semillas cada una. Los resultados mostraron diferencias estadísticas ($P < 0.05$) en la germinación, velocidad de emergencia, altura, diámetro del cuello de la raíz, número de hojas, índice de esbeltez, acumulación de materia seca, área foliar, volumen de la raíz e índice de vigor de planta. Con excepción del índice de esbeltez, el tratamiento de semilla grande superó al de semilla chica. Las plantas que se originaron de semilla chica serán menos propensas a sufrir daño mecánico por viento, de acuerdo con el índice de esbeltez encontrado. Con base en los resultados, se recomienda utilizar semilla grande para la siembra de frijol de palo, para garantizar la obtención de plantas vigorosas que tendrán mejor desempeño después del trasplante.

Palabras clave: acumulación de materia seca, altura, frijol de palo, índice de esbeltez, índice de vigor de planta, volumen de raíz.

SUMMARY

Pigeon pea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) is a drought-tolerant legume useful for human consumption, as source of forage and for environmental services. This study aimed to evaluate the effects of seed size on the germination and growth of pigeon pea seedlings under greenhouse conditions. In the experiment, the physical quality of a seed lot collected in Montecillo, Texcoco, Mexico, was evaluated. The seed was divided into large and small to establish the treatments. Each treatment had three replicates with 100 seeds each. The result showed statistical differences ($P < 0.05$) in germination, emergence speed, height, root collar diameter, number of leaves, slenderness index, dry matter accumulation, leaf area, root volume and plant vigor index. With the exception of the slenderness index, the large seed treatment outperformed the small seed treatment. Plants that originated from small seeds will be less prone to mechanical wind damage. Based on the results, it is recommended to use large seeds for sowing pigeon pea to ensure vigorous plants that will perform better after transplanting.

Index words: dry matter accumulation, height, pigeon pea, seedling vigor index, slenderness index, root volume.

INTRODUCCIÓN

Cajanus cajan (L.) Millsp. es una leguminosa arbustiva tolerante a la sequía, apta para consumo humano y animal (Sameer et al., 2017). Recibe nombres como gandúl, guandú, frijol de palo o de árbol (en México) y en Estados Unidos es conocido como pigeon pea. Sus granos comestibles contienen 20 a 22 % de proteína, su follaje es utilizado como fuente de forraje, también puede actuar como barrera para controlar la erosión y mejorador del suelo a través de la fijación de nitrógeno atmosférico (Sameer et al., 2017).

Después del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), chícharo (*Pisum sativum* L.) y garbanzo (*Cicer arietinum* L.), el frijol de palo está entre las legumbres comestibles más cultivadas en el planeta. Su siembra es de particular importancia en la agricultura de secano en regiones semiáridas del mundo (Bhalerao et al., 2020). A nivel mundial, la India y África, que son su centro de origen (Van der Maesen, 1980), son los principales productores de esta leguminosa, con 63 y 21 % de aporte, respectivamente (Sarkar et al., 2018). En promedio se cosechan alrededor de cinco millones de hectáreas, con una producción anual de 4.4 millones de toneladas.

La introducción de las primeras plantas de *C. cajan* al continente americano ocurrió durante el siglo XVII, a través de la trata de esclavos africanos (Carney y Rosomoff, 2009). A pesar de que hace más de 350 años de la llegada del frijol de palo a América, la información agronómica al respecto es escasa y más aún en México. De ahí la importancia de realizar esta investigación y

evaluar uno de los ecotipos presentes en nuestro país.

Se ha observado que el tamaño de la semilla difiere entre especies, variedades e incluso dentro de un mismo lote (Kolawole y Kang, 1997). En el caso de *C. cajan* existe una heredabilidad moderada del tamaño de la semilla (Sharma et al., 1972); éste y su calidad pueden modificarse por factores ambientales (Ambika et al., 2014), lo cual afecta su desempeño en campo (Adebisi et al., 2011). Diversos autores mencionan que el tamaño de la semilla está relacionado con la germinación, emergencia, desarrollo de la plántula en crecimiento, entre otros (Jerlin y Valdivelu, 2004; Kaydan y Yagmur, 2008); por tanto, se infiere que la semilla de mayor tamaño tiene mejor crecimiento en campo, aunque los resultados son contrastantes entre especies (Ambika et al., 2014).

Con base en la escasez de información sobre *C. cajan* en México y el papel que puede jugar el tamaño del grano sobre el establecimiento, desempeño y rendimiento de los cultivos, el objetivo del presente trabajo fue generar información acerca del tamaño de semilla y la influencia que este parámetro ejerce sobre la germinación y crecimiento de plántulas de frijol de palo en condiciones de invernadero durante los primeros 60 días de vida.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se desarrolló en condiciones de invernadero, en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. La evaluación del material se realizó en el Laboratorio del

Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad–Producción de Semillas.

