



Respuesta de líneas promisorias de arroz en finca del municipio Los Palacios, Cuba

Response of promising lines of rice in Los Palacios municipality, Cuba

 Rogelio Morejón-Rivera^{1*},  Sandra H. Díaz-Solís¹

Unidad Científico Tecnológica de Base "Los Palacios". 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

RESUMEN: El ensayo se llevó a cabo en una finca perteneciente a la Cooperativa de Créditos y Servicios Abel Santamaría del municipio Los Palacios. El material vegetal estudiado estuvo constituido por seis genotipos de arroz, cuatro nuevas líneas avanzadas obtenidas mediante el método de hibridaciones y los cultivares comerciales INCA LP-5, de ciclo corto e INCA LP-7, de ciclo medio. Se utilizó un diseño Completamente Aleatorizado compuesto por seis tratamientos con tres réplicas cada uno y se evaluaron 11 caracteres cualitativos y nueve cuantitativos. Los datos obtenidos fueron procesados mediante un análisis de varianza de clasificación simple (ANOVA) y se docimaron las medias con la Prueba de Rangos Múltiples de Duncan al 5 %. Para los caracteres cualitativos, los resultados mostraron que todos los genotipos se caracterizaron por tener porte erecto, carencia de pigmentación antocianina, ligulas de tipo hendida, ausencia de aristas, resistencia al acame y color paja del grano paddy. Entre los nuevos genotipos, las líneas 3 y 4 presentaron las hojas y panículas más largas, un buen comportamiento de granos llenos por panícula y masa del grano, así como un bajo número de granos vanos, además de los mejores valores en las variables panículas por metro cuadrado y rendimiento, respectivamente. La línea 2 presentó el ciclo más corto y mostró valores altos de panículas por metro cuadrado y rendimiento. El estudio sistemático de análisis de la diversidad genética es esencial para explotar lo inherente a la variabilidad y ampliar la base genética de cultivares de arroz.

Palabras clave: *Oryza sativa* L., rendimiento, panícula, mejoramiento genético.

ABSTRACT: The trial was carried out on a farm belonging to the Credit and Service Cooperative Abel Santamaría in Los Palacios municipality. The analyzed plant material consisted of six rice genotypes, four new advanced lines obtained through the hybridization method and the commercial cultivars INCA LP-5 of short cycle and INCA LP-7 of medium cycle. A completely randomized design consisting of six treatments with three replicates each was used and 11 qualitative and nine quantitative traits were evaluated. The data obtained were processed by simple rank analysis of variance (ANOVA) and the means were tested by Duncan's Multiple Range Test at 5 %. For qualitative traits, the results showed that all genotypes were characterized by erect growth habit, lack of anthocyanin pigmentation, cleft-type ligule, absence of ridges, and resistance to lodging and straw color of the paddy grain. Among the new genotypes, lines 3 and 4 showed the longest leaves and panicles, a good performance of full grains per panicle and grain mass, as well as a low number of empty grains, in addition to the best values in the characters panicles per square meter and yield, respectively. Line 2 presented the shortest cycle and showed high values of panicles per square meter and yield. The systematic study of genetic diversity analysis is essential to take full advantage of the inherent variability and broaden the genetic base of rice cultivars.

Key words: *Oryza sativa* L., yield, panicle, plant breeding.

*Autor para correspondencia: rogelio@inca.edu.cu

Recibido: 26/02/2024

Aceptado: 24/08/2024

Conflictos de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución de los autores: Conceptualización: Rogelio Morejón y Sandra H. Díaz. Investigación: Rogelio Morejón y Sandra H. Díaz. Metodología: Rogelio Morejón y Sandra H. Díaz. Supervisión: Sandra H. Díaz. Escritura del borrador inicial: Rogelio Morejón. Escritura y edición final: Rogelio Morejón y Sandra H. Díaz. Curación de datos: Rogelio Morejón.

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



INTRODUCCIÓN

El arroz se consume principalmente como alimento básico en Asia, América Latina y el Caribe, y cada vez más en África. Se espera que el consumo mundial de arroz aumente un 1,1 % anual. Al igual que en la última década, los países asiáticos representaron el 70 % del aumento proyectado. En América Latina y el Caribe, las importaciones y exportaciones de cereales constituirán casi el 30 % del consumo y la producción internos, respectivamente, para 2031 (1). A medida que aumenta la población mundial, también crece la demanda de alimentos. La forma menos costosa de seguir el ritmo del crecimiento demográfico es incrementar la producción de arroz, siempre que sea posible. La diferencia entre los rendimientos actuales y potenciales sigue siendo muy sustancial en muchos países productores de arroz. En consecuencia, los esfuerzos deben dirigirse a determinar las causas fundamentales de esta diferencia (2).

La atención del mundo y la presión sobre los investigadores es aumentar sustancialmente la tasa de producción para cumplir con el objetivo proyectado para mediados de este siglo. Las vías para aumentar el rendimiento del arroz se han centrado en varias líneas, entre ellas el mejoramiento genético, la genética y la biotecnología (3).

Utilizando métodos de mejoramiento “tradicionales”, se necesitan al menos entre 8 y 10 años para producir un nuevo cultivar: un trabajo minucioso que incluye experimentos de laboratorio y una serie de ensayos de campo, así como el análisis de calidad, las pruebas de campo para determinar la adaptabilidad a las prácticas agrícolas y a distintos ambientes y la selección para otras características deseadas. A partir de entonces, se requieren de dos a tres años de evaluaciones oficiales antes de que la nueva línea se pueda aprobar en la lista oficial de y comercializar. Este proceso será continuo ya que enfermedades antiguas pueden extenderse y emerger en nuevas áreas, o bien es posible que aparezcan nuevas razas de patógenos que produzcan un quiebre de la resistencia varietal y, además, que también los factores ambientales cambien (4).

