

Evaluación agronómica de 15 genotipos de gandul [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] en Isabela y Lajas, Puerto Rico^{1,2}

Leidy Sarmiento³, Diego M. Viteri^{4*},
Angela M. Linares-Ramírez⁵ y Kelvin González⁶

J. Agric. Univ. P.R. 105(2):179-202 (2021)

RESUMEN

El gandul [*Cajanus cajan* (L.) Mills.] es una fuente importante de proteína en la dieta humana. En Puerto Rico, se han desarrollado genotipos de crecimiento determinado e insensitivos al fotoperiodo, sin embargo, su potencial productivo necesita ser evaluado. El objetivo de la presente investigación fue realizar la evaluación agronómica de 15 genotipos de gandul en Isabela y Lajas en el 2017 y 2018. Se registraron variables cuantitativas [e.g., días a floración y cosecha, rendimiento (t/ha), entre otras] y cualitativas (e.g., sensibilidad al fotoperiodo, color de tallo, flor, vaina y semilla) para cada genotipo. Se observaron diferencias significativas entre los ensayos sembrados en noviembre de 2017 y abril de 2018. Los genotipos 'Cortada', 'Guerrero', 'ICP 13207', 'ICP 7035', ICP 7193, 'Pinto Berrocales', 'Pinto original' y 'Super pinto' fueron sensitivos al fotoperiodo. Los genotipos de maduración temprana fueron 'ICPL 86012' e ICP 98030, con 118 a 125 días, en las siembras de noviembre de 2017, y con 112 a 145 días en las siembras de abril de 2018, en las dos localidades. El cultivar con mejor rendimiento de semilla seca en Isabela fue 'Lázaro' (0.70 t/ha) en las siembras de 2017, e ICP 7193 (0.59 t/ha), en las siembras de 2018. En Lajas, los genotipos 'Guerrero' e ICP 7193 tuvieron los mejores rendimientos en semilla seca (1.89 y 1.81 t/ha, respectivamente) en 2017; mientras que ICP 7193 e ICP 98030 produjeron 0.97 y 0.84 t/ha, respectivamente, en 2018. Estos genotipos pueden ser utilizados para generar germoplasma insensitivo al fotoperiodo, precoces y con alto potencial productivo.

Palabras clave: gandul, genotipos, insensitividad al fotoperiodo, rendimiento

¹Manuscrito sometido a la Junta Editorial el 14 de enero de 2021.

²Este trabajo fue financiado por el Instituto Nacional de Alimentos y Agricultura (NIFA, por sus siglas en inglés) del Departamento de Agricultura Federal, USDA-NIFA S-009 (Proyecto # 1017544).

³Exestudiante graduada, Universidad de Puerto Rico, Departamento de Ciencias Agroambientales, Isabela, Puerto Rico 00662.

⁴Catedrático Asociado, Universidad de Puerto Rico, Departamento de Ciencias Agroambientales, Isabela, Puerto Rico. *Autor para correspondencia: diego.viteri@upr.edu

⁵Catedrática Asociada, Universidad de Puerto Rico, Departamento de Ciencias Agroambientales, Lajas, Puerto Rico 00667.

⁶Exasistente técnico. Universidad de Puerto Rico, Departamento de Ciencias Agroambientales, Lajas, Puerto Rico 00667.

ABSTRACT

Agronomic evaluation of 15 pigeonpea [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] genotypes in Isabela and Lajas, Puerto Rico

Pigeonpea [*Cajanus cajan* (L.) Mills.] is an important source of protein in the human diet. In Puerto Rico, genotypes with determinate growth habit and photoperiod insensitivity have been developed; however, their yield potential needs to be assessed. The objective of this research was to evaluate the agronomic performance of 15 pigeonpea genotypes in Isabela and Lajas during 2017 and 2018. Quantitative (e.g., days to flowering and harvesting, seed-yield t/ha, among others) and qualitative (e.g., photoperiod sensitivity; stem, flower, pod, and seed colors) traits were evaluated for each genotype. There were significant differences in the trials conducted in November 2017 and April 2018. 'Cortada', 'Guerrero', 'ICP 13207', 'ICP 7035', 'ICP 7193', 'Pinto Berrocales', 'Pinto original' and 'Super pinto' were sensitive to the photoperiod. 'ICPL 86012' and ICP 98030 were early maturing with 118 to 125 days from the November 2017 planting, and 112 to 145 days from the April 2018 planting in both locations. At Isabela, 'Lázaro' had the best seed-yield (0.70 t/ha) in the 2017 trial and ICP 7193 (0.59 t/ha) in the 2018 trial. By contrast, at Lajas, 'Guerrero' and ICP 7193 had the highest yields (1.89 and 1.81 t/ha, respectively) in 2017; while ICP 7193 and ICP 98030 with 0.97 and 0.84 t/ha, respectively, had the highest yields in 2018. Thus, these genotypes may be used to develop pigeonpea germplasm insensitive to photoperiod, early maturing and with high yield potential.

Key words: genotypes, photoperiod insensitivity, pigeonpea, yield

INTRODUCCIÓN

El gandul [*Cajanus cajan* (L.) Mills.] es una leguminosa probablemente originaria de India (Varshney et al., 2017) que se encuentra entre los seis cultivos más importantes del mundo, con una producción mundial de alrededor de 5.41 millones de hectáreas, distribuida en África (19 %), América (3 %) y Asia (78 %) con rendimientos promedio de 0.87, 1.26 y 0.76 t/ha, respectivamente (FAO, 2017). En Puerto Rico se cultivaron 84 ha de gandul, con una producción de 164 toneladas y un rendimiento promedio de 1.96 t/ha, en 2017 (FAO, 2017). El gandul es importante en la dieta diaria de las familias puertorriqueñas, tradicionalmente es consumido durante la Navidad y en días festivos, con una contribución económica de aproximadamente \$ 620,000 al ingreso bruto agrícola en los años 2014 y 2015 (Departamento de Agricultura de Puerto Rico, 2015). En Puerto Rico, el grano del gandul comercial es de color verde cuando se encuentra en estado fresco y color crema en estado seco. Las semillas color rojo, negro y moteado son menos preferidas por los consumidores por el sabor y color que adquieren después de la cocción (Anatole et al., 2017).

El género *Cajanus* posee 32 especies, siendo *C. cajan* la única especie comercial domesticada hace aproximadamente 3,500 años (Kassa et

al., 2012). Esta especie tiene genotipos tempranos, medianos y tardíos (Saxena et al., 2019), sensitivos e insensitivos al fotoperiodo, y con alta variabilidad entre genotipos sobre todo en días a floración (Sameer et al., 2017; Saxena et al., 2019). Estudios señalan que las variedades tempranas (floración < 90 y maduración < 160 días) son consecuencia de mutaciones espontáneas en genotipos de maduración tardía, o a su vez, como producto de la segregación transgresiva y de mutaciones inducidas, influenciadas por condiciones de temperatura (24.70° C, maduración extra-temprana; 23.10° C, temprana; 22.20° C, media; y 18.30° C, tardía) y número de horas luz (> 13 h) que puede aumentar el ciclo del cultivo e incrementar la altura de la planta (Dwivedi et al., 1998; Kundy et al., 2015; Mohamed et al., 1983; Rowden et al., 1981; Saxena et al., 2019; Vélez y Garrison, 1989). Mediante el mejoramiento genético por selección e hibridación se han obtenido cultivares comerciales de maduración temprana, como por ejemplo 'ICPL 83015' e 'ICPL 85010' que fueron desarrollados en la India (Saxena et al., 2019).

El rendimiento es una de las características agronómicas más importantes en un cultivar mejorado y está influenciado por factores como densidad y fecha de siembra, genotipo, estrés hídrico y resistencia a plagas y enfermedades, entre otros factores (Worku y Demisie, 2012). Por ejemplo, la línea ICPL 88039 es un genotipo que ha mostrado un buen comportamiento agronómico en evaluaciones realizadas por el Instituto Internacional de Investigación de Cultivos para los Trópicos Semiáridos (ICRISAT, por sus siglas en inglés) durante los años 2010 y 2011, con un rendimiento en semilla seca de 1.85 t/ha, además fue insensitiva al fotoperiodo (Vales et al., 2012). Por otro lado, Oviedo y Cedano (2010) reportaron que los genotipos ALG09-9-4 y UASD, desarrollados en la República Dominicana, fueron insensitivos al fotoperiodo, presentaron flores de color rojo y amarillo con vainas marrón oscuro y verde, respectivamente; mientras que la variedad IDIAF Navideño, a pesar de que fue sensitiva al fotoperiodo, tuvo rendimientos de hasta 7 t/ha de grano verde, y fue tolerante a enfermedades como la antracnosis causada por *Colletotrichum cajani* (Rangel) y la roya causada por *Uredo cajani* (Syd. y P. Syd.). Sin embargo, presentó susceptibilidad a bacteriosis común o cáncer del tallo causado por *Xanthomonas campestris* pv. *cajani* (Kulkarni, Patel y Abhyankar). En República Dominicana, el genotipo ICRISAT-IB (ICR-93038) se caracterizó por ser precoz (110 a 115 días) y de maduración homogénea, con rendimientos de hasta 5 t/ha de grano fresco (Cedano et al., 2007a). Mientras que el genotipo India-III (Invernal) fue insensitivo al fotoperiodo, de ciclo intermedio (180 a 230 días) y rendimientos de 4.50 t/ha (Cedano et al., 2007a). Los cultivares 'Blanco', 'Guerrero', 'Haitiano', 'ICRISAT-93020', 'ICRISAT-93039', 'ICRISAT-93070', 'India II', 'Kaki', y 'Puerto Rico' se

cultivan en Puerto Rico y República Dominicana, con rendimientos en fresco entre 2.69 a 3.64 t/ha (Cedano, 2006; Cedano et al., 2007b). En Puerto Rico, los genotipos '2B-Bushy', 'Blanco' y 'Kaki' tuvieron rendimientos promedio en vaina fresca de 6.10, 5.89 y 7.22 t/ha, respectivamente (Hepperly y Rodríguez, 1984).