En el laboratorio se evaluaron vainas maduras de frijol de palo (Figura 1). Las variables consideradas incluyeron: peso total, número de granos por vaina, peso de semilla y del pericarpio vacío de 30 vainas elegidas al azar. La muestra de trabajo (250 g) se conformó con los granos obtenidos del total de vainas cosechadas y en ella se determinó la calidad física mediante la cantidad de semilla pura, peso de mil semillas (P1000S), humedad y peso volumétrico (ISTA, 2018). Con un tamiz de 5.2 mm se separó la semilla por tamaño. Toda aquella que permaneció por encima del tamiz se clasificó como grande (G) y la que cayó se consideró como chica (C). Los tratamientos fueron semilla G y C, cada uno con tres repeticiones de 100 semillas.

La calidad fisiológica de la semilla se determinó en condiciones de invernadero mediante una prueba de germinación (ISTA, 2018). La temperatura se registró cada hora en un datalogger RC-5+ (Elitech Technologies. Milpitas, CA, USA). La siembra se realizó en bolsas para vivero con capacidad de un litro; como sustrato se usó una mezcla de perlita y peat moss (1:2, respectivamente). Las semillas se colocaron a 2 cm de profundidad y se cubrieron con sustrato húmedo y se aplicó riego a saturación cada 48 h a partir de la siembra. Para calcular la velocidad de emergencia (Maguire, 1962) y porcentaje de germinación (ISTA, 2018) se registró el número de plantas emergidas por día. Las plántulas se consideraron como emergidas una vez que el gancho de la plúmula fue visible sobre el nivel del suelo (ISTA, 2018). En cada tratamiento se seleccionaron



Figura 1. Vaina madura de *Cajanus cajan* (L.) Millsp. con cinco granos.

30 plantas al azar para medir su altura, diámetro del cuello de la raíz y número de hojas trifoliadas a los 38, 45 y 60 días después de la siembra (DDS). Con estos datos se determinó el índice de esbeltez (IE), mediante la siguiente fórmula:

$$IE = \frac{\text{Altura de planta (cm)}}{\text{Diámetro del cuello de la raíz (mm)}}$$

Sesenta DDS se realizó un muestreo destructivo en 15 plantas elegidas al azar, se obtuvo el contenido de materia seca en hojas, tallos, raíz, área foliar, volumen de la raíz y se calculó el índice de vigor de planta (IVP) con la ecuación propuesta por Kim *et al.* (1987):

$$IVP = (\% \text{ de germinación}) * (\text{altura de la planta en cm})$$

El diseño experimental utilizado fue un completamente al azar con tres repeticiones. Se realizó el análisis de varianza y se empleó la prueba t de Student ($P < 0.05$) para la comparación de medias. Todos los análisis estadísticos se hicieron con el programa SigmaPlot versión 12.3 (Systat Software. San José, California, USA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza indica que existen diferencias estadísticas entre los tratamientos para cada una de las variables evaluadas (Cuadro 1). Se observaron coeficientes de determinación superiores a 0.5 (excepto en el volumen de la raíz). Lo anterior indica que el tamaño de semilla explica más del 50 % de la varianza que se presenta en las mediciones realizadas. La altura de planta, diámetro del cuello de la raíz e índice de vigor de planta son mediciones en las que el tamaño de la semilla de *C. cajan* tiene un gran impacto y en consecuencia se detectaron diferencias

altamente significativas ($P < 0.001$).

El peso promedio de las vainas con grano fue de 0.6 g y cada vaina aloja 3.8 semillas en promedio. Los granos representan el 59 % del peso total de la legumbre y 41 % corresponde al pericarpio. La muestra de trabajo tuvo 98 % de semilla pura y 2 % de material inerte. El peso de mil semillas alcanzó 90 g, mientras que el peso volumétrico fue de 199 kg hL⁻¹. La humedad en la muestra fue de 15.3 %.

El peso promedio de las vainas (0.3 g) y el número de semillas (1.3) por vaina en este estudio fue menor a lo obtenido en seis materiales evaluados en Sudáfrica (Hluyako *et al.*, 2017). La variación en número de semillas por vaina y su peso puede ser el resultado de un flujo limitado de nutrientes de la planta madre hacia el grano (Ambika *et al.*, 2014). La pureza de la muestra se atribuyó a la cosecha manual, evitando la contaminación con semillas extrañas. El P1000S promedio de seis variedades de gandul evaluadas en Sudáfrica fue de 148 g (Hluyako *et al.* 2017); otro estudio mostró oscilaciones entre 194 y 369 g (Ojwang *et al.*, 2016). Al respecto, Patel y Mehta (2001) mencionan que a mayor temperatura media durante el ciclo de crecimiento se incrementa el tamaño de la vaina y grano, diferencias apreciables con aumento de un grado de temperatura (Ojwang *et al.*, 2016). La temperatura media anual en Montecillo, Texcoco, Estado de México es de 15 °C (García, 1998), por lo que el P1000S reducido podría deberse a la baja temperatura registrada en el sitio. El tamaño pequeño y bajo peso del grano influyó sobre el peso volumétrico de la muestra. La humedad en la muestra (12 %) fue superior a lo recomendado para almacenamiento de semillas (ISTA, 2018), lo cual la hace vulnerable a ataques por microorganismos e incrementa la susceptibilidad a daño mecánico (Delouche, 1974). Con base en lo anterior, se recomienda colectar el grano en

Cuadro 1. Resultados del análisis de varianza para variables evaluadas en plantas de *Cajanus cajan* (L.) Millsp. durante 60 días.