En Cuba el programa de mejoramiento genético ha liberado para la producción varios cultivares de arroz con alto potencial del rendimiento, adaptados a factores adversos, sin embargo, causas como malas prácticas culturales, deterioro de las propiedades de los suelos, plagas, algunos cambios en variables climáticas, entre otros, inciden negativamente en los resultados productivos, con bajos rendimientos que aún no superan las 3,6 t.ha⁻¹ como promedio nacional (5).

Varios factores están gravitando sobre la caída en la producción del grano, entre ellos la pandemia por la Covid-19, el alza de los precios de los insumos, la ruptura de la cadena internacional de suministros y el reforzamiento de las medidas del bloqueo del Gobierno de Estados Unidos. Cálculos del Ministerio de la Agricultura de Cuba fijaban la producción de 2023 en 538 mil toneladas de arroz consumo, lo que implicaba tener que importar unas 200 mil toneladas pero, al caer los ritmos de siembra y de producción, el

déficit del grano se incrementa. Con una realidad compleja y distante de la existente antes de la pandemia, la agricultura cubana tiene el reto de rescatar el cultivo bajo nuevas estrategias. La aplicación de técnicas agroecológicas, menor uso de productos químicos y el empleo de semillas de producción nacional son parte del esfuerzo en ese sentido y, del lado de la ciencia, se destacan las fortalezas, ya que todos los cultivares empleados en el país son cubanos, generados por el Instituto de Investigaciones de Granos y el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, los cuales tributan al Programa Nacional de Mejoramiento Genético del Cultivo (6).

Por todo lo anterior, este trabajo tiene como objetivo estudiar el comportamiento de líneas avanzadas de arroz del programa nacional de mejoramiento genético de este cultivo en áreas del sector cooperativo campesino para su posterior incorporación al sistema nacional.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se llevó a cabo en una finca perteneciente a la Cooperativa de Créditos y Servicios (CCS) Abel Santamaría del municipio Los Palacios, sobre un suelo Fluvisol (7).

El material vegetal estudiado lo constituyeron un total de seis genotipos de arroz (*O. sativa* L.), que incluían cuatro nuevas líneas avanzadas obtenidas mediante el método de hibridaciones, y como resultado de un proceso posterior de selección, y se incluyeron como testigos los cultivares comerciales INCA LP-5 (ciclo corto) e INCA LP-7 (ciclo medio) con buen comportamiento bajo las condiciones de producción del país (Tabla 1).

Tabla 1. Relación de genotipos estudiados y su procedencia

Genotipos	Cruzamiento
INCA LP-7	Somaclón de Amistad 82
INCA LP-5	2077 / CP1-C8
Línea 1	INCA LP-5 / IR 1529
Línea 2	<i>Oryza glaberrima</i> / Amistad 82
Línea 3	China / INCALP-5
Línea 4	INCA LP-5 / 2084 Vietnamita

Se utilizó un diseño Completamente Aleatorizado compuesto por seis tratamientos (genotipos) con tres réplicas cada uno. Los genotipos fueron trasplantados en el campo en parcelas de 2 m de largo por 2 m de ancho (4m²) a una distancia de 0,15 m entre plántulas y 0,50 m entre parcelas.

Las labores y atenciones fitotécnicas (preparación del suelo, semillero, trasplante, fertilización, riego y tratamientos fitosanitarios) se efectuaron, según lo que establece el Instructivo Técnico del Cultivo del Arroz (8).

Las observaciones se realizaron en 10 plantas seleccionadas al azar en cada parcela. Para las variables cualitativas se consideró el valor de la moda y, para las variables de tipo cuantitativo, el valor de la media de las mediciones realizadas.

Se evaluaron los siguientes caracteres cualitativos y cuantitativos, utilizando como metodología el Sistema de Evaluación Estándar para Arroz del IRRI (9).

Características cualitativas:		Fase de evaluación	
1.	Intensidad del color verde de la hoja (IH).	Floración	
2.	Pigmentación antociánica (PA).	Floración	
3.	Porte de la planta (PP).	Floración	
4.	Aristas (AR).	Postcosecha	
5.	Forma de la ligula (FL).	Floración	
6.	Excisión de la panícula (EP).	Maduración	
7.	Color del grano paddy (CG).	Maduración	
8.	Resistencia al acame (AC).	Maduración	
9.	Resistencia al desgrane (DG).	Maduración	
10.	Senescencia de la hoja (SS).	Maduración	
11.	Vigor de la planta (V).	Plántula	
Características cuantitativas:		Fase de evaluación	
12.	Ciclo del cultivo al 50 % de floración (C),	Floración	Días
13.	Longitud del limbo de la hoja bandera (LH).	Floración	cm
14.	Ancho del limbo de la hoja bandera (AH).	Floración	cm
15.	Rendimiento (R).	Maduración	t ha ⁻¹
16.	Número de panículas por m ² (Pm2).	Maduración	cantidad
17.	Longitud de la panícula (LP).	Maduración	cm
18.	Número de granos llenos por panícula (GII).	Postcosecha	cantidad
19.	Número de granos vanos por panícula (Gv).	Postcosecha	cantidad
20.	Masa de 1000 granos paddy (Mgr).	Postcosecha	g

Los caracteres granos llenos por panícula, granos vanos por panícula y masa de 1000 granos se determinaron en 20 panículas centrales tomadas al azar y el ciclo se estimó como el número de días desde la germinación hasta que el 50 % de las panículas de las plantas habían emergido. Las panículas por metro cuadrado se muestraron una vez por parcela, en un marco de 0,25 m² y el rendimiento agrícola del cultivo fue calculado en un área de 1 m².

Al finalizar el conteo y medición de las variables, los datos obtenidos fueron procesados mediante un análisis de varianza de clasificación simple (ANOVA) y se docimaron las medias con la Prueba de Rangos Múltiples de Duncan al 5%, empleando el programa estadístico STATGRAPHICS Plus v.5.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se muestra la caracterización de los seis genotipos evaluados de acuerdo a los caracteres cualitativos, mostrándose semejanzas en seis de los 11 caracteres analizados.