El material genético que se encuentra en los bancos de germoplasma es la alternativa para la búsqueda de genes/QTL (quantitative trait loci, por sus siglas en inglés) que posean características agronómicas deseables que puedan ser introducidas a cultivares comerciales (Kumawat et al., 2012). Por ejemplo, madurez fisiológica temprana, tamaño y color de semilla, número de vainas por planta, contenido de proteína de la semilla, insensitivas al fotoperiodo son algunos de los rasgos que se han incorporado en varios genotipos (Egbe y Vange, 2008; Singh et al., 2013; Upadhyaya et al., 2016). Muchas de las características mencionadas también han sido transmitidas de genotipos silvestres a los cultivares (Gowda et al., 2013; Harshal et al., 2018; Prabhavathi y Ramappa, 2018; Saxena et al., 2017). El programa de mejoramiento de gandul de la Subestación Experimental Agrícola de Isabela ha desarrollado genotipos con tipo de crecimiento determinado e insensitivos al fotoperiodo en los últimos 15 años, sin embargo, su potencial agronómico necesita ser evaluado en múltiples ambientes. Los objetivos de la presente investigación fueron realizar la caracterización agronómica y morfológica de 15 genotipos de gandul en dos ambientes contrastantes y seleccionar aquellos cultivares o líneas mejoradas que presenten las mejores características agronómicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localidades de estudio

Los experimentos de investigación se realizaron en las Subestaciones de Isabela y Lajas de la Universidad de Puerto Rico. La Subestación de Isabela se encuentra ubicada al noroeste de la Isla (18°27'46" latitud norte y 67°02'05" latitud oeste) a 128 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), temperatura promedio anual de 25° C que oscila entre 20 y 31 °C, precipitación promedio anual de 147.80 mm, y humedad relativa con promedios anuales de 75 %. Los suelos pertenecen al orden Oxisol, la Serie Coto y Cotito, y pueden ser de textura arcillosa de baja fertilidad (Muñoz et al., 2018). La Subestación de Lajas está localizada al suroeste de Puerto Rico (18°01'03" latitud norte y 67°04'25" longitud oeste), a 14 m.s.n.m., temperatura media de 24° C, precipitación media anual de 116.80 mm, y humedad relativa de 70 %. Los suelos pertenecen al orden Vertisol, serie Fraternidad y San Antón, profundos con buen drenaje y de alta fertilidad (Muñoz et al., 2018).

Germoplasma utilizado, diseño experimental y variables evaluadas

En cada ensayo se evaluaron 15 cultivares/líneas mejoradas de gandul de diferentes orígenes, que pertenecen a la colección de germoplasma de leguminosas de la Subestación de Isabela (Cuadro 1). Los genotipos se distribuyeron en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones en Isabela y Lajas. La parcela experimental estuvo constituida por cuatro surcos de 3.66 m de largo, distanciados entre ellos a 0.91 m; la distancia entre plantas fue de 0.33 m y se sembró una semilla por sitio, dando una densidad de siembra de aproximadamente 33,333 plantas por hectárea. Se cosecharon 10 plantas de las hileras centrales, para estimar el rendimiento en semilla seca, y de las hileras laterales para el rendimiento en vaina fresca (semilla verde) en toneladas por hectárea. Para determinar el rendimiento en vaina fresca, se realizaron cosechas semanales a partir del avistamiento de las primeras vainas llenas, luego se sumó el peso de vainas obtenido en cada cosecha y se calculó el rendimiento total en fresco en toneladas por hectárea.

CUADRO 1.—*Genotipos de gandul [Cajanus cajan (L.) Millsp.] seleccionados para la caracterización agronómica en ensayos realizados en las Subestaciones Experimentales Agrícolas de Isabela y Lajas de la Universidad de Puerto Rico, durante los años 2017 y 2018.*

Genotipo	Hábito de crecimiento	Referencias
'Cortada'	Determinado	Bosques et al., 2000a
'Guerrero'	No determinado	Bosques et al., 2000b
I-8-3-4	Determinado	EEA Isabela*
I-30	Determinado	EEA Isabela
I-58-3	Determinado	EEA Isabela
II-56	Determinado	EEA Isabela
'ICP 13207'	No determinado	Rani et al., 2015; Tsehai et al., 2015
'ICP 7035'	No determinado	Rangaswamy et al., 2005
ICP 7193	No determinado	Egbe y Vange, 2008
'ICPL 86012'	Determinado	Cheboi et al., 2019; Villiers et al., 2008
ICP 98030**	Determinado	—
'Lázaro'	Determinado	EEA Isabela
'Pinto Berrocales'	No determinado	EEA Isabela
'Pinto original'	No determinado	EEA Isabela
'Super pinto'	No determinado	EEA Isabela

*Líneas mejoradas y cultivares locales que se conservan en el banco de germoplasma de la Subestación Experimental Agrícola de Isabela de la Universidad de Puerto Rico.

**El código de este genotipo no se encontró en la base de datos del banco de germoplasma de ICRISAT. Sin embargo, es preservado en la Subestación Experimental Agrícola de Isabela de la Universidad de Puerto Rico.

Otras características cuantitativas evaluadas fueron: altura de planta desde la base del suelo hasta la yema terminal más sobresaliente (m), días a floración y cosecha, longitud de las vainas (cm), tamaño del foliolo (largo y ancho en cm), número de vainas y semillas por planta, número de semillas por vaina, peso de 100 semillas (g) en fresco y seco (g). Dentro de las características cualitativas se avaluó el tipo de inflorescencia y el color del tallo, flor, vaina y semilla (en fresco y seco) (Mallesh et al., 2017; Rangaswamy et al., 2005).

Análisis estadístico

Se verificó normalidad y la homogeneidad de varianzas para los datos de cada ensayo experimental en Isabela y Lajas mediante la prueba de Shapiro–Wilk y Levene, respectivamente (DiRienzo et al., 2008). Se utilizó una transformación logarítmica para las variables: días a la floración y maduración, longitud de foliolo, y número de vainas por planta, que no cumplieron con los supuestos de la homogeneidad de varianzas. También, se realizaron análisis simples de varianzas en los ensayos experimentales para los datos cuantitativos por cada localidad y un análisis combinado para los datos de Isabela y Lajas mediante los programas estadísticos de Infostat (DiRienzo et al., 2008) y SAS (PROC GLM SAS, 2012). Los genotipos fueron considerados como efectos fijos, mientras que las épocas de siembra y réplicas fueron efectos aleatorios (McIntosh, 1983). Además, se verificó la homogeneidad de las varianzas entre siembras mediante la prueba de Bartlett (Chao y Glaser, 1978). Todas las medias de los tratamientos se compararon mediante la prueba de LSD al 5 % de probabilidad.

RESULTADOS

El análisis de varianza combinado para los ensayos de Isabela determinó diferencias significativas entre las épocas de siembra (noviembre 2017 y abril 2018), así como en la interacción época x genotipo. Además, se observaron diferencias significativas entre genotipos para las variables cuantitativas: altura de planta, días a floración y cosecha, longitud de las vainas y foliolo, número de vainas y semillas por planta, y número de semillas por vaina (Cuadro 2). En Lajas se evidenció una situación similar, pero con algunas excepciones, como, por ejemplo, no se observaron diferencias significativas para las variables: número de semillas por vaina (entre épocas), rendimiento en vaina fresca (entre genotipos), longitud y ancho del foliolo y número de vainas por planta (para épocas y la interacción época x genotipo) (Cuadro 3).

La prueba de Bartlett para las varianzas simples de los ensayos sembrados en noviembre 2017 versus los de abril 2018 determinaron

CUADRO 2.—Análisis de varianza combinado para altura de planta, días a floración y maduración, longitud de foliolo, ancho de foliolo, longitud de vaina, número de semillas por vaina, número de vainas por planta, rendimiento de vaina fresca y semilla seca, para 15 genotipos de gandul [Cajanus cajan (L.) Millsp.] evaluados en la Subestación Experimental Agrícola de Isabela, Puerto Rico, durante los años 2017 y 2018.