Variables	¹ CMT		R ²	CV
Germinación	416.667	**	0.93	13.59
Velocidad de emergencia	2.849	**	0.93	18.26
Altura de planta	79.935	***	0.97	19.11
Diámetro del cuello de la raíz	0.427	***	0.97	14.25
Número de hojas	2.16	*	0.77	18.98
Índice de esbeltez	0.857	*	0.67	4.50
Área foliar	834.137	*	0.76	52.21
Volumen de la raíz	2.7	**	0.30	50.97
Índice de vigor de planta	927558.802	***	0.99	31.22

¹CMT: cuadrado medio de tratamientos, R²: coeficiente de determinación, CV: coeficiente de variación, *: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$, ***: $P < 0.001$, NS: no significativo.

estado de madurez de cosecha (contenido de humedad $\leq 12\%$), o bien, someter el grano a un proceso de secado previo a su almacenamiento.

En el invernadero, durante los 60 días de evaluación, la temperatura máxima promedio fue de 38°C , la mínima 12°C y 25°C la media (Figura 2). La temperatura media se encuentra dentro del intervalo óptimo (25 a 35°C) para el crecimiento del frijol de palo (Saxena et al., 2017). Temperaturas bajo 10°C y por encima de 40°C afectan negativamente su crecimiento (Saxena et al., 2017).

La velocidad de emergencia y porcentaje de germinación fueron mayores en las semillas G en comparación con las C, durante los tres muestreos realizados (Figura 3). Estas características son importantes en el establecimiento y desarrollo de los cultivos (Finch-Savage y Bassel, 2016); además, son indicadores de alto vigor en la semilla. El establecimiento exitoso durante las primeras etapas de crecimiento permite al cultivo cubrir una amplia superficie del suelo, aprovechar los recursos disponibles en él (Rebolledo et al., 2015) y otorga ventaja competitiva sobre la población de malezas del sitio (Zhao et al., 2006). Los resultados obtenidos para estas variables sugieren que las semillas de tamaño grande ($\geq 5.2\text{ mm}$) tienen más vigor y podrían establecerse más rápido que las plántulas obtenidas de granos pequeños.

La altura de planta, diámetro del cuello de la raíz y número de hojas trifoliadas son parámetros fáciles de determinar mediante muestreos no destructivos. En estas variables encontramos diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos de tamaño de semilla (Figura 4 A, B y C). El tratamiento G registró valores más altos que el C en todos los muestreos. El IE entre tratamientos fue similar ($P > 0.05$) a los 38 DDS, mientras que en los dos muestreos siguientes existieron diferencias significativas (Figura 4 D).

La altura es una variable morfológica usada como indicador de calidad en distintas áreas de la agricultura (Gallegos-Cedillo et al., 2021). En el caso de la producción de planta forestal se sugiere usar individuos de menor altura porque se consideran más robustos, menos sensibles a daño eólico, tolerantes a la sequía y heladas (Luis et al., 2004). Mayor diámetro del cuello de la raíz podría emplearse como guía para determinar la resistencia mecánica de la planta y su capacidad para transportar agua y nutrientes de la raíz a la parte aérea. Por otra parte, el número de hojas se relaciona con la capacidad fotosintética de la planta, que posterior al trasplante podría reflejarse en mayor vigor y rendimiento (Gallegos-Cedillo et al., 2021), debido a que las plantas podrían acumular más materia seca. El IE es importante como indicador de resistencia de las plantas ante daños ocasionados por viento o nieve (Aguirre et al., 2014). Valores cercanos a 7