Todos los genotipos se caracterizaron por tener porte erecto, carencia de pigmentación antociánica (no se observó en ningún órgano de la planta), ligulas de tipo hendida, ausencia de aristas, resistencia al acame y color paja del grano paddy. Se encontraron diferencias para el resto de las características. Sin embargo, la homogeneidad en algunos de los caracteres evaluados resulta deseable, como es el porte erecto, ausencia de aristas y resistencia al acame.

La caracterización morfoagronómica es una actividad complementaria que consiste en describir los atributos de los genotipos para determinar su utilidad e identificar los promisorios para los procesos de selección y mejoramiento genético. Estos estudios son frecuentes y aportan información detallada para establecer distintividad entre cultivares (10-17).

El hecho de que las cuatro líneas en estudio tuvieran porte erecto confirma la importancia que le atribuyen los mejoradores a este carácter en el momento de la selección. La arquitectura ideal es una nueva estrategia para el cultivo de arroz con rendimientos muy elevados (18).

Tabla 2. Resultados de la evaluación de los caracteres cualitativos

GENOTIPOS	PP	IH	PA	FL	AR	EP	AC	DG	SS	CG	V
INCA LP-7	E	VO	AU	H	AU	ME	R	I	T	PJ	V
INCA LP-5	E	VO	AU	H	AU	E	R	I	T	PJ	MV
Línea 1	E	VO	AU	H	AU	BE	R	I	I	PJ	MV
Línea 2	E	VC	AU	H	AU	E	R	I	T	PJ	V
Línea 3	E	VO	AU	H	AU	ME	R	D	T	PJ	MV
Línea 4	E	VO	AU	H	AU	BE	R	I	T	PJ	V

Erect (E), Hendida (H), Emergida (E), Vigorosa (V), Verde oscuro (VO), Intermedio/a (I), Bien Emergida (BE), Muy vigorosa (MV), Verde claro (VC), Resistente (R), Tardía (T), Ausente (AU), Difícil (D), Paja (PJ)

En los últimos años se han logrado avances significativos en la comprensión de cómo se controla la arquitectura de las plantas en diversas condiciones de crecimiento (19). La misma, está determinada principalmente por la altura de la planta, el macollamiento y la morfología de la panícula y contribuye en gran medida al rendimiento de grano del arroz. Algunas investigaciones recientes se han enfocado en la exploración de sus mecanismos moleculares ya que proporcionan orientación teórica y valiosos para mejorar cultivares de arroz con una arquitectura ideal, además señalan que los factores ambientales influyen en la plasticidad de esta y la importancia de analizarlos (20).

En otros ensayos de caracterización de arroz realizados en Cuba tampoco se encontraron diferencias entre los cultivares evaluados para los caracteres cualitativos pigmentación antociánica y forma de la lígula (21). Estudios recientes plantean que las antocianinas son un grupo importante de metabolitos secundarios que se cree que desempeñan un papel importante en la función de las plantas. También tienen relevancia en la nutrición humana. El arroz coloreado es cada vez más popular entre los consumidores debido a sus propiedades nutracéuticas y, entre los agricultores, debido a su mayor valor económico (13).

Asimismo, cuando se analizó la diversidad genética de cultivares locales de arroz en el este de la India, se informó que en general, se observaron variaciones considerables en el vigor de la plántula, la pubescencia de la lámina foliar, el color de la vaina basal de la hoja, el ángulo de la hoja, el color del apículo, el color de la lemma y la pálea y la cubierta de la semilla (15).

La mayoría de las líneas y los testigos mostraron un color verde oscuro, y solo en la línea 2 se observó coloración verde claro. Similares resultados fueron encontrados por otros autores en trabajos análogos (22). También un estudio de caracterización morfoagronómica de tres accesiones de arroz pigmentado aromático, reveló que estos cultivares producen hojas largas, anchas y de color verde oscuro con coloración antociánica en las puntas, los nervios medios y los márgenes. El color de las vainas de las hojas basales es verde oscuro con una tonalidad ligeramente violeta, mientras que la intensidad del color verde de las hojas es alta con coloración antociánica (13).

En todos los genotipos hubo ausencia de aristas. En este sentido se conoce que, en su mayoría, los cultivares de arroz no tienen granos con aristas o sólo unas pocas muestran aristas pequeñas, de modo que este carácter rara vez constituye un problema en el mejoramiento. Resultados similares se obtuvieron al evaluar germoplasma de arroz, donde solo el 22% presentó aristas en los granos (23).

Los genotipos presentaron panículas bien emergidas, moderadamente emergidas y emergidas, mientras que ninguno mostró panículas parcialmente incluidas o incluidas. Las panículas deben emerger completamente de la vaina de la hoja bandera y se acepta que el carácter de panícula completamente emergida es dominante sobre el de panícula parcialmente encerrada o incluida, aunque la temperatura del aire y, posiblemente, la sombra que reciba la planta modifica notablemente la expresión del carácter. En muchas

líneas y cultivares, las panículas sobresalen completamente si el tiempo atmosférico es cálido después de su iniciación, pero si es un poco frío, la emergencia de las panículas es incompleta (24).

La excresión de panícula es una variable agronómica importante a considerar en el proceso de selección, aquellas que tienen la habilidad de emerger completamente de la hoja bandera evitan la esterilidad (mal llenado de la espiguilla), ataque de patógenos en la base de la panícula y dificultad de la cosecha. Estudios realizados en Filipinas sobre arroz híbrido indican que el grado de excresión de la panícula puede ser influenciado por la aplicación de ácido giberélico. Los mejores resultados se lograron cuando se aplicaron dosis mayores, consiguiendo mayor cantidad de panículas exsertas, por lo que sugieren que la aplicación de ácido giberélico está directamente relacionado con la excresión de la panícula (25).