Fuentes de variación	GL	Altura de planta	Días a floración	Días a maduración	Longitud de foliolo	Ancho de foliolo	Valor de F			Rendimiento de vaina fresca	Rendimiento de semilla seca
							Longitud de vainas	Número de semillas/vaina	Número de vainas/planta		
Época	1	2237.50***2	1478.24***	7378.44***	23.16***	124.04***	137.19***	5.83**	90.53***	7.47***	59.77***
Repetición (época)	4	1.43 ns	1.15 ns	2.25 ns	1.28 ns	5.50***	2.88*	0.47 ns	4.44***	1.97 ns	1.88 ns
Genotipo	14	169.91***	81.23***	348.43***	5.25***	15.44***	61.44***	13.17***	11.38***	5.51***	2.17*
Época x genotipo	14	63.89***	34.34***	170.89***	2.29**	1.88 ns	3.67***	2.00**	7.70***	5.09***	5.44***

¹Datos con transformación logarítmica para los análisis estadísticos

²Diferencias significativas a *p < 0.05, **p < 0.01 y ***p < 0.001; ns = no significativo

CUADRO 3.—Análisis de varianza combinado para altura de planta, días a floración y maduración, longitud de foliolo, ancho de foliolo, longitud de vaina, número de semillas por vaina, número de vainas por planta, rendimiento de vaina fresca y semilla seca, para 15 genotipos de gandul [Cajanus cajan (L.) Millsp.] evaluados en la Subestación Experimental Agrícola de Lajas, Puerto Rico, durante los años 2017 y 2018.

Fuentes de variación	GL	Altura de planta	Días a floración	Días a maduración	Longitud de foliolo	Ancho de foliolo	Valor de F			Rendimiento de vaina fresca	Rendimiento de semilla seca
							Longitud de vainas	Número de semillas/vaina	Número de vainas/planta		
Época	1	1491.29***2	791.12***	304.97***	0.48 ns	13.76***	14.46***	2.96 ns	1.83 ns	34.32***	104.91***
Repetición (época)	4	5.36***	1.72 ns	0.78 ns	1.45 ns	1.45 ns	1.12 ns	2.11 ns	0.65 ns	0.34 ns	2.55 ns
Genotipo	14	49.29***	130.92***	90.02***	15.08**	7.42***	16.65***	8.89***	3.40***	1.34 ns	4.86***
Época x genotipo	14	10.51***	52.96***	45.58***	1.47 ns	1.60 ns	2.86***	1.37 ns	2.21*	2.70***	5.55***

¹Datos con transformación logarítmica para los análisis estadísticos

²Diferencias significativas a *p < 0.05, **p < 0.01 y ***p < 0.001; ns = no significativo

ser heterogéneas ($p < 0.05$) para la mayoría de las variables en estudio, en las dos localidades. Las únicas excepciones fueron: días a maduración, ancho de foliolo, número de semillas por vaina y rendimiento en vaina fresca, que resultaron ser homogéneas en Isabela (Cuadro 4). Por consiguiente, los datos en la presente investigación se discutieron separadamente.

Los análisis de varianza simples determinaron diferencias significativas para genotipos en todas las variables en los ensayos de Isabela en la siembra de noviembre 2017 y abril 2018, excepto para la longitud de foliolo en 2018 (Cuadros 5 y 6). Resultados similares se observaron en Lajas, con excepción de las variables número de vainas por planta y rendimiento en vaina fresca, en la siembra de noviembre 2017 (Cuadros 7 y 8).

Los genotipos de crecimiento determinado 'ICPL 86012' e ICP 98030 tuvieron menor altura de planta, con rangos de 0.62 a 0.81 m en las siembras de noviembre 2017, y de 1.15 a 1.53 m en abril 2018, en Isabela y Lajas. Contrariamente, los genotipos de crecimiento indeterminado ('Guerrero', 'ICP 13207', 'ICP 7035', ICP 7193, 'Pinto Berrocales', 'Pinto original' y 'Super pinto') tuvieron valores de 1.03 a 1.68 m en 2017 y de 2.87 a 3.45 m en 2018 (Cuadro 9). Los genotipos I-8-3-4 e ICPL 98030 presentaron menor tiempo a floración con 74 a 75 y 89

CUADRO 4.—Prueba de Bartlett para la homogeneidad de altura de planta, días a floración y maduración, longitud de foliolo, ancho de foliolo, longitud de vaina, número de semillas por vaina, número de vainas por planta, rendimiento de vaina fresca y semilla seca, para 15 genotipos de *gandul* [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] evaluados en las Subestaciones Experimentales Agrícolas de Isabela y Lajas, durante los años 2017 y 2018.

Variable	Isabela		Lajas	
	χ^2	*p	χ^2	*p
Altura de planta	18.88	0.001	17.37	0.001
Días a floración	25.71	0.001	408.57	0.001
Días a maduración	0.80	0.372	298.47	0.001
Longitud de foliolo	30.27	0.001	100.06	0.001
Ancho de foliolo	2.12	0.146	14.12	0.001
Longitud de vaina	4.60	0.032	140.37	0.001
Número de semillas por vaina	0.06	0.805	4.31	0.038
Número de vainas por planta	345.69	0.001	348.25	0.001
Rendimiento de vaina fresca	0.07	0.791	12.913	0.101
Rendimiento de semilla seca	24.07	0.001	2.691	0.001

χ^2 , valor estadístico de la prueba de Bartlett

p, valor p de la prueba de Bartlett

* No existe diferencia significativa entre las varianzas a $p > 0.05$

CUADRO 5.—Análisis de varianza simple para altura de planta, días a floración y maduración, longitud y ancho del foliolo, longitud de vainas, número de semillas por vaina, número de vainas por planta, rendimiento de vaina fresca y semilla seca, para 15 genotipos de gandul [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] evaluados en la Subestación Experimental Agrícola de Isabela, Puerto Rico, en noviembre 2017.

Fuentes de variación	GL	Valor de F									
		Altura de planta	Días a floración	Días a maduración	Longitud del foliolo	Ancho del foliolo	Longitud de vainas	Número de semillas/vaina	Número de vainas/planta	Rendimiento de vaina fresca	Rendimiento de semilla seca
Repetición	2	1.47 ns ²	1.34 ns	0.85 ns	0.40 ns	2.23 ns	0.71 ns	0.06 ns	1.46 ns	0.23 ns	0.72 ns
Genotipo	14	34.57***	4.49***	14.49***	7.10***	9.81***	33.23***	9.96***	4.85***	2.08*	2.55*

¹Datos con transformación logarítmica para los análisis estadísticos

²Diferencias significativas a *p < 0.05, **p < 0.01 y ***p < 0.001; ns = no significativo

CUADRO 6.—Análisis de varianza simple para altura de planta, días a floración y maduración, longitud y ancho del foliolo, longitud de vainas, número de semillas por vaina, número de vainas por planta, rendimiento de vaina fresca y semilla seca, para 15 genotipos de gandul [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] evaluados en la Subestación Experimental Agrícola de Isabela, Puerto Rico, en abril 2018.

Fuentes de variación	GL	Valor de F									
		Altura de planta	Días a floración	Días a maduración	Longitud del foliolo	Ancho del foliolo	Longitud de vainas	Número de semillas/vaina	Número de vainas/planta	Rendimiento de vaina fresca	Rendimiento de semilla seca
Repetición	2	0.40 ns ²	4.95*	15.25***	1.60 ns	11.48***	7.05**	0.85 ns	6.85**	2.34 ns	2.96 ns
Genotipo	14	152.21***	762.66***	967.23***	1.73 ns	5.80***	31.25***	5.37***	10.21***	5.96***	4.96***

¹Datos con transformación logarítmica para los análisis estadísticos

²Diferencias significativas a *p < 0.05, **p < 0.01 y ***p < 0.001; ns = no significativo

CUADRO 7.—Análisis de varianza simple para altura de planta, días a floración y maduración, longitud y ancho del foliolo, longitud de vainas, número de semillas por vaina, número de vainas por planta, rendimiento de vaina fresca y semilla seca, para 15 genotipos de gandul [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] evaluados en la Subestación Experimental Agrícola de Lajas, Puerto Rico, en noviembre 2017.

Fuentes de variación	GL	Valor de F									
		Altura de planta	Días a floración	Días a maduración	Longitud del foliolo	Ancho del foliolo	Longitud de vainas	Número de semillas/vaina	Número de vainas/planta	Rendimiento de vaina fresca	Rendimiento de semilla seca
Repetición	2	2.21 ns ²	1.56 ns	1.63 ns	0.75 ns	1.03 ns	0.03 ns	0.33 ns	1.00 ns	0.45 ns	3.69*
Genotipo	14	22.59***	10.13***	17.59***	9.25***	7.20***	20.69***	4.66***	0.75 ns	1.90 ns	7.02***

¹Datos con transformación logarítmica para los análisis estadísticos

²Diferencias significativas a *p < 0.05, **p < 0.01 y ***p < 0.001; ns = no significativo

CUADRO 8.—Análisis de varianza simple para altura de planta, días a floración y maduración, longitud y ancho del foliolo, longitud de vainas, número de semillas por vaina, número de vainas por planta, rendimiento de vaina fresca y semilla seca, para 15 genotipos de gandul [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] evaluados en la Subestación Experimental Agrícola de Lajas, Puerto Rico, en abril 2018.