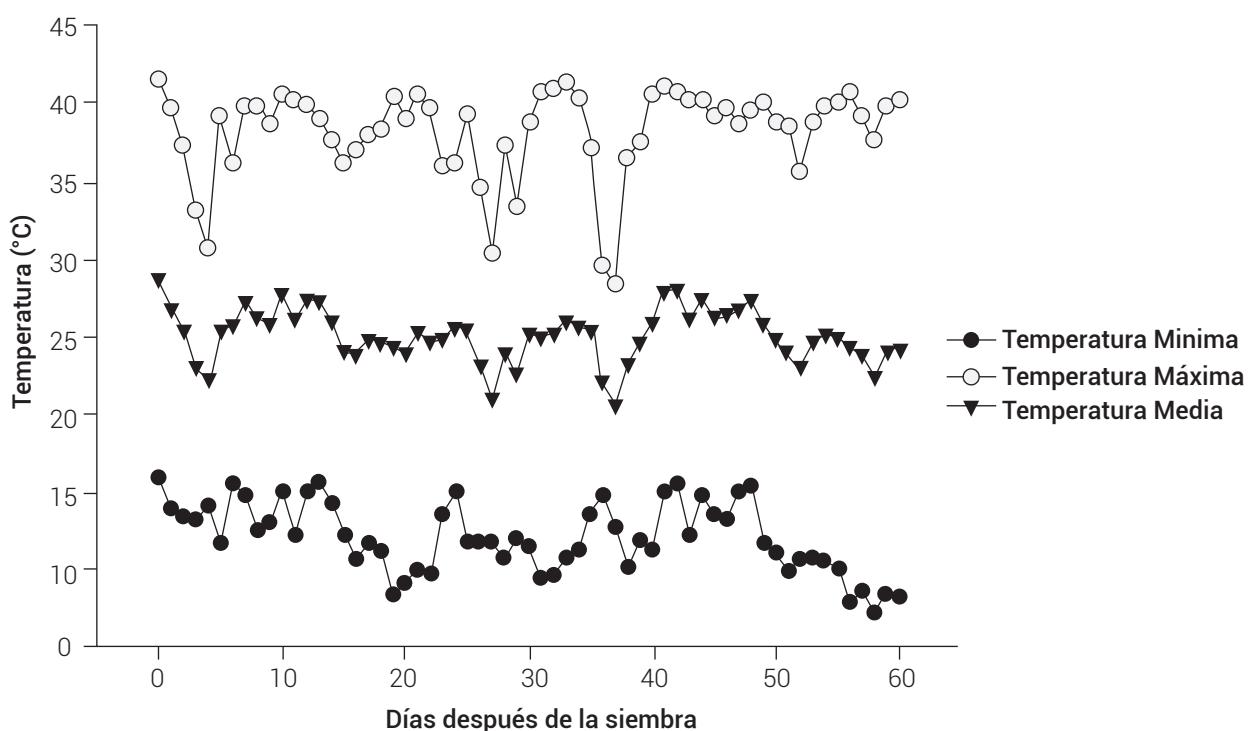


Figura 2. Temperatura mínima, media y máxima diaria registradas durante 60 días dentro de invernadero en Montecillo, Texcoco, México.

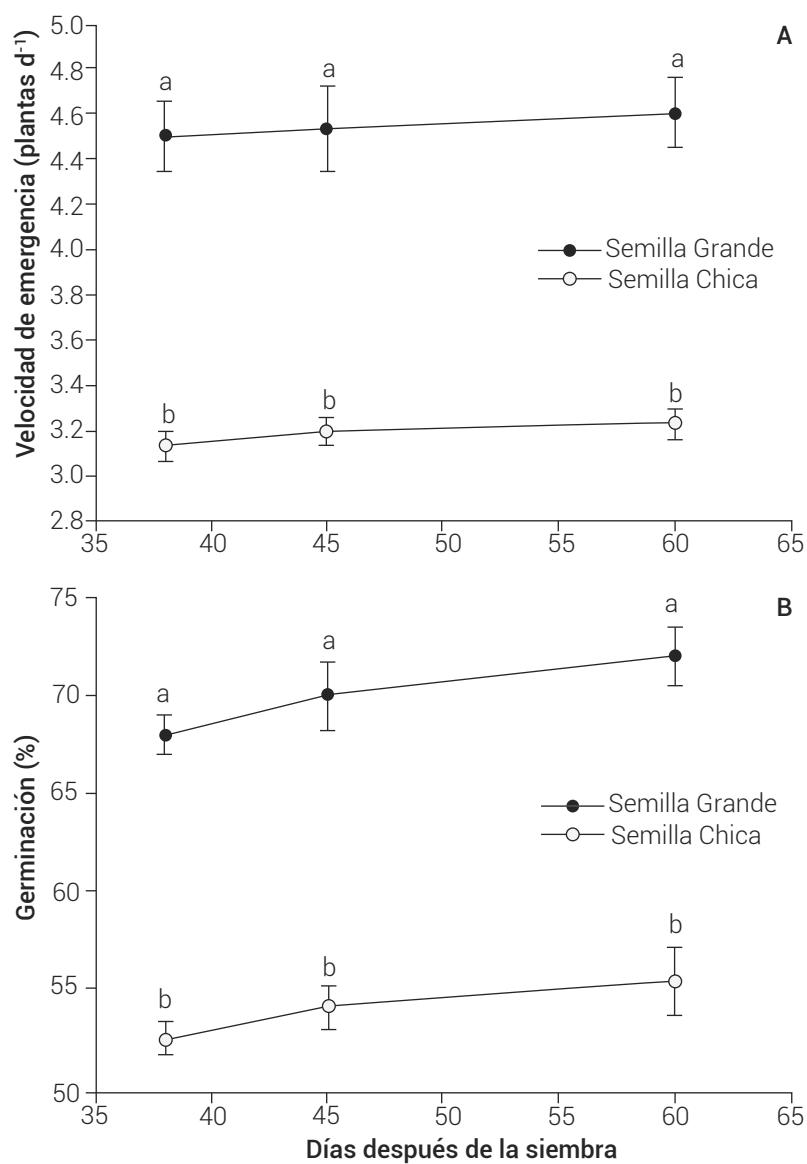


Figura 3. Velocidad de emergencia (A) y germinación (B) de *Cajanus cajan* (L.) Millsp. 38, 45 y 60 días después de la siembra.

indican mejor desarrollo en campo y plantas con valores superiores a 10 se consideran frágiles y propensas a quebrarse (Pérez-González et al., 2012). De acuerdo con el IE obtenido 45 DDS, las plántulas originadas de semilla G podrían considerarse de mejor calidad; sin embargo, las obtenidas de semillas C presentaron IE inferior a 10 al término de 60 DDS.

