




Evaluación de líneas avanzadas de arroz (*Oryza sativa* L.) obtenidas mediante hibridaciones en Los Palacios, Cuba

Evaluation of rice advanced lines (*Oryza sativa* L.) obtained by hybridization in Los Palacios, Cuba

 Sandra H. Díaz Solís*,  Rogelio Morejón Rivera,  Noraida Pérez-León,  Rodolfo Castro Álvarez

Unidad Científico Tecnológica de Base, Los Palacios, Pinar del Río, Cuba. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, carretera San José-Tapaste, km 3½, Gaveta Postal 1, San José de las Lajas, Mayabeque. CP 32700.

RESUMEN: La obtención de nuevos cultivares de arroz más productivos en un contexto cada vez más influenciado por los efectos del cambio climático y las heterogéneas condiciones de cultivo, constituye un desafío importante para los mejoradores. Esta investigación se desarrolló con el objetivo de estudiar el comportamiento de siete líneas avanzadas de arroz en condiciones de aniego y seleccionar las mejores para pasar a una fase superior. Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado con tres repeticiones y los genotipos constituyeron los tratamientos. La información obtenida fue procesada mediante análisis univariados y multivariados. Los resultados mostraron correlaciones fuertes del rendimiento con las panículas por metro cuadrado, masa de 1000 granos y ciclo. El análisis de Componentes Principales explica el 83 % de la varianza total en sus dos primeros ejes y el modelo del análisis de regresión lineal múltiple propuesto manifiesta más del 85 % de la variabilidad en el rendimiento. La combinación de los análisis uni y multivariado facilitó la identificación de las líneas G/L 4, 5, 2 y 3 como las más promisorias para incluirlas en estudios de validación.

Palabras clave: cultivares, correlaciones, fitomejoramiento, rendimiento.

ABSTRACT: The obtaining new rice cultivars more productive in a context increasingly influenced by the effects of climate change and heterogeneous growing conditions, constitutes an important challenge for breeders. This research was developed with the objective of studying the behavior of seven advanced rice lines under flooded conditions and selecting the best ones to move on to a higher phase. A completely randomized experimental design with three repetitions was used and the genotypes constituted the treatments. The obtained information was processed through univariate and multivariate analyses. The results showed strong correlations of yield with panicles per square meter, 1000 grain mass and cycle. The Principal Components Analysis explains 83 % of the total variance in its first two axes and the proposed multiple linear regression analysis model manifests more than 85 % of the yield variability. The combination of univariate and multivariate analyzes facilitated the identification of lines G/L 4, 5, 2, 3 as the most promising to include in validation studies.

Key words: cultivars, correlations, plant breeding, yield performance.

INTRODUCCIÓN

El arroz es uno de los cultivos alimentarios básicos más importante en el mundo, del cual depende más de la mitad de la población mundial como principal fuente diaria de calorías y proteínas (1-3). La producción y la investigación

arroceras se han enfrentado en los últimos años a retos sin precedentes, diferentes institutos y universidades de todo el mundo han emprendido numerosas iniciativas de investigación para hacer frente a la creciente demanda de este cultivo, las que en su mayoría tienen como objetivo abordar uno de los dos retos fundamentales: (1) romper la barrera del rendimiento