Fuentes de variación	GL	Valor de F									
		Altura de planta	Días a floración	Días a maduración	Longitud del foliolo	Ancho del foliolo	Longitud de vainas	Número de semillas/vaina	Número de vainas/planta	Rendimiento de vaina fresca	Rendimiento de semilla seca
Repetición	2	6.22** ²	1.81 ns	0.59 ns	2.04 ns	1.58 ns	1.79 ns	5.45*	0.48 ns	0.02 ns	0.67 ns
Genotipo	14	31.89***	650.11***	77.44***	11.63***	3.67**	4.20***	6.14***	7.95***	2.39*	2.22*

¹Datos con transformación logarítmica para los análisis estadísticos

²Diferencias significativas a *p < 0.05, **p < 0.01 y ***p < 0.001; ns = no significativo

CUADRO 9.—*Altura de planta, días a la floración y maduración de 15 genotipos de gandul [Cajanus cajan (L.) Millsp.] evaluados en las Subestaciones Experimentales Agrícolas de Isabela y Lajas, Puerto Rico, durante los años 2017 y 2018.*

Genotipos	Altura de planta (m)						Días a la floración						Días a la maduración					
	Isabela		Lajas		Isabela		Lajas		Isabela		Lajas		Isabela		Lajas			
	Noviembre 2017	Abril 2018	Noviembre 2017	Abril 2018	Noviembre 2017	Abril 2018	Noviembre 2017	Abril 2018	Noviembre 2017	Abril 2018	Noviembre 2017	Abril 2018	Noviembre 2017	Abril 2018	Noviembre 2017	Abril 2018		
'Cortada'	1.00	2.63	0.90	3.04	81	198	80	179	128	256	136	240						
'Guerrero'	1.31	3.41	1.62	3.45	97	208	96	184	137	266	157	261						
I-8-3-4	0.86	1.23	0.61	1.57	74	89	70	72	121	139	128	112						
I-30	0.95	1.25	0.77	1.90	85	105	80	78	124	148	136	124						
I-58-3	0.90	1.40	0.80	1.88	88	105	85	80	127	148	131	124						
II-56	1.07	1.37	0.92	1.96	88	104	87	84	128	148	131	124						
'TCP 13207'	1.22	3.26	1.05	3.06	89	156	87	137	132	234	141	239						
'TCP 7035'	1.30	3.19	1.03	3.18	91	196	80	183	132	261	136	234						
ICP 7193	1.20	3.16	1.33	2.88	91	169	89	157	138	240	150	223						
'ICPL 86012'	0.72	1.15	0.62	1.49	81	95	61	70	118	145	125	112						
ICP 98030	0.81	1.15	0.65	1.53	75	89	68	70	118	142	120	112						
'Lázaro'	0.94	1.46	0.68	1.74	88	104	80	76	130	148	136	132						
'Pinto Berrocales'	1.49	3.29	1.21	2.87	95	187	92	165	138	261	143	250						
'Pinto original'	1.44	3.25	1.32	3.03	102	196	101	183	145	268	150	261						
'Super pinto'	1.68	3.37	1.43	3.26	99	193	96	165	138	256	150	247						
Media	1.13	2.30	1.00	2.46	88.27	146.27	83.47	125.53	130.27	204.00	138.00	186.33						
LSD (p ≤ 0.05)	0.16	0.23	0.20	0.38	11.18	4.92	10.16	5.38	6.11	5.26	7.22	24.74						

días, y a maduración con 118 a 121 y 139 a 142 días, en Isabela en 2017 y 2018, respectivamente. Igualmente se observó en Lajas que los genotipos I-8-3-4, ICPL 86012 e ICPL 98030 florecieron desde 61 a 70 y 70 a 72 días, y maduraron a los 120 a 128 y 112 días, en su orden en 2017 y 2018, por lo tanto, son genotipos considerados precoces con relación a las variedades ‘Guerrero’ y ‘Pinto original’ que florecieron por sobre los 96 días y maduraron entre los 137 a 157 y 261 a 268 días, en las siembras de noviembre 2017 y abril 2018, respectivamente (Cuadro 9).

En general, los promedios de longitud de vaina fueron mayores en los ensayos sembrados en noviembre 2017 que en las siembras de abril 2018; por ejemplo, para ‘Lázaro’ las vainas aumentaron entre 2 cm (Isabela) y 1.27 cm (Lajas) de longitud en los ensayos sembrados en noviembre 2017 (Cuadro 10). En relación al tamaño de foliolo, se observó rangos de 5.53 a 9.45 cm de longitud y de 1.86 a 3.73 cm de ancho en 2017, mientras que en 2018 los rangos fueron de 5.66 a 10.13 cm de longitud y 2.50 a 4.68 cm de ancho. Los genotipos ‘ICP 13207’ e ICP 7193, presentaron tamaño de vainas desde 5.06 a 5.83 cm de longitud, así mismo tuvieron promedios de semillas por vaina inferiores a 4.10, en todos los ensayos experimentales, siendo estadísticamente diferentes a los promedios obtenidos por el cultivar ‘Lázaro’ que sobresalió en las dos épocas y en las dos localidades en cuanto a longitud de vaina (8.31 a 10.21 cm), pero que a su vez compartió rangos estadísticos con I-58-3 (Isabela, abril del 2018) e ICP 7035 (Lajas, abril 2018) que presentaron vaina de 8.03 y 7.38 cm, respectivamente. Además, ‘Lázaro’, tuvo promedios de semillas por vaina mayores a 4.77, siendo estadísticamente diferente a ‘ICP 13207’ e ICP 7193 (Cuadro 10).

Los genotipos ‘ICP 13207’ e ICP 7193, tuvieron el mayor número de vainas por planta (> 147) en los ensayos sembrados en noviembre 2017 y en abril 2018 en Isabela (Cuadro 11) y fueron estadísticamente diferentes al resto de los genotipos evaluados, con excepción de ICP 98030 en 2018. Contrariamente, no se observaron diferencias significativas entre genotipos para número de vainas por planta en noviembre 2017 en Lajas (Cuadro 11). Sin embargo, en el ensayo establecido en abril del 2018, el genotipo ICP 7193 sobresalió con un promedio de 400 vainas por planta, siendo este valor el más alto alcanzado entre todos los genotipos.

En cuanto al rendimiento de vaina fresca (grano verde), sobresalió el genotipo ‘ICP 7035’ con 2.37 t/ha, ‘Guerrero’ e I-30, con rendimientos por sobre 2.26 t/ha, siendo estadísticamente diferentes a los genotipos I-8-3-4, I-58-3, ‘ICP 13207’, ICP 7193, ‘ICPL 86012’, ‘Pinto original’ y ‘Super pinto’, que tuvieron rendimientos inferiores a 1.24 t/ha, en noviembre 2017 en Isabela. Sin embargo, en abril 2018, los mayores rendimientos fueron de ‘Guerrero’, ‘Pinto Berrocales’, ‘Pinto original’

CUADRO 11.— Número de vainas por planta, rendimiento en vaina fresca (grano verde) y grano seco de 15 genotipos de gandul [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] evaluados en las Subestaciones Experimentales Agrícolas de Isabela y Lajas, Puerto Rico, durante los años 2017 y 2018.

Genotipo	Número de vainas por planta						Rendimiento en vaina fresca (t/ha)						Rendimiento en grano seco (t/ha)						Peso en grano (g)	
	Isabela			Lajas			Isabela			Lajas			Isabela			Lajas			Verde	Seco
	Nov. 2017	Abril 2018	Nov. 2017	Abril 2018	Nov. 2017	Abril 2018	Nov. 2017	Abril 2018	Nov. 2017	Abril 2018	Nov. 2017	Abril 2018	Nov. 2017	Abril 2018	Nov. 2017	Abril 2018				
'Cortada'	99	55	105	135	178	2.53	3.43	1.46	0.47	0.13	0.81	0.30	31.50	16.30						
'Guerrero'	71	73	202	181	2.33	5.01	4.41	1.32	0.33	0.23	1.89	0.27	36.81	19.30						
I-8-3-4	83	30	73	110	1.18	0.47	1.19	2.51	0.46	0.07	0.49	0.51	29.34	14.00						
I-30	109	23	133	71	2.26	0.19	3.03	2.09	0.48	0.02	0.94	0.38	26.20	15.50						
I-58-3	87	4	151	34	1.20	0.19	3.03	0.73	0.48	0.02	1.04	0.18	36.77	17.40						
II-56	75	46	98	58	1.90	0.07	2.51	0.12	0.43	0.00	1.00	0.29	30.47	15.00						
'TCP 13207'	199	147	173	207	1.16	2.51	1.72	1.03	0.30	0.37	0.61	0.52	17.17	9.40						
'TCP 7035'	93	36	88	58	2.37	2.68	2.83	1.57	0.53	0.27	1.10	0.40	33.05	20.80						
ICP 7193	257	183	181	400	0.88	2.12	2.62	1.55	0.33	0.59	1.81	0.97	16.51	9.60						
'ICPL 86012'	80	49	136	143	1.15	1.00	1.60	2.41	0.38	0.15	0.38	0.58	24.81	14.20						
ICP 98030	100	115	123	167	1.56	2.21	1.53	2.65	0.51	0.42	1.54	0.84	27.86	14.40						
'Lázaro'	119	11	141	66	1.69	0.36	4.51	2.09	0.70	0.02	1.09	0.34	35.35	18.20						
'Pinto Berrocales'	102	87	100	102	1.77	3.69	4.62	1.09	0.32	0.29	1.55	0.48	37.05	18.40						
'Pinto original'	94	53	131	77	1.24	5.08	3.96	0.81	0.24	0.20	1.48	0.37	33.04	16.60						
'Super pinto'	81	64	110	135	1.23	3.75	3.38	1.67	0.31	0.31	1.52	0.44	34.10	17.10						
Media	109.93	65.07	129.67	129.60	1.58	2.12	2.96	1.54	0.42	0.21	1.08	0.46	30.00	15.75						
LSD (p ≤ 0.05)	73.95	45.43	98.29	92.64	0.95	2.06	2.35	1.35	0.21	0.22	0.53	0.42	6.70	0.20						