La mayor acumulación de materia seca en los distintos componentes morfológicos se obtuvo 60 DDS en las plántulas originadas de semilla G, lo cual contrasta con lo observado en C (Figura 5 A). La determinación de materia seca total y por componente morfológico es una medición clave del crecimiento, debido a que es un reflejo

de la respuesta de la planta a factores como actividad fotosintética, concentración de CO₂ y en menor medida a la temperatura (Stanghellini et al., 2019). Las plantas con mayor contenido de materia seca muestran alto potencial de crecimiento y calidad (Cruz et al., 2004; Mañas et al., 2009).

El área foliar, volumen de la raíz e índice de vigor de planta del tratamiento G supera los valores registrados para las plantas de semilla chica (Figura 5 B, C y D). Por otra parte, el área foliar determina la cantidad de fotoasimilados que el cultivo puede producir, lo que influye en su desarrollo y productividad. Un área foliar grande es esencial para lograr la mayor intercepción de la radiación (Marcelis et al., 2018).

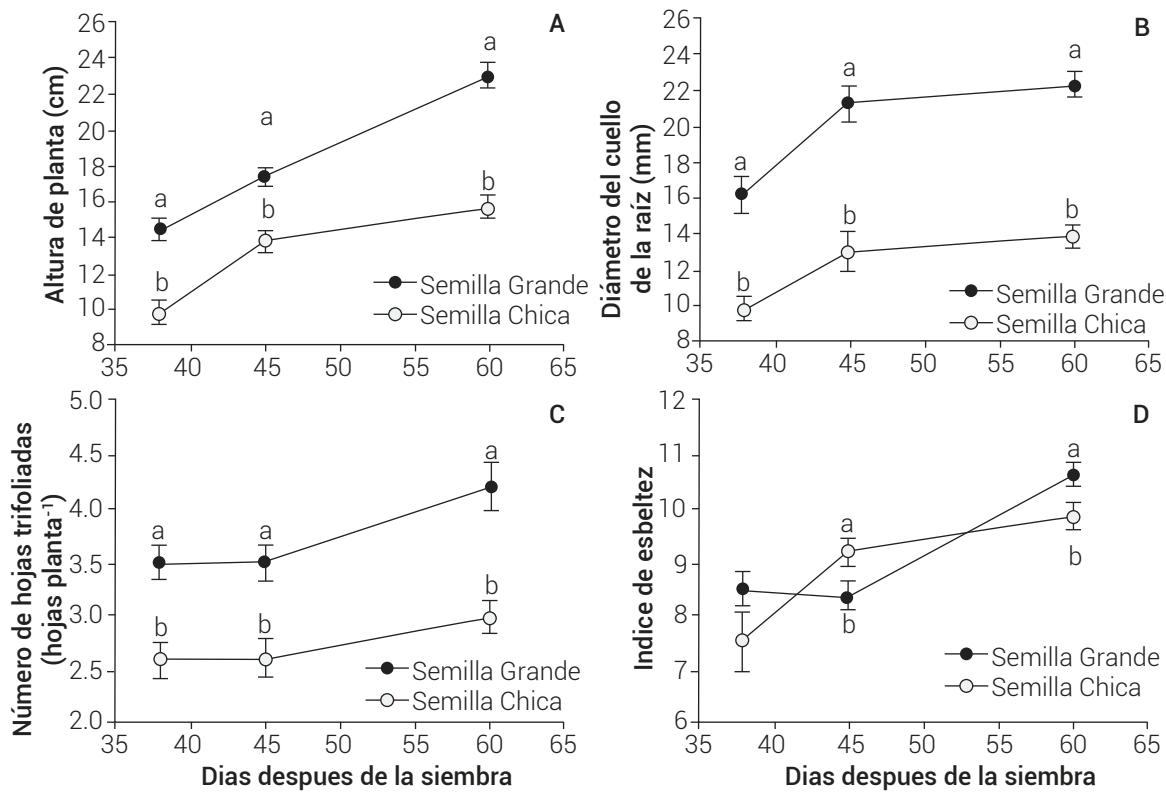


Figura 4. Altura de planta (A), diámetro del cuello de la raíz (B), número de hojas trifoliadas (C) e índice de esbeltez (D) en plantas de *Cajanus cajan* (L.) Millsp. 38, 45 y 60 días después de la siembra.