Resulta importante destacar que las cuatro nuevas líneas tuvieron un comportamiento similar a los testigos, siendo resistentes al acame. Esta variable está influenciada por las características genéticas intrínsecas del cultivar. Es un proceso complejo que expresa la respuesta de la planta a los efectos de factores bióticos y abióticos, con frecuencia ocurren pérdidas irreversibles debido a razones de naturaleza objetiva y subjetiva. Entre estas se incluyen las violaciones en la tecnología del cultivo como una nutrición mineral desbalanceada, alta densidad de plantación o un tratamiento erróneo de herbicida. También durante la estación de cultivo, las condiciones del tiempo como lluvia, viento, granizo o temperaturas extremas pueden provocar acame (26).

En relación al desgrane, solo la línea 3 clasificó como de difícil desgrane con unos pocos granos desprendidos, mientras que las líneas 1, 2 y 4 se comportaron como intermedias, similar a los cultivares testigos. No hubo genotipos de fácil desgrane (50 % de granos desprendidos), a pesar de que una de las líneas compartía entre sus progenitores a *Oryza glaberrima*, lo cual confirma la efectividad en el proceso de selección. El desgrane de semillas es un rasgo importante relacionado con la eficiencia de la cosecha en los cultivos. Aunque se han identificado varios genes para controlar el desgrane de semillas en el arroz, la extensa variación de la arquitectura genética del desgrane aún no está clara (27). En los últimos años, se han identificado varios factores genéticos claves que regulan el desgrane en los cultivos, y la selección de mutaciones deseables ha promovido la domesticación y el mejoramiento de los cultivos al reducir el desgrane (28).

En tres líneas, la senescencia resultó tardía (2, 3 y 4), similar a los cultivares INCA LP-5 e INCA LP-7; solo la línea 1 se comportó como intermedia y no hubo senescencia temprana. La senescencia prematura de la hoja afecta negativamente el rendimiento del grano en el arroz; debido a eso, diversas investigaciones relacionadas con este tema han sido desarrolladas (29-31).

La senescencia de las hojas, la etapa final del desarrollo de la planta, en la que se produce el cambio de la fase de captura de carbono a la fase de removilización de nitrógeno

como fuente final de suministro de nutrientes a los granos en desarrollo, es un mecanismo molecular altamente regulado. La permanencia verde funcional se ha considerado una característica prometedora que se introducirá para mejorar el potencial de rendimiento del arroz. Diversas son las investigaciones enfocadas en este tema, revelando que el rasgo funcional de permanencia verde de algunos cultivares parece provenir no solo del control genético que previene la degradación de la clorofila sino también de la mayor capacidad para absorber nitrógeno del suelo debido a la fuerte actividad sostenida de las raíces durante el período de llenado del grano (32-34).

Las líneas clasificaron como vigorosas y muy vigorosas con similar comportamiento a los dos cultivares testigos. El establecimiento temprano de las plántulas en arroz es un importante carácter que ayuda en la competencia por luz, aire y agua y, por ende, mejora la tolerancia a varios estreses abióticos lo que, en consecuencia, puede afectar favorablemente al rendimiento. Sin embargo, no existen muchas investigaciones en este tema y estudios previos solo centran su interés en evaluar el carácter en sí (35).

El análisis estadístico mostró diferencias significativas para todos los caracteres cuantitativos a un nivel de significación del 95 % (Tabla 3). Resultados similares se obtuvieron en investigaciones del mismo tipo, donde las estadísticas descriptivas de once rasgos cuantitativos revelaron que todos estos mostraron una variación significativa dentro de la colección de germoplasma evaluada (15). Asimismo, en estudios de diversidad genética de accesiones de arroz, utilizando rasgos morfológicos, se observaron diferencias altamente significativas para todos los caracteres cuantitativos analizados, lo que indicó variabilidad entre las 87 accesiones estudiadas (10). Por otro lado, al analizar variables morfológicas se encontró una variación significativa para todos los parámetros cualitativos y cuantitativos entre nueve especies de arroz silvestre (36).

En este caso el cultivar INCA LP-7 mostró los valores más elevados del carácter longitud de la hoja seguida de las líneas 3 y 4. El genotipo INCA LP-5 y las líneas 1 y 2 presentaron las hojas más pequeñas. El ancho de la hoja tuvo su mejor comportamiento en el genotipo INCA LP-7 y la línea 1. Los valores para este carácter fluctuaron entre 1,82 y 1,52 cm, encontrándose las hojas más finas en el cultivar

INCA LP-5 y la línea 4. En otras investigaciones también se había detectado variabilidad para ambos descriptores en los genotipos evaluados (13,23).

Aumentar el potencial de rendimiento del arroz es el principal objetivo de los mejoradores y cultivadores que participan en programas de mejoramiento de este cultivo. Al respecto, investigaciones recientes sugieren que el arroz con panículas erectas generalmente es de alto rendimiento y las panículas permanecen sin curvar hasta la maduración. Asimismo, los cultivares de panículas erectas con hojas bandera cortas podrían mostrar una tasa fotosintética más alta en la etapa de maduración y, por lo tanto, este rasgo podría ser un marcador fenotípico potencial para lograr alto rendimiento de arroz con panículas erectas (37).

La longitud de la panícula estuvo en el rango de 21,42 a 27,09 y las panículas más largas caracterizaron a los cultivares INCA LP-7 y a las líneas 3 y 4. Por el contrario INCA LP-5 mostró los valores más discretos para este carácter. En estudios de caracterización morfoagronómica de germoplasma de arroz se informan rangos entre 22,84 y 28,28 cm y entre 26 y 30 cm de panículas bien emergidas y se plantea que este carácter contribuye positivamente pero no es el único factor responsable del alto rendimiento en grano (13,23).

La cantidad de granos llenos por panícula fluctuó entre 116 y 167, siendo las líneas 1, 3 y 4 las de mejor comportamiento. Los cultivares INCA LP-7 e INCA LP-5 resultaron ser los de menores valores para este carácter. Se conoce que el número de granos por panícula es uno de los componentes del rendimiento del arroz y está determinado principalmente por la arquitectura de la panícula y la diferenciación de ramas (38,39). Algunos autores sugieren que este carácter es el rasgo crítico para aumentar el rendimiento de grano en la práctica de mejoramiento (40-42). En un estudio de las características de rendimiento que abarcó 200 cultivares de arroz japonica cultivados en el centro de China, se observó un aumento significativo de los granos por panícula durante los últimos 30 años, y muchos genes asociados a éste fueron sometidos a selección artificial durante el proceso de mejoramiento (43).