¹Datos tomados en las siembras de abril del 2018 en Isabela.

y 'Super pinto' con 5.01, 3.69, 5.08 y 3.75 t/ha, respectivamente, en comparación con I-8-3-4, I-30, I-58-3, II-56, 'ICPL 86012' y 'Lázaro', con valores menores a 1 t/ha (Cuadro 11). También, 'Guerrero' y 'Pinto Berrocales' tuvieron rendimientos significativamente más altos comparado con I-8-3-4, 'ICP 13207' e ICP 98030 en Lajas durante noviembre 2017 (Cuadro 11); mientras que en 2018, los genotipos I-8-3-4, I-30, 'ICPL 86012', ICP 98030 y 'Lázaro' tuvieron los mayores rendimientos en vaina fresca, comparado con I-58-3 y II-56 (Cuadro 11). Para el caso de rendimiento en semilla seca se observó que 'Lázaro', con 0.70 t/ha obtuvo el mayor promedio en las siembras de noviembre 2017, seguido por 'ICP 7035' e ICP 98030, con 0.53 y 0.51 t/ha, respectivamente, que no fueron significativamente diferentes a 'Lázaro' en Isabela. En los experimentos sembrados en abril 2018, 'ICP 13207', ICP 7193 e ICP 98030, con 0.37, 0.59 y 0.42 t/ha, tuvieron mayor rendimiento en comparación con los genotipos I-8-3-4, I-30, I-58-3, II-56 y 'Lázaro' que tuvieron rendimientos menores de 0.07 t/ha. En Lajas, en la siembra de noviembre 2017, los rendimientos de 'Guerrero', ICP 7193, 'Pinto Berrocales', 'Pinto original' y 'Super pinto' alcanzaron valores mayores a 1.50 t/ha, en comparación con los de 'Cortada', I-8-3-4, 'ICP 13207', 'ICPL 86012' e ICP 98030 con valores de 0.81, 0.49, 0.61, 0.38 y 0.45 t/ha, respectivamente, que presentaron los rendimientos más bajos. En las siembras de abril 2018, ICP 7193 tuvo el mayor rendimiento con 0.97 t/ha, superando al resto de los genotipos evaluados, excepto a 'ICPL 86012' (0.58 t/ha) e ICP 98030 (0.84 t/ha) con quien compartió rangos estadísticos (Cuadro 11). El genotipo 'ICP 7035' tuvo las semillas secas más grandes y eso se vio reflejado en el peso de 100 semillas (20.80 g), siendo significativamente diferente al resto de los genotipos evaluados; sobre todo a los genotipos 'ICP 13207' e ICP 7193, que mostraron las semillas más pequeñas con pesos de 9.40 y 9.60 g, respectivamente (Cuadro 11).

En los Cuadros 12 y 13 se muestran las características morfológicas de cada genotipo. El color del tallo fue verde en la mayoría de los genotipos, únicamente las líneas 'ICP 13207', 'ICP 7035', ICP 7193 presentaron el tallo de color púrpura y púrpura grisáceo. Los genotipos 'Guerrero', 'ICP 13207', 'ICP 7035' e ICP 7193, 'Pinto Berrocales', 'Pinto original' y 'Super pinto' presentaron inflorescencias en forma de racimo, mientras que en los genotipos 'Cortada', I-8-3-4, I-30, I-58-3, II-56, 'ICPL 86012', ICP 98030 y 'Lázaro' las flores se distribuyen en un corimbo. El color de la flor varió de acuerdo al genotipo, desde tonalidades de amarillo, amarillo-claro a amarillo-naranja en la parte interna de la flor; mientras que, en la parte externa de la flor presentaron color rojo-naranja, amarillo-verdoso y rojo intenso. Además, las flores de los genotipos 'ICP 13207', ICP 7193 y 'Super pinto' presentaron estrías

CUADRO 12.—Características cualitativas del tallo y flor de 15 genotipos de gandul [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] evaluados en las Subestaciones Experimentales Agrícolas de Isabela y Lajas, Puerto Rico, durante los años 2017 y 2018.

Genotipos	Flor						
	Color de tallo	Inflorescencia	Color interno	Color externo	Color de la base interna	Color de la base externa	Presencia o ausencia de estrías
'Cortada'	verde	racimo	amarillo	rojo naranja	amarillo anaranjado	amarillo claro	ausencia
'Guerrero'	verde	racimo	amarillo	rojo naranja	amarillo anaranjado	amarillo claro	ausencia
I-8-3-4	verde	corimbo	amarillo	rojo naranja	amarillo anaranjado	amarillo claro	ausencia
I-30	verde	corimbo	amarillo	rojo naranja	amarillo anaranjado	amarillo claro	ausencia
I-58-3	verde	corimbo	amarillo	rojo naranja	amarillo anaranjado	amarillo claro	ausencia
II-56	verde	corimbo	amarillo	rojo naranja	amarillo anaranjado	amarillo claro	ausencia
TCP 13207'	púrpura	racimo	amarillo claro	amarillo verdoso	amarillo claro	amarillo verdoso	estrias dispersas (color rojo)
TCP 7035'	púrpura grisáceo	racimo	amarillo naranja	rojo intenso	rojo naranja	rojo intenso	ausencia
ICP 7193	púrpura	racimo	amarillo claro	amarillo verdoso	amarillo claro	amarillo verdoso	estrias dispersas (color rojo)
'ICPL 86012'	verde	corimbo	amarillo	rojo naranja	amarillo anaranjado	amarillo claro	ausencia
ICP 98030	verde	corimbo	amarillo	rojo naranja	amarillo anaranjado	amarillo claro	ausencia
'Lázaro'	verde	corimbo	amarillo	rojo naranja	amarillo anaranjado	amarillo claro	ausencia
'Pinto Berrocales'	verde	racimo	amarillo	rojo naranja	amarillo anaranjado	amarillo claro	ausencia
'Pinto original'	verde	racimo	amarillo	rojo naranja	amarillo anaranjado	amarillo claro	ausencia
'Super pinto'	verde	racimo	amarillo	rojo naranja	amarillo anaranjado	amarillo claro	estrias dispersas (color rojo)

CUADRO 13.—*Características cualitativas de las vainas y semillas de 15 genotipos de gandul [Cajanus cajan. (L.) Millisp.] evaluados en las Subestaciones Experimentales Agrícolas de Isabela y Lajas, Puerto Rico, durante los años 2017 y 2018.*