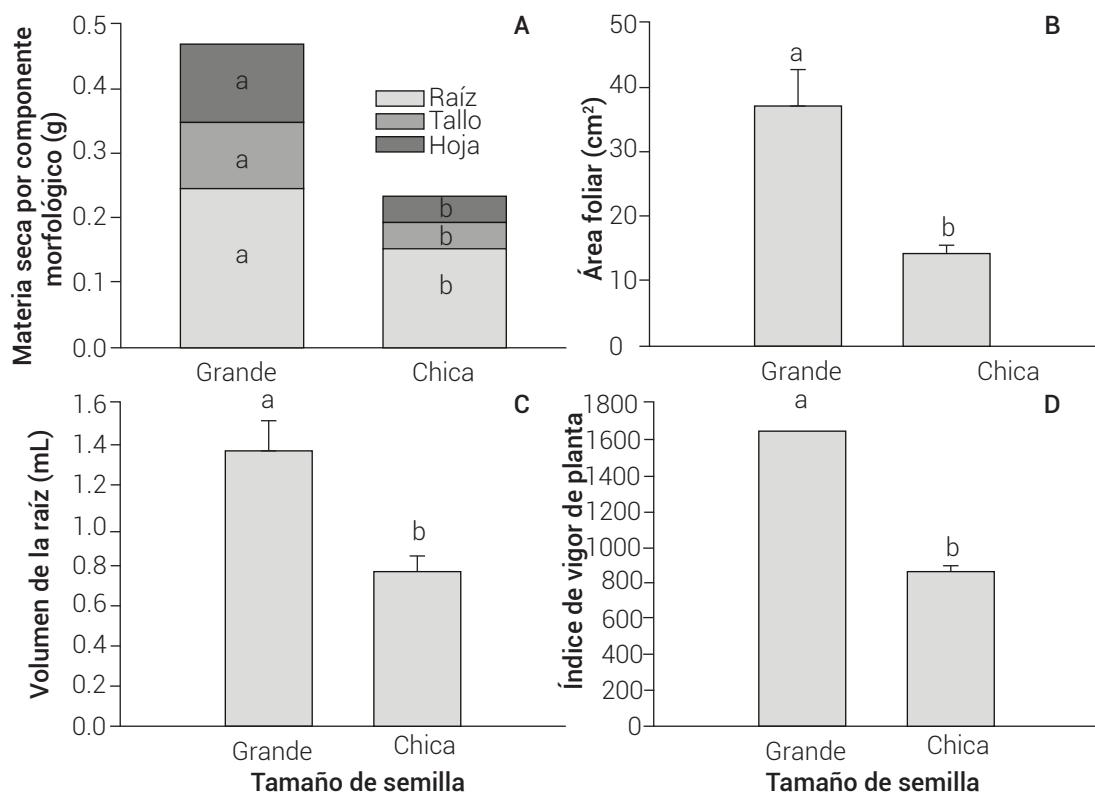


Figura 5. Contenido de materia seca por componente morfológico (A), área foliar (B), volumen de raíz (C) e índice de vigor de planta (D) en *Cajanus cajan* (L.) Millsp. 60 días después de la siembra.

Plantas con área foliar extensa poseen más capacidad fotosintética, por lo tanto, el área foliar es importante para elegir plántulas de calidad capaces de establecerse con éxito en el campo (Oliveira *et al.*, 2016; Silva *et al.*, 2019). Determinaciones como volumen y materia seca de la raíz pueden proporcionar información certera sobre el posible desempeño de las plántulas, en comparación con otros parámetros (Tsakaldimi *et al.*, 2013). Plántulas con mayor volumen y materia seca en la raíz pueden explorar más el medio de crecimiento, lo que facilita la absorción de agua y nutrientes (Oliveira *et al.*, 2016). El desarrollo rápido de raíces grandes mejora la adaptación de la planta a condiciones limitantes, como son la escasez de agua y baja fertilidad del suelo, lo que incrementa la supervivencia en campo (Gallardo *et al.*, 2006). Por último, el efecto del tamaño de semilla sobre el vigor de las plantas se ha estudiado en varias especies (Demircakmak *et al.*, 1963; Royo *et al.*, 2006; Stougaard y Xue, 2004; Stougaard y Xue, 2005; Biçer, 2009). De acuerdo con estos estudios, las semillas grandes producen plantas con mayor índice de vigor, altura de planta, rendimiento y acumulación de biomasa (Kandasamy *et al.*, 2020).

CONCLUSIONES

Semillas grandes de *Cajanus cajan* (L.) Millsp. tienen mayor porcentaje de germinación y velocidad de emergencia en comparación con las semillas chicas. Además, producen plántulas con mayor expresión en las características altura, diámetro del cuello de la raíz, número de hojas, acumulación de materia seca total y por componente morfológico, área foliar, volumen de la raíz e índice de vigor de planta. El índice de esbeltez fue la única variable en la que las semillas chicas superaron a las grandes y por lo tanto las plántulas que se originan de semilla pequeña son menos susceptibles a sufrir daño mecánico.