Como rasgo cuantitativo canónico, el número de granos por panícula está controlados por múltiples genes y puede verse afectado por diversos factores ambientales (44,45).

Tabla 3. Resultados del Análisis de Varianza de Clasificación Simple (ANOVA) para los caracteres cuantitativos

No.	Genotipos	LH	AH	LP	GII	Gv	Pm2	Mgr	R	C
1	INCA LP-7	27,70 a	1,82 a	27,09 a	116,85 e	11,55 c	701,00 a	30,40 a	6,53 a	121 a
2	INCA LP-5	23,11 e	1,52 e	21,42 d	131,45 d	14,30 a	477,50 e	29,10 c	3,90 e	105 b
3	Línea 1	23,17 e	1,77 b	22,15 c	167,50 a	13,50 b	507,00 d	29,05 c	3,92 e	103 b
4	Línea 2	23,94 d	1,60 d	22,25 c	148,35 c	10,10 d	589,50 b	27,45 d	5,23 c	97 c
5	Línea 3	26,92 b	1,71 c	23,66 b	157,75 b	8,75 f	559,50 c	29,75 b	4,21 d	110 b
6	Línea 4	26,25 c	1,52 e	22,32 c	155,25 b	9,80 e	470,00 e	30,90 a	5,99 b	106 b
Media General		25,18	1,66	21,48	146,19	11,33	550,75	29,44	4,96	107,00
Error Estándar		0.2542	0.0178	0.3824	2.008	0.1987	8.8962	0.1247	0.1635	0.532
C. de Variación (%)		8.56	9.02	11.19	9.56	18.89	13.41	3.99	21.22	3.73

Medias con letras iguales en una columna no difieren entre sí (Prueba de Rangos Múltiples de Duncan, $p \leq 0.05$)

La heredabilidad en sentido amplio de este carácter es relativamente alta, y osciló entre aproximadamente el 70 y el 90 % en diferentes estudios, lo que indica que los factores genéticos son el principal determinante de este carácter (46,47).

El valor medio para el carácter número de granos vanos por panícula fue 11,33. Los mejores resultados estuvieron dados con las líneas 3 y 4, las cuales comparten a INCA LP-5 como progenitor. Se conocen varias causas que inciden en el vaneo de los granos de arroz, las relacionadas con la sanidad vegetal (diferentes agentes causales, empleo de herbicidas hormonales en la etapa de fecundación y llenado del grano), pero además aparecen las agroquímicas (insuficiencia o exceso de nitrógeno, déficit de micronutrientes), genéticas (emersión no total de las panículas y capacidad de fecundación) y climáticas (humedad relativa, vientos fuertes y secos, la sequía y la temperatura).

En el número de panículas por metro cuadrado, el cultivar INCA LP-7 mostró el valor más elevado, estadísticamente; este carácter se comportó en un rango entre las 470 y 701 panículas y entre los nuevos genotipos, las líneas 2 y 3, exhibieron los mejores resultados. Éste el componente de rendimiento más variable y ha sido la principal limitante del rendimiento agrícola en las condiciones de Cuba. Estudios llevados a cabo en China, determinaron las relaciones entre el rendimiento y las características agronómicas del arroz, encontrando que el número de panículas por metro cuadrado osciló en el rango de 232-271 (36). Por otra parte, se ha detectado que las características claves de cultivares de arroz híbrido de tipo índica incluyen un mayor número de panículas (de 250-300×104 ha⁻¹) (48).

La masa de 1000 granos varió entre 27,45 y 30,90 g. El mayor valor lo mostraron el cultivar INCA LP-7 y la línea 4. La línea 2 presentó el peor comportamiento. Se plantea que la masa de 1000 granos es una característica genética estable en buenas condiciones de cultivo. En investigaciones desarrolladas en Argentina se afirma que el peso de los granos es propio del cultivar, aunque destacan cierta variabilidad dentro de cada uno de ellos (49).

El rendimiento alcanzó una media de 4,96 t.ha⁻¹ y sus valores estuvieron comprendidos entre 3,90 y 6,53 t.ha⁻¹. El cultivar INCA LP-7 y la línea 4 fueron los de mejor comportamiento. Los valores más discretos los presentaron el cultivar INCA LP-5 y la línea 1. Este resultó ser el carácter con mayor coeficiente de variación, lo que podría atribuirse a la alta variabilidad entre los tratamientos.

Otros autores han encontrado que el coeficiente de varianza fenotípica fue superior al coeficiente de variación genotípica para todos los caracteres que estudiaron, lo que podría deberse a factores ambientales que influyen en la expresión de estos. Los mejoradores deberían tener esto en cuenta a la hora de establecer un programa de selección para mejorar el rendimiento (50).

Por lo general, los cultivares mejorados tienen una buena tasa de adopción, debido a su impacto positivo en la producción, lo que resulta negativo en la conservación de los cultivares locales en las fincas, los cuales han desarrollado

características específicas que les permiten adaptarse a los agroecosistemas. Por tal motivo, es necesario protegerlos mediante conservaciones en las explotaciones agrícolas o *ex situ*. Por lo tanto, se deben realizar esfuerzos similares para preservar y desarrollar cultivares locales para evitar la extinción de recursos genéticos útiles (14).