Genotipos	Vaina		Semilla		
	Color en fresco	Forma	Color en fresco	Color en seco	Color en seco
'Cortada'	verde púrpura	ovalada	verde	gris	gris
'Guerrero'	púrpura	ovalada	verde	marrón ligero	marrón ligero
I-8-3-4	verde con pintas púrpuras	ovalada	verde	moteado (gris y marrón ligero)	moteado (gris y marrón ligero)
I-30	verde con pintas púrpuras	ovalada	verde	gris	gris
I-58-3	verde con pintas púrpuras	ovalada	verde	moteado (gris ligero y marrón ligero)	moteado (gris ligero y marrón ligero)
II-56	verde con pintas púrpuras	ovalada	verde	gris	gris
'TCP 13207'	verde con pintas púrpuras	elongada	verde	anaranjado	anaranjado
'TCP 7035'	púrpura oscura	globular	púrpura claro y verde	rojo intenso	rojo intenso
ICP 7193	verde con pintas púrpuras	elongada	verde	anaranjado	anaranjado
'ICPL 86012'	verde con pintas púrpura	ovalada	verde	rojo	rojo
ICP 98030	verde con pintas púrpuras	ovalada	verde	rojo	rojo
'Lázaro'	verde con pintas púrpuras	ovalada	verde	moteado (gris ligero y marrón ligero)	moteado (gris ligero y marrón ligero)
'Pinto Berrocales'	verde con pintas púrpuras	ovalada	verde	moteado (gris ligero y marrón ligero)	moteado (gris ligero y marrón ligero)
'Pinto original'	verde con pintas púrpuras	ovalada	verde	moteado (gris ligero y marrón ligero)	moteado (gris ligero y marrón ligero)
'Super pinto'	verde con pintas púrpuras	ovalada	verde	moteado (gris ligero y marrón ligero)	moteado (gris ligero y marrón ligero)

dispersas de color rojo, a diferencia del resto de genotipos cuyas flores fueron de color entero y sin estrías rojas (Figura 1). En el Cuadro 13 se describe el color de las vainas de los 15 genotipos, que variaron desde púrpura, púrpura oscura, verde púrpura, verde con pintas púrpura oscura (dispersas), verde con pintas púrpura oscura (densas), verde con pintas púrpura oscuro (medianamente densas) a verde grisáceo. Con respecto a las semillas en fresco, todos los genotipos fueron color verde, excepto 'ICP 7035' que es de color moteado entre púrpura claro y verde, mientras que en semilla seca se distinguió principalmente el color moteado con gris-ligero y marrón-ligero (I-8-3-4, I-58-3, 'Lázaro', 'Pinto Berrocales' y 'Pinto original'), seguido por el color gris ('Cortada', I-30 y II-56) y colores como marrón ligero ('Guerrero'), anaranjado ('ICP 13207' e ICP 7193), rojizo ('ICPL 86012' e ICP 98030) y rojo intenso ('ICP 7035').

DISCUSIÓN

La época de siembra influyó en la etapa vegetativa y reproductiva de los genotipos de gandul, sobre todo en los de crecimiento indeterminado, probablemente a causa de la susceptibilidad al fotoperiodo largo (> 12 horas luz) (Sameer et al., 2016; Saxena et al., 2019), ya que el gandul es una especie que requiere de 11 a 11.50 horas luz y temperaturas de 22 a 30° C para un desarrollo normal (Srivastava y Saxena, 2019; Vélez y Garrison, 1989). En Puerto Rico, el periodo de días cortos y noches largas se extiende desde octubre hasta marzo (< 12 horas luz), mientras que, los días largos y noches cortas (> 12 horas luz) son durante los meses de abril a septiembre (Gómez et al., 2014).

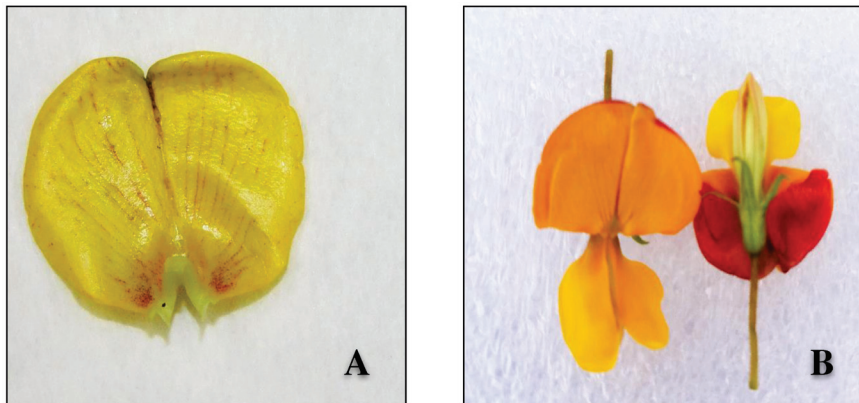


FIGURA 1. Color de flor del genotipo ICP 7193 y estrías de color rojo visibles (A) y flor del cultivar 'Cortada' sin estrías de color rojo (B), en Isabela, 2018.

Por consiguiente, los ensayos sembrados en el mes de noviembre 2017 se desarrollaron bajo las condiciones de 11 a 12 horas luz y no sufrieron el efecto del fotoperiodo largo. Contrariamente, los ensayos sembrados en el mes de abril del 2018, y desarrollados durante los meses de mayo a septiembre, estuvieron expuestos a más de 12 horas luz y sufrieron el efecto del fotoperiodo largo, que ocasionó un aumento significativo de la altura de las plantas e incrementó los días a la floración y maduración. Varios autores corroboran que la exposición de genotipos de gandul a más de 12 horas luz puede prolongar la fase vegetativa y como consecuencia el aumento de la altura de las plantas y su follaje (Dwivedi et al., 1998; Kundy et al., 2015; Mohamed et al., 1983; Vélez y Garrison, 1989). Por ejemplo, en 2017 las plantas crecieron de 0.72 ('ICPL 86012') a 1.68 m ('Super pinto') en Isabela, y de 0.61 (I-8-3-4) a 1.62 m ('Guerrero') en Lajas. Contrariamente, en las siembras de abril 2018, los rangos de altura de planta fueron de 1.15 a 3.45 m en genotipos como 'ICPL 86012' y 'Guerrero', respectivamente, en las dos localidades (Isabela y Lajas). Del mismo modo, en las variables días a la floración y maduración, en las siembras de abril 2018, se observó que las variedades sensitivas al fotoperiodo 'Cortada' y 'Guerrero' y los genotipos, 'ICP 13207', 'ICP 7035', ICP 7193, 'Pinto Berrocales', 'Pinto original' y 'Super pinto', mostraron rangos de 137 a 208 y de 234 a 268 días a floración y maduración, respectivamente, evidenciando un aumento de hasta 106 días (en floración) y 111 días (en maduración) con relación a las siembras de noviembre 2017, cuando estos genotipos florecieron desde 80 a 102 días y maduraron desde 132 a 157 días y estuvieron expuestos a días cortos de luz.

Los promedios de rendimientos en vaina fresca y semilla seca fueron superiores durante las siembras de noviembre 2017, en relación a abril 2018, tanto para Isabela como para Lajas. Por lo tanto, el incremento o disminución en los rendimientos podría estar relacionado con factores como las condiciones de clima y suelo, tipo de suelo, disponibilidad de agua, época de siembra, prácticas agrícolas, ataque de plagas, entre otras condiciones que pueden afectar los procesos fisiológicos del gandul (Kaur et al., 2017; Manalili et al., 2018; Ojwang et al., 2016; Pal et al., 2018; Saxena et al., 2010; Viteri et al., 2019; Wilson et al., 2012a, 2012b). De hecho, durante los meses de enero, febrero y marzo de 2018 se observó menor cantidad de lluvias, tanto en Isabela (9.30, 11.53, 1.04 cm de precipitación) como en Lajas (3.86, 5.51, 8.20 cm de precipitación), en comparación con los meses de agosto, septiembre y octubre de 2018 (11.94, 8.38, 17.47 cm en Isabela, y 3.04, 11.38, 13.72 cm en Lajas), cuando la cantidad de lluvias fue mayor. De lo observado en el campo, podemos asociar que el exceso de lluvias en etapa reproductiva causó la caída y aborto de las flores, lo que provocó la disminu-

ción severa de los rendimientos principalmente en los genotipos determinados e insensitivos al fotoperiodo, como las líneas I-30, I-58-3, II-56 y 'Lázaro'. En Isabela, en las siembras de abril 2018, estos genotipos alcanzaron rendimientos menores a 0.36 t/ha, en comparación con las siembras de noviembre 2017, cuando los mismos genotipos produjeron sobre 1.20 t/ha. Los rendimientos en Isabela también se vieron afectados por la presencia del gusano del tabaco *Heliothis virescens* [(Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae)], considerada como una de las plagas más importantes en el cultivo de gandul en Puerto Rico (Armstrong, 1988; Viteri et al., 2019), y que causó daño especialmente en las etapas reproductivas, consumiendo más de un 60 % de las vainas/semillas en algunos genotipos, como I-30, I-58-3, II-56, y 'Lázaro'. Además, el efecto de la interacción de las altas precipitaciones y la infestación severa de *H. virescens* pudieron haber incidido en los bajos resultados en rendimiento observados en Isabela en la siembra de 2018 (0.42 y 0.21 t/ha para rendimiento en vaina verde y grano seco, respectivamente). De igual forma, en la siembra de abril 2018 en Lajas se observaron los menores rendimientos. Por ejemplo, los genotipos I-58-3 y II-56, tuvieron rendimientos de 0.12 y 0.73 t/ha de vaina fresca, y de 0.18 y 0.29 t/ha de grano seco, mientras que los mismos genotipos sembrados en noviembre 2017 tuvieron rendimientos de 3.03 y 2.51 t/ha de vaina fresca, y 1.04 y 1 t/ha de grano seco. Varias investigaciones señalan que la exposición a temperaturas prolongadas > 25° C causaron la reducción de los rendimientos en el gandul (Birthal et al., 2014; Mishra et al., 2017; Rivera e Irizarry, 1984), y esto podría haber causado la reducción en Lajas, donde en los veranos predominan climas cálidos con temperaturas nocturnas por sobre los 30° C. Por consiguiente, se recomendaría realizar siembras de gandul de septiembre a noviembre para obtener rendimientos altos, y de esta manera contrarrestar el efecto de fotoperiodo largo, lluvias excesivas y altas temperaturas. Nuestros resultados también confirman lo reportado por Rivera e Irizarry (1984) en ensayos evaluados en Puerto Rico.