BIBLIOGRAFÍA

- Adebisi M. A., T. O. Kehinde, M. O. Ajala, E. F. Olowu and S. Rasaki (2011) Assessment of seed quality and potential longevity in elite tropical soybean (*Glycine max* L. Merril) grown in southwestern Nigeria. *Nigeria Agricultural Journal* 42:94-103.
- Aguirre M. Z., O. T. Gaona, y H. B. Palacios (2014) Dinámica de crecimiento de especies forestales establecidas en el Jardín Botánico El Padmi, Zamora Chinchipe, Ecuador. *CEDAMAZ* 4:62-75.
- Ambika S., V. Manonmani and G. Somasundaram (2014) Review on effect of seed size on seedling vigour and seed yield. *Research Journal of Seed Science* 7:31–38, <https://doi.org/10.3923/rjss.2014.31.38>
- Bhalerao B. S., D. C. Lokhande and B. R. Bobade (2020) Thermal requirement of pigeon pea varieties at different phenological stages under varied weather conditions. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 9:1425–1428, <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2019.812.118>
- Biçer B. T. (2009) The effect of seed size on yield and yield components of chickpea and lentil. *African Journal of Biotechnology* 8:1482–1487.
- Carney J. A., and R. N. Rosomoff (2009) In the Shadow of Slavery: Africa's botanical legacy in the Atlantic world. University of California Press. 296 p.
- Cruz C. A. F., H. N. Paiva, K. C. O. Gomes, and C. R. A. Guerrero (2004) Effect of different rates of base saturation on the growth and quality of ipê-roxo seedlings (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standley). *Forest Science* 66:100–107.
- Delouche J. C. (1974) Maintaining soybean seed quality. In: Soybean: Production, Marketing, and Use. Muscle Shoals, Ala.: NFDC, TVA, BuH. Y-69:46-62.
- Demircakmak A., M. L. Kaufmann and L. P. V. Johnson (1963) The influence of seed size and seeding rate on yield and yield components of barley. *Canadian Journal of Plant Science* 43:330–337.
- Finch-Savage W. E. and G. W. Bassel (2016) Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. *Journal of Experimental Botany* 67: 567–591, <https://doi.org/10.1093/jxb/erv490>
- Gallardo M., R. B. Thompson, L. C. Valdez and M. D. Fernández (2006) Use of stem diameter variations to detect plant water stress in tomato. *Irrigation Science* 24:241–255, <https://doi.org/10.1007/s00271-005-0025-5>
- Gallegos-Cedillo V. M., F. Diánez, C. Nájera and M. Santos (2021) Plant agronomic features can predict quality and field performance: a bibliometric analysis. *Agronomy* 11:1–32, <https://doi.org/10.3390/agronomy11112305>
- García E. (1998) Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto de Geografía-Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Ciudad de México, México. 90 p.
- Hluyako L. L., A. O. Odindo, P. Mafongoya, N. J. Sithole and L. S. Magwaza (2017) Characterization of pigeon pea (*Cajanus cajan*) landraces grown in two climatic zones in KwaZulu-Natal province, South Africa. *South African Journal of Plant and Soil* 34: 191–199, <https://doi.org/10.1080/02571862.2016.1266044>
- ISTA, International Seed Testing Association (2018) International rules for seed testing. ISTA. Zurich, Switzerland. 448 p.
- Jerlin R. and K. K. Vadivelu (2004) Effect of fertilizer application in nursery for elite seedling production of pongam (Pongamia pinnata L. Pierre). *Journal of Tropical Agricultural Research and Extension* 7:69–71, <https://doi.org/10.4038/tare.v7i0.5419>
- Kandasamy S., N. Weerasuriya, D. Gritsiouk, G. Patterson, S. Saldias, S. Ali and G. Lazarovits (2020) Size variability in seed lot impact seed nutritional balance, seedling vigor, microbial composition and plant performance of common corn hybrids. *Agronomy* 10:157, <https://doi.org/10.3390/agronomy10020157>
- Kaydan D. and M. Yagmur (2008) Germination, seedling growth and relative water content of shoot in different seed sizes of triticale under osmotic stress of water and NaCl. *African Journal of Biotechnology* 7:2862–2868.
- Kim S. H., Z. R. Choe and J. H. Kang (1987) Vigor determination in barley seeds by the multiple criteria. *Korean Journal of Crop Science* 32:417–424.
- Kolawole G. O. and B. T. Kang (1997) Effect of seed size and phosphorus fertilization on growth of selected legumes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 28:1223–1235, <https://doi.org/10.1080/00103629709369868>
- Luis V. C., J. Peters, A. M. González-Rodríguez, M. S. Jiménez and D. Morales (2004) Testing nursery plant quality of Canary Island pine seedlings grown under different cultivation methods. *Phyton* 44:231–244.
- Maguire J. D. (1962) Speed of germination: Aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science* 2:176–7.
- Mañas P., E. Castro and J. de las Heras (2009) Quality of maritime pine *Pinus pinaster* Ait. seedlings using waste materials as nursery growing media. *New Forest* 37:295–311, <https://doi.org/10.1007/s11056-008-9125-4>
- Marcelis L. F. M., E. Kaiser, A. van Westreenen and E. Heuvelink (2018) Sustainable crop production in greenhouses based on understanding crop physiology. *Acta Hortic.* 1227:1–12, <https://doi.org/10.17660/actahortic.2018.1227.1>
- Ojwang J. D., R. O. Nyankanga, O. M. Olanya, D. O. Okuku and J. Imungi (2016) Yield components of vegetable pigeon pea cultivars. *Subtropical Agriculture and Environments* 67:1–12.