El valor medio para el ciclo fue de 107 días, destacándose la línea 2 como la más precoz, por el contrario, el cultivar INCA LP-7 resultó tener el ciclo más largo, con un promedio de 121 días y los mayores rendimientos como se informó anteriormente, lo cual confirma que un ciclo más largo permite a la planta utilizar más los nutrientes, mayor acumulación de materia seca y, generalmente, rendimientos más altos, de ahí que los cultivares que han predominado en Cuba sean los de ciclo medio. Sin embargo, el desarrollo de germoplasma precoz es uno de los objetivos fundamentales de los programas de mejoramiento, por las ventajas que estos cultivares representan al aprovechar mejor el calendario de siembra, emplear menos fertilizantes y consumir menos agua y, además, estar menos expuestos a plagas y enfermedades (51). La precocidad como objetivo de mejoramiento es adecuada para escapar de las causas de estrés ambiental, como la sequía o la temperatura baja durante la fase reproductiva. Además, un período vegetativo corto permite hacer un uso más eficiente del agua de riego. Combinar en un cultivar el carácter de precocidad con niveles óptimos de macollamiento, de vigor y de capacidad de rendimiento es un desafío fascinante para los fitomejoradores (24).

CONCLUSIONES

1. El estudio sistemático de análisis de la diversidad genética es esencial para explotar lo inherente a la variabilidad y ampliar la base genética de cultivares de arroz.
2. La homogeneidad en algunos caracteres cualitativos, específicamente en el porte erecto, ausencia de aristas y resistencia al acame, son variables deseables en las líneas de arroz estudiadas.
3. Las líneas 3 y 4 están caracterizadas por poseer los valores cuantitativos más promisarios entre los nuevos genotipos: número de panículas por metro cuadrado y rendimiento, respectivamente, y longitud de la panícula, granos llenos y vanos por panícula, en ambas.

BIBLIOGRAFÍA

1. OECD/FAO. OECD-FAO Agricultural Outlook 2022-2031. OECD Ediciones, Paris. 2022. doi: [10.1787/f1b0b29c-en](https://doi.org/10.1787/f1b0b29c-en).
2. Rajan J. 5 Emerging Challenges in Rice Cultivation Faced by Farmers: Organica's Solutions to High Yield and Crop Management. Organica Biotech. 2023. Available from: <https://organicabiotech.com/5-emerging-challenges-in-rice-cultivation-faced-by-farmers-organicas-solutions-to-high-yield-and-crop-management/>.
3. Parida AK, Sekhar S, Panda BB, Sahu G and Shaw BP. Effect of Panicle Morphology on Grain Filling and Rice Yield: Genetic Control and Molecular Regulation. *Front. Genet.* 2022, 13:876198. doi: [10.3389/fgene.2022.876198](https://doi.org/10.3389/fgene.2022.876198).