Por otro lado, como resultado de esta investigación se identificaron genotipos precoces e insensitivos al fotoperiodo, como las líneas 'ICPL 86012' e ICP 98030 que florecieron y maduraron en menos de 95 y 145 días, respectivamente. Estas características deseables se pueden introducir en cultivares comerciales como 'Cortada', 'Guerrero' y 'Lázaro' y desarrollar cultivares altamente productivos y de ciclo corto. Con esto, se podría satisfacer la demanda local de gandul para los meses festivos de noviembre a diciembre y los agricultores tendrían la disponibilidad de genotipos determinados e indeterminados que pueden ser sembrados durante todo el año. Además, 'Guerrero', ICPL 86012, 'Lázaro', 'Pinto original' o 'Super pinto' podrían ser cruzados con '2B-Bushy',

‘Blanco’ y/o ‘Kaki’ para obtener cultivares con alto potencial productivo en diferentes regiones de la isla. Los cultivares comerciales ‘2B-Bushy’ (padre de ‘Lázaro’), ‘Blanco’ y ‘Kaki’ han sido reportados por tener alto rendimiento (> 4 t/ha) en áreas productoras del sur de la isla (e.g., Coamo y Villalba) (Hepperly y Rodríguez, 1984; Morales et al., 1988).

CONCLUSIONES

El comportamiento agronómico de los genotipos evaluados estuvo influenciado por el número de horas luz al que estuvieron expuestos durante su desarrollo. Por ejemplo, los genotipos ‘Cortada’, ‘Guerrero’, ‘ICP 13207’, ‘ICP 7035’, ‘ICP 7193’, ‘Pinto Berrocales’, ‘Pinto original’ y ‘Super pinto’ fueron sensitivos al fotoperiodo. Los genotipos de crecimiento determinado ‘ICPL 86012’ e ‘ICP 98030’ fueron los más precoces (< 142 días), independientemente de la época y localidad en las que fueron sembrados, y podrían ser utilizados en programas de mejoramiento genético con miras a la obtención de cultivares de gandul con alto potencial de rendimiento, insensitivos al fotoperiodo y de ciclo vegetativo corto. Los genotipos con mayores rendimientos potenciales en vaina fresca (semilla verde) fueron ‘Guerrero’ y ‘Pinto original’ (> 5.01 t/ha) (Isabela 2018), y en rendimiento en semilla seca sobresalieron los genotipos ‘Guerrero’ e ‘ICP 7193’ (> 1.81 t/ha) (Lajas 2017). ‘Lázaro’ sobresalió en rendimiento de vaina fresca (4.51 t/ha) en los ensayos de Lajas en noviembre 2017, y en rendimiento de semilla seca (0.70 t/ha) en Isabela en abril 2018, con relación a las líneas hermanas I-30, I-58-3 e II-56.

LITERATURA CITADA

- Anatole, M., A. Danquah, L. Essehou y K. Ofori, 2017. Utilization and farmers knowledge on pigeonpea diversity in Benin, West Africa. *J. Ethnobiol. Ethnomed.* 13: 37.
- Armstrong, A., 1988. Light trap studies of *Heliothis virescens* (Fabricius) and *Etiella zinckenella* (Treitschke) in pigeon pea (*Cajanus cajan* Millsp.) fields. *J. Agric. Univ. P.R.* 72: 557-563. <https://doi.org/10.46429/jaupr.v72i4.8004>
- Birthal, P.S., T.M. Khan, D.S. Negi y S. Agarwal, 2014. Impact of climate change on yields of major food crops in India: Implications for Food Security. *Agric. Econ. Res. Rev.* 27: 145-155.
- Bosques, A., R. Vélez y N. Acosta, 2000a. Liberación del cultivar Cortada de gandul (*Cajanus cajan*) para uso comercial. *J. Agric. Univ. P.R.* 84: 189-191. <https://doi.org/10.46429/jaupr.v85i3-4.3146>
- Bosques, A., R. Vélez y N. Acosta, 2000b. Liberación del cultivar Guerrero de gandul (*Cajanus cajan*) para uso comercial. *J. Agric. Univ. P.R.* 84: 193-195. <https://doi.org/10.46429/jaupr.v85i3-4.3147>
- Cedano, J., 2006. Guía técnica cultivo de guandul. Santo Domingo. Rep. Dom. CEDAF. 1-84.
- Cedano, J., F. Oviedo, S. Nova, D. de la Rosa, A. Carrasco y J. Arias, 2007a. Avances del mejoramiento genético en guandul, (*Cajanus cajan* L. Millsp) en la República

- Dominicana. Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales. Programa Nacional de Leguminosas (IDIAF). 1-29.
- Cedano, J., J. Nin, F. Oviedo y S. Nova, 2007b. 'IDIAF Navideño': Nueva variedad de guandul (*Cajanus cajan*) en República Dominicana. Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales. Programa Nacional de Leguminosas (IDIAF). 7-10.
- Chao, M.T. y R.E. Glaser, 1978. The exact distribution of Bartlett's test statistic for homogeneity of variances with unequal sample sizes. *J. Amer. Statist. Assoc.* 73: 422-426.
- Cheboi, J.J., M.G. Kinyua, P.K. Kimurto, O.K. Kiplagat y N. Gangarao, 2019. Assessment of phenotypic and genetic variation against pod borer among a subset of elite pigeonpea (*Cajanus cajan*) genotypes in Kenya. *Aust. J. Crop Sci.* 13: 221-227.
- Departamento de Agricultura de Puerto Rico, 2015. Ingreso bruto agrícola. Recuperado de: https://estadisticas.pr/files/Inventario/publicaciones/Depto_Agricola_Ingreso-BrutoAgricola_AF2014-2015_preliminar.pdf acceso 13 de abril de 2021.
- DiRienzo, J., F. Casanoves, M. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada y C. Robledo, 2008. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Dwivedi, S.L., S.N. Nigam, S. Chandra y V.M. Ramraj, 1998. Combining ability of biomass and harvest index under short and longer day conditions in groundnut. *Ann. Appl. Biol.* 133: 237-244.
- Egbe, O.M. y T. Vange, 2008. Yield and agronomic characteristics of 30 pigeon pea genotypes at Otobi in southern Guinea Savanna of Nigeria. *Life Sci.* 5: 70-80.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2017. Estadística de cultivos. Recuperado de: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC> acceso 25 de julio de 2020.
- Gómez, F., J. Rodríguez y M. Santiago, 2014. Hydrogeology of Puerto Rico and the outlying islands of Vieques, Culebra, and Mona. U.S.: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Map 3296. 40 p. plus 2 pls. <https://dx.doi.org/10.3133/sim3296>. [Published online: August 19, 2014].
- Gowda, C.L., H. Upadhyaya, S. Sharma, R. Varshney y S. Dwivedi, 2013. Exploiting genomic resources for efficient conservation and use of chickpea, groundnut, and pigeonpea collections for crop improvement. *Plant Genome* 3: 1-6.
- Harshal, P., N. Dikshit, A. Aklade y A. Paresh, 2018. Evaluation of vegetable type pigeon pea *Cajanus cajan* (L.) genotypes for yield and yield contributing traits. *Eco. Env. & Cons.* 22: 247-254.
- Hepperly, P.R. y R. Rodriguez, 1984. Constraints to pigeon pea production under semi-arid conditions in Puerto Rico. *J. Agric. Univ. P.R.* 70: 25-35. <https://doi.org/10.46429/jaupr.v70i1.7072>
- Kassa, M.T., R.V. Penmetsa, N. Carrasquilla, B.K. Sarma, S. Datta, H.D. Upadhyaya, R.K. Varshney, E.J. von Wettberg y D.R. Cook, 2012. Genetic patterns of domestication in pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) and wild *Cajanus* relatives. *PLoS ONE.* 7: 1-13.
- Kaur, A., H. Singh y J.S. Kang, 2017. Yield attributes and yield of pigeonpea [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] as influenced by growth retardants and sowing dates. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* 6: 1201-1205.
- Kumawat, G., R.S. Raju, S. Bhutani, J.K. Pal, A.S. Mithra, K. Gaikwad, T.R. Sharma y N.K. Singh, 2012. Molecular mapping of QTLs for plant type and earliness traits in pigeonpea (*Cajanus cajan* L. Millsp.). *BMC Genet.* 13: 1-11.
- Kundy, H., O. Mponda, C. Mkandawile y G. Mkamilo, 2015. Yield evaluation of eighteen pigeon pea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) genotypes in South Eastern Tanzania. *EJPAS.* 3: 9-15.
- Malles, P., H. Nanda, C.H. Durgaraju, K. Sameer, N. Mohan y J. Lee, 2017. Variability, heritability and genetic advance for quantitative traits in pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.). *Int. J. Pure Appl. Biosci.* 5: 25-28.
- Manalili, L.L., E.M. Cruz, E.A. Orden, C.R. Juico y N.A. Del Rosario, 2018. Evaluation of different forage type varieties of pigeon pea (*Cajanus cajan*) in Central Luzon. *Clsu Int. J. Sci & Tech.* 3: 14-23.