- Oliveira B. D., S. M. Reis, P. S. Morandi, M. B. X. Valadão, E. A. de Oliveira, B. S. Marimon and J. Marimon (2016) Germination and seedling development of *Magonia pubescens* A. St. Hil (Sapindaceae) under different shade levels. *Sci. For.* 44:905–916, <https://dx.doi.org/10.18671/scifor.v44n112.12>
- Patel N. R. and A. N. Mehta (2001) Phenological development and yield of two diverse pigeonpea [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] Genotypes in relation to weather. *J. Agric. Physics* 1: 52–57.
- Pérez-González G., M. Domínguez-Domínguez, P. Martínez-Zurimendi y J. D. Etchevers-Barra (2012) Caracterización dasométrica e índice de sitio en plantaciones de caoba en Tabasco, México. *Madera y Bosques*, 18: 7–24, <https://doi.org/10.21829/myb.2012.181511>
- Rebolledo M. C., M. Dingkuhn, B. Courtois, Y. Gibon and A. Clement-Vidal (2015) Phenotypic and genetic dissection of component traits for early vigour in rice using plant growth modelling, sugar content analyses and association mapping. *Journal of Experimental Botany* 66: 5555–5566, <https://doi.org/10.1093/jxb/erv258>
- Royo C., A. Ramdani, M. Moragues and D. Villegas (2006) Durum wheat under mediterranean conditions as affected by seed size. *J. Agron. Crop Sci.* 192:257–266, <https://doi.org/10.1111/j.1439-037x.2006.00215.x>
- Sameer K. C., N. S. J. Satheesh, N. Mohan, R. K. Saxena and R. K. Varshney (2017) Botanical Description of Pigeonpea [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.]. In: Varshney R, Saxena RK, and Jackson S (Eds.). *The Pigeonpea Genome* (1st ed.) Springer Nature. pp. 17–29, https://doi.org/10.1007/978-3-319-63797-6_3
- Sarkar S., S. Panda, K. K. Yadav and P. Kandasamy (2018) Pigeon pea (*Cajanus cajan*) an important food legume in Indian scenario – a review. *Legume Research* 43: 601–610, <https://doi.org/10.18805/LR-4021>
- Saxena K. B., R. K. Saxena, R. K. Varshney (2017) Key plant and grain characteristics and their importance in breeding and adaptation of pigeonpea cultivars. In: Varshney R, Saxena RK, and Jackson S (Eds.). *The Pigeonpea Genome* (1st ed.) Springer Nature. pp. 17–29, https://doi.org/10.1007/978-3-319-63797-6_3
- S (Eds.). *The Pigeonpea Genome* (1st ed.) Springer Nature. pp. 17–29 https://doi.org/10.1007/978-3-319-63797-6_3
- Sharma D., L. Singh, S. S. Baghel, H. K. Sharma (1972) Genetic analysis of seed size in pigeonpea (*Cajanus cajan*). *Can. J. Genet. Cytol.* 14:545–548.
- Silva L. D. D., A. P. L. Lima, S. F. D. Lima, R. C. Silva and G. F. Paniago (2019) Controlled-release fertilizer in the production and quality of *Acacia mangium* seedlings. *Floram* 26: e02092017, <https://doi.org/10.1590/2179-8087.020917>
- Stanghellini C., B. Oosfer and E. Heuvelink (2019) Greenhouse Horticulture: Technology for Optimal Crop Production; Wageningen Academic Publishers: Wageningen, The Netherlands. pp. 1–311.
- Stougaard R. N. and Q. Xue (2004) Spring wheat seed size and seeding rate effects on yield loss due to wild oat (*Avena fatua*) interference. *Weed Sci.* 52:133–141, <https://doi.org/10.1614/ws-03-007r1>
- Stougaard R. N. and Q. Xue (2005) Quality versus quantity: Spring wheat seed size and seeding rate effects on *Avena fatua* interference, economic returns and economic thresholds. *Weed Res.* 45:351–360, <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2005.00468.x>
- Tsakaldimi M., P. Ganatsas and D. F. Jacobs (2013) Prediction of planted seedling survival of five Mediterranean species based on initial seedling morphology. *New For.* 44:327–339, <https://doi.org/10.1007/s11056-012-9339-3>
- Van der Maesen L. J. G. (1980) India is the native home of the pigeonpea. In: Arends JC, Boelman G, de Grant CT, and Leeuwaenberg AJM (Eds.), *Libergratularius in Honrem* (1st ed.). Wit. Agricultural University Miscellaneous Papers. pp. 257–262.
- Zhao D. L., G. N. Atlin, L. Bastiaans and J. H. J. Spiertz (2006) Comparing rice germplasm groups for growth, grain yield and weed-suppressive ability under aerobic soil conditions. *Weed Research* 46: 444–452, <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2006.00529.x>