4. Bothmer R, Díaz O, Fagerström T, Jansson S, Ortega-Klose F, Ortiz R, Sánchez MA. Más allá de los OGM, ciencia y fitomejoramiento para una agricultura sostenible. 2022. 204 p. ISBN: 978-956.404.859-8. doi: [10.13140/RG.2.2.31906.71360](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31906.71360).
5. Calero A, Pérez Y, Quintero E, González Y. Densidades de plantas adecuadas para incrementar el rendimiento agrícola del arroz. Centro Agrícola. 2021;48(1):28-36. Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852021000100028&lng=es&tlng=es.
6. Martínez N. Arroz, el grano estrella de la cocina cubana. Radio Reloj. 2023. Available from: <https://www.radioreloj.cu/comentarios/arroz-el-grano-estrella-de-la-cocina-cubana/>.
7. Hernández A, Pérez J, Bosch D, Castro N. Clasificación de los suelos de Cuba 2015. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Cuba: EDICIONES INCA. 2015. 93 p. Available from: <https://isbn.cloud/9789597023777/clasificacion-de-los-suelos-de-cuba-2015/>.
8. MINAG. Instructivo Técnico Cultivo de Arroz. Instituto de Investigaciones del Arroz, MINAG. 2014. 73 p. Available from: <https://isbn.cloud/9789597210863/instructivo-tecnico-cultivo-de-arroz/>.
9. IRRI. Standard Evaluation System (SES) for Rice. Quinta Edición. Filipinas. 2013. 55p. Available from: https://www.clirri.org/ver2/uploads/SES_5th_edition.pdf.
10. Soe I, Tamu A, Asante MD, Nyadanu D, Akromah R. Genetic diversity analyses of rice germplasm using morphological traits. Journal of Plant Breeding and Crop Science. 2019, 11(4), pp. 128-136. doi: [10.5897/JPBCS2018.0786](https://doi.org/10.5897/JPBCS2018.0786).
11. Ghosh M. Morpho-agronomic DUS Characterization of Scented Harinakhuri Rice Landrace of Coastal West Bengal. Indian Journal of Plant Genetic Resources: Vol. 32 No. 03 (2019): Indian Journal of Plant Genetic Resources. doi: [10.5958/0976-1926.2019.00045.7](https://doi.org/10.5958/0976-1926.2019.00045.7).
12. Ospina JO, Ligarreto GA. Caracterización morfoagronómica del banco de germoplasma de FEDEARROZ-FNA en tres ambientes del trópico colombiano. Agronomía Costarricense. 2019, 43(2): 139-155. Available from: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agrocost/article/view/38204>.
13. Devi WJ, Vivekananda Y, Uddin A, Laishram JM, Chakraborty S. Morpho-agronomic characterization and evaluation of a gene-based marker in three aromatic pigmented Chakhao rice accessions of Manipur. Oryza 2020, 57(2), p.100-107. doi: [10.35709/ory.2020.57.2.3](https://doi.org/10.35709/ory.2020.57.2.3).
14. Sasmita P, Kodir K.A. Inventory and morphological characterization of local upland rice in the highlands of South Sumatra province. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2020. 482(1), p. 012049. IOP Ediciones. doi: [10.1088/1755-1315/482/1/012049](https://doi.org/10.1088/1755-1315/482/1/012049).
15. Roy S, Banerjee A, Kumar J, Verma BC, Mandal NP. Genetic Diversity of Gora Rice (*Oryza sativa* L.) Landraces of Chotanagpur Plateau Region in Eastern India. Indian Journal Plant Genetic Resour. 2021, 34(2): 196-205. doi: [10.5958/0976-1926.2021.00018.8](https://doi.org/10.5958/0976-1926.2021.00018.8).
16. Zúñiga A, Carrodeguas A. Variabilidad morfo-agronómica en genotipos de arroz en el Pacífico Central, Costa Rica. Ciencia y Agricultura. 2022, 19(1). doi: [10.19053/01228420](https://doi.org/10.19053/01228420).
17. Luqman T, Qamar Z, Tabasum A. Genetic characterization of coarse and basmati rice (*Oryza sativa* L.) through microsatellite markers and morpho-agronomic traits. Genet Resour Crop Evol. 2023;70, 2307-2320. doi: [10.1007/s10722-023-01620-w](https://doi.org/10.1007/s10722-023-01620-w).
18. Gao J, Liang H, Huang J, Qing D, Wu H, Zhou W, Chen W, Pan Y, Dai G, Gao L, Deng G. Development of the PARMS marker of the TAC1 gene and its utilization in rice plant architecture breeding. Euphytica. 2021, 217(49). doi: [10.1007/s10681-020-02747-y](https://doi.org/10.1007/s10681-020-02747-y).
19. Guo W, Chen L, Herrera-Estrella L, Cao D, Phan Tran LS. Altering Plant Architecture to Improve Performance and Resistance. Trends in Plant Science. 2020, 25(11), p. 1154-1170. doi: [10.1016/j.tplants.2020.05.009](https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.05.009).
20. Gao H, Wang W, Wang Y. Molecular mechanisms underlying plant architecture and its environmental plasticity in rice. Mol Breeding. 2019, 39, 167. doi: [10.1007/s11032-019-1076-2](https://doi.org/10.1007/s11032-019-1076-2).
21. Díaz S, Morejón R, David D, Castro R. Evaluación morfoagronómica de cultivares tradicionales de arroz (*Oryza sativa* L.) colectados en fincas de productores de la provincia Pinar del Río. [en línea]. Cultivos Tropicales, 2015, 36(2), pp. 131-141. Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362015000200018&lng=es&nrm=iso.
22. Manjunatha GA, Ely CR, Rajendran P, Joseph J, Frances RM, Krishnan S. Agro-morphological characterization of rice (*Oryza sativa* L.) landraces of Wayanad, Kerala. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 2018, 7(2): 1409-1414. Available from: <https://www.phyto-journal.com/archives/2018.v7.i2.3549/agro-morphological-characterization-of-rice-oryza-sativa-l-landraces-of-wayanad-kerala>.
23. Demac Y, Tashid S, Ghimirayc M, Chhogyal N. Morpho-agronomic Analysis of New Rice Germplasm at Agriculture Research and Development Centre, Bajo. Bhutanese Journal of Agriculture. 2019, 2(1) 13-25. Available from: <https://www.bja.gov.bt/wp-content/uploads/2019/06/2-1.pdf>.
24. Degiovanni B, Víctor M, Martínez R, César P, Motta O. Producción eco-eficiente del arroz en América Latina. CIAT. 2010. Available from: <https://books.google.es/books>.
25. Ortuoste RM. 2016. Panicle Exertion Enhancement of Hybrid Rice (PSB RC72H) As Influenced By Sowing Frequency, Male to Female Row Ratio and Gibberellic Acid. Journal of Agriculture and Veterinary Science. 2016, 9(4): 30-35. doi: [10.9790/2380-0904023035](https://doi.org/10.9790/2380-0904023035).
26. Avakyan ER, Dzhamirze RR. Rice lodging resistance. RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries. 2018, 13(4): 366-372. doi: [10.22363/2312-797X-2018-13-4-366-372](https://doi.org/10.22363/2312-797X-2018-13-4-366-372).
27. Li F, Numa H, Hara N, Sentoku N, Ishii T, Fukuta Y, Nishimura N, Kato H. Identification of a locus for seed shattering in rice (*Oryza sativa* L.) by combining bulked segregant analysis with whole-genome sequencing. Mol Breeding. 2019, 39: 36. doi: [10.1007/s11032-019-0941-3](https://doi.org/10.1007/s11032-019-0941-3).