- McIntosh, M.S., 1983. Analysis of combined experiments. *Agron. J.* 75: 153-155.
- Mishra, S., R. Singh, R. Kumar, A. Kalia y S.R. Panigrahy, 2017. Impact of climate change on pigeon pea. *Econ. Aff.* 62: 455-457.
- Mohamed, M.E. y R.P. Ariyanayagam, 1983. The effect of photothermal environment on growth and flowering in dwarf pigeon pea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) and *Atylosia sericea* Benth. ex Bak. *Euphytica* 32: 777-782.
- Morales, A., B. Luciano, F.H. Ortiz y N. Mendoza, 1988. Determinate pigeon pea [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.] genotypes on the north and south coasts of Puerto Rico. *J. Agric. Univ. P.R.* 72: 545-454. <https://doi.org/10.46429/jaupr.v72i4.8003>
- Muñoz, M.A., W.I. Lugo, C. Santiago, M. Matos, S. Ríos y J. Lugo, 2018. Taxonomic classification of the soils of Puerto Rico, 2017. Bulletin 313. Agricultural Experiment Station, College of Agricultural Sciences, University of Puerto Rico, Mayagüez Campus. pp. 64-75.
- Ojwang, J.D., R.O. Nyankanga, O.M. Olanya, D.O. Ukuku y J. Imungi, 2016. Yield components of vegetable pigeon pea cultivars. *Subtrop. Agric. Environ.* 67: 1-12.
- Oviedo, F. y J. Cedano, 2010. Estimación de polinización cruzada por insectos en guandul (*Cajanus cajan* L.), en la República Dominicana. Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF). 46: 22-30.
- Pal, D., S.K. Verma, R.K. Panwar, A. Arora y A. Kumar, 2018. Correlation and path analysis studies in advanced pigeonpea [*Cajanus cajan* (L.) Millspaugh] under different environments. *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.* 7: 378-389.
- Prabhavathi, N.M. y H.K. Ramappa, 2018. Field evaluation of pigeonpea genotypes against pigeonpea sterility mosaic virus (PPSMV). *Int. J. Pure App. Biosci.* 6: 57-61.
- Rangaswamy, K.T., V. Muniyappa, P. Lava, K.B. Saxena, M. Byregowda, N. Raghavendra, K. Pandurangiah, R. Vijay y F. Waliyar, 2005. ICP 7035-A sterility mosaic resistant vegetable and grain purpose pigeonpea variety. *J. SAT Agric. Res.* 1: 1-4.
- Rani, P., A. Sirohi, A.K. Parihar y A. Gupta, 2015. Assessing genetic variation of pigeonpea [*Cajanus cajan* (L.)] genotype using RAPD and ISSR markers systems. *Bioscan.* 10: 957-962.
- Rivera, E. y H. Irizarry, 1984. Pigeonpea yields as influenced by planting date and pruning. *J. Agric. Univ. P. R.* 68: 173-177. <https://doi.org/10.46429/jaupr.v68i2.7275>
- Rowden, R., D. Gardiner, P.C. Whiteman y E.S. Wallis, 1981. Effects of planting density on growth, light interception and yield of a photoperiod insensitive pigeon pea (*Cajanus cajan*). *Field Crops Res.* 4: 201-213.
- Sameer, C.V., S.J. Satheesh, N. Mohan, R.K. Saxena y R.K. Varshney, 2017. Botanical description of pigeonpea [*Cajanus cajan* (L.) Millsp.]. In: R.K. Varshney, R.K. Saxena y S.A. Jackson (Eds.), The pigeon pea genome (pp. 17-29). Cham, Switzerland: Springer.
- Sameer, K., I. Singh, R. Vijay, S. Patil, R. Tathineni, M. Mula, R. Saxena, A. Hingane, A. Rathore, Ch. Ravinder, M. Nagesh, C. Sudhakar y R. Varshney, 2016. Pigeonpea - A unique jewel in rainfed cropping systems. *Legume Persp.* 11: 8-10.
- SAS Institute. 2012. SAS/STAT user's manual, version 9.4. SAS Institute, Cary, NC.
- Saxena, K.B., M.G. Mula, F.P. Sugui, H.L. Layaoen, R.L. Domoguen, M.E. Pascua, R.P. Mula, W.D. Dar, C.L. Gowda, R.V. Kumar y J.E. Eusebio, 2010. Pigeonpea: A resilient crop for the Philippines dry lands. International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics 85: 1-80.
- Saxena, K., A.K. Choudhary, R.K. Srivastava, A. Bohra, R.K. Saxena y R.K. Varshney, 2019. Origin of early maturing pigeonpea germplasm and its impact on adaptation and cropping systems. *Plant Breed.* 138: 243-251.
- Saxena, R.K., V.K. Singh, S.M. Kale, R. Tathineni, S. Parupalli, V. Kumar, V. Garg, R.R. Das, M. Sharma, K.N. Yamini, S. Muniswamy, A. Ghanta, A. Rathore, C.V. Sameer, K.B. Saxena, P.B. Kavi y R.K. Varshney, 2017. Construction of genotyping by sequencing based high-density genetic maps and QTL mapping for fusarium wilt resistance in pigeonpea. *Sci. Rep.* 7: 19-11.
- Singh, A.K., V.P. Rai, R. Chand, R.P. Singh y M.N. Singh, 2013. Genetic diversity studies and identification of SSR markers associated with fusarium wilt (*Fusarium udum*) resistance in cultivated pigeonpea (*Cajanus cajan*). *J. Genet.* 92: 273-280.

- Srivastava, R.K. y K.B. Saxena, 2019. The earliest maturing pigeon pea [*Cajanus cajan* (L.) Millspaugh] germplasm bred at ICRISAT. *Genet. Resour. Crop. Ev.* 66: 763-766.
- Tsehai, A.A., A.P. Choramo y A.M. Haymanot, 2015. An evaluation of genetic variability in early maturing pigeon pea genotypes and clustering of genotypes into different homogenous groups. *Int. J. Agroforestry and Silvicult.* 2: 114-119.
- Upadhyaya, H.D., K.N. Reddy, S. Sharma, S.L. Dwivedi y S. Ramachandran, 2016. Enhancing the value of genetic resources for use in pigeonpea improvement. *Legume Persp.* 11: 13-16.
- Vales, M.I., R.K. Srivastava, R. Sultana, S. Singh, I. Singh, G. Singh y K.B. Saxena, 2012. Breeding for earliness in pigeonpea. *Crop Sci.* 52: 2507-2516.
- Varshney, R.K., R.K. Saxena, H.D. Upadhyaya, A.W. Khan, Y. Yu, C. Kim, A. Rathore, D. Kim, J. Kim, S. An, V. Kumar, G. Anuradha, K.N. Yamini, W. Zhang, S. Muniswamy, J.S. Kim, R.V. Penmetsetsa, E. Wettberg y S.K. Datta, 2017. Whole genome resequencing of 292 pigeonpea accessions identifies genomic regions associated with domestication and agronomic traits. *Nat. Genet.* 49: 1082-1088.
- Vélez, R. y S.A. Garrison, 1989. Growth, maturity and flowering of pigeon peas, *Cajanus cajan* L. Millsp., at high latitudes. *J. Agric. Univ. P.R.* 73: 223-229. <https://doi.org/10.46429/jaupr.v73i3.6460>
- Villiers, S., Q. Emongor, R. Njeri, E. Gwata, D. Hoisington, I. Njagi, S. Silim y K. Sharma, 2008. Evaluation of the shoot regeneration response in tissue culture of pigeonpea (*Cajanus cajan* [L.] Millsp.) varieties adapted to eastern and southern Africa. *Afr. J. Biotechnol.* 7: 587-590.
- Viteri, D.M., L. Sarmiento, A.M. Linares e I. Cabrera, 2019. Efficacy of biological control agents, synthetic insecticides, and their combinations to control tobacco budworm [*Heliothis virescens* (Lepidoptera: Noctuidae)] in pigeon pea. *Crop Prot.* 122: 175-179.
- Wilson, C., D. Hui, E. Nwaneri, J. Wang, Q. Deng, D. Duseja y F. Tegegne, 2012a. Effects of planting dates, densities, and varieties on ecophysiology of pigeonpea in the southeastern United States. *Agric. Sci.* 3: 147-152.
- Wilson, C., D. Hui, F. Tegegne, E. Nwaneri, C. Davidson y D. Duseja, 2012b. Effects of climate and agricultural practices on ecophysiology of pigeonpea in the southeastern United States. *Pure Appl. Biol.* 1: 33-39.
- Worku, W. y W. Demisie, 2012. Growth, light interception and radiation use efficiency response of pigeon pea (*Cajanus cajan*) to planting density in southern Ethiopia. *J. Agron.* 11: 85-93.