28. Liyun J, Xin M, Shuangshaung Z, Yanyan T, Fengxia L, Ping G, Yongcai F, Zuofeng Z, Hongwei C, Chuanqing S, Lubin T. The APETALA2-like transcription factor SUPERNUMRARY BRACT controls rice seed shattering and seed size. *Plant Cell*. 2019. doi: [10.1105/tpc.18.00304](https://doi.org/10.1105/tpc.18.00304).
29. He Y, Li L, Zhang Z, Wu JL. Identification and Comparative Analysis of Premature Senescence Leaf Mutants in Rice (*Oryza sativa* L.). *Int. J. Mol. Sci.* 2018, 19, 140. doi: [10.3390/ijms19010140](https://doi.org/10.3390/ijms19010140).
30. Lee D, Lee G, Kim B, Jang S, Lee Y, Yu Y, Seo J, Kim S, Lee Y-H, Lee J, Kim S, Koh HJ. Identification of a Spotted Leaf Sheath Gene Involved in Early Senescence and Defense Response in Rice. *Front. Plant Sci.* 2018, 9:1274. doi: [10.3389/fpls.2018.01274](https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01274).
31. Wang B, Zhang Y, Bi Z, Liu Q, Xu T, Yu N, Cao L. Impaired Function of the Calcium-Dependent Protein Kinase, OsCPK12, Leads to Early Senescence in Rice (*Oryza sativa* L.). *Frontiers in plant science*. 2019, 10, 52. doi: [10.3389/fpls.2019.00052](https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00052).
32. Ramkumar MK, Senthil S, Gaikwad K, Pandey R, Chinnusamy V, et al. A Novel Stay-Green Mutant of Rice with Delayed Leaf Senescence and Better Harvest Index Confers Drought Tolerance. *Plants*. 2019; 8(10):375. doi: [10.3390/plants8100375](https://doi.org/10.3390/plants8100375).
33. Shin D, Lee S, Kim TH, et al. Natural variations at the *Stay-Green* gene promoter control lifespan and yield in rice cultivars. *Nature Communication*. 2020; 11, 2819. doi: [10.1038/s41467-020-16573-2](https://doi.org/10.1038/s41467-020-16573-2).
34. Zang Y, Yao Y, Xu Z, Wang B, Mao Y, et al. The Relationships among “STAY-GREEN” Trait, Post-Anthesis Assimilate Remobilization, and Grain Yield in Rice (*Oryza sativa* L.). *International Journal of Molecular Science* 2022, 23, 13668. doi: [10.3390/ijms232213668](https://doi.org/10.3390/ijms232213668).
35. Lim KS. New Parameters for Seedling Vigor Developed via Phenomics. *Appl. Sci.* 2019. 9 (9), 1752. doi: [10.3390/app9091752](https://doi.org/10.3390/app9091752).
36. Shuaib M, Bahadur S, Hussain F. Enumeration of genetic diversity of wild rice through phenotypic trait analysis. *ScienceDirect*. 2020, 21. doi: [10.1016/j.genrep.2020.100797](https://doi.org/10.1016/j.genrep.2020.100797).
37. Makino Y, Hirooka Y, Homma K, Kondo R, Liu TS, Tang L. Effect of flag leaf length of erect panicle rice on the canopy structure and biomass production after heading. *Agronomy & Crop Ecology*. 2022, 25(1). doi: [10.1080/1343943X.2021.1908152](https://doi.org/10.1080/1343943X.2021.1908152).
38. Duan E, Wang Y, Li X, Lin Q, Zhang T, Wang Y. OsSHI1 regulates plant architecture through modulating the transcriptional activity of IPA1 in rice. *Plant Cell*. 2019, 31, 1026-1042. doi: [10.1105/tpc.19.00023](https://doi.org/10.1105/tpc.19.00023).
39. Deveshwar P, Prusty A, Sharma S, Tyagi AK. Phytohormone-mediated molecular mechanisms involving multiple genes and QTL govern grain number in rice. *Front. Genet.* 2020, 11:586462. doi: [10.3389/fgene.2020.586462](https://doi.org/10.3389/fgene.2020.586462).
40. Zhao H, Mo Z, Lin Q, Pan S, Duan M, Tian H, Wang S, Tang X. Relationships between grain yield and agronomic traits of rice in southern China. *Chilean Journal of agricultural research*. 2019. doi: [10.4067/S0718-58392020000100072](https://doi.org/10.4067/S0718-58392020000100072).
41. Gouda G, Gupta M, Donde R, Mohapatra T, Vadde R, Behera L. Marker-assisted selection for grain number and yield-related traits of rice (*Oryza sativa* L.). *Physiol. Mol. Biol. Plants* 2020, 26, 885-898. doi: [10.1007/s12298-020-00773-7](https://doi.org/10.1007/s12298-020-00773-7).
42. Wu X, Liang Y, Gao H, Wang J, Zhao Y, Hua L. Enhancing rice grain production by manipulating the naturally evolved cis-regulatory element-containing inverted repeat sequence of OsREM20. *Mol. Plant.* 2021, 14, 997-1011. doi: [10.1016/j.molp.2021.03.016](https://doi.org/10.1016/j.molp.2021.03.016).
43. Xiao N, Pan C H, Li YH, Wu YY, Cai Y, Lu Y. Genomic insight into balancing high yield, good quality, and blast resistance of japonica rice. *Genome Biol.* 2021, 22:283. doi: [10.1186/s13059-021-02488-8](https://doi.org/10.1186/s13059-021-02488-8).
44. Yin C, Zhu Y, Li X, Lin Y. Molecular and genetic aspects of grain number determination in Rice (*Oryza sativa* L.). *Int. J. Mol. Sci.* 2021, 22, 728. doi: [10.3390/ijms22020728](https://doi.org/10.3390/ijms22020728).
45. Li G, Xu B, Zhang Y, Xu Y, Khan N, Xie J. RGN1 controls grain number and shapes panicle architecture in rice. *Plant Biotechnol. J.* 2022, 20, 158-167. doi: [10.1111/pbi.13702](https://doi.org/10.1111/pbi.13702).
46. Tuhina-Khatun M, Hanafi MM, Rafii M, Wong MY, Salleh FM, Ferdous J. Genetic variation, heritability, and diversity analysis of upland Rice *Oriza sativa* (L.) genotypes based on quantitative traits. *Biomed. Res. Int.* 2015;290861. doi: [10.1155/2015/290861](https://doi.org/10.1155/2015/290861).
47. Roy S, Shil, P. Assessment of genetic heritability in Rice breeding lines based on morphological traits and caryopsis ultrastructure. *Sci. Rep.* 2020, 10:7830. doi: [10.1038/s41598-020-63976-8](https://doi.org/10.1038/s41598-020-63976-8).
48. Li M, Zhu D, Jiang M, Luo D, Jiang X, Ji G, Li L, Zhou W. Dry matter production and panicle characteristics of high yield and good taste *indica* hybrid rice varieties *Journal of Integrative Agriculture*. 2023, 22(5): 1338-1350. doi: [10.1016/j.jia.2022.08.033](https://doi.org/10.1016/j.jia.2022.08.033).
49. Quintero E. Factores limitantes para el crecimiento y productividad del arroz en Entre Ríos, Argentina. [Tesis Doctoral] Universidad da Coruña. 2009. 167p. Available from: <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/5680>.
50. Amegan E, Efisue A, Akoroda M, Shittu A, Tonegnikes F. Genetic Diversity of Korean Rice (*Oryza Sativa* L.) Germplasm for Yield and Yield Related Traits for Adoption in Rice Farming System in Nigeria. *International Journal of Genetics and Genomics*. 2020, 8(1): 19-28. doi: [10.11648/j.ijgg.20200801.13](https://doi.org/10.11648/j.ijgg.20200801.13).
51. Pérez N. Obtención de cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) resistentes a *Pyricularia grisea*Sacc. Con buen comportamiento agronómico. [Tesis Doctoral] Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Mayabeque. 2012. 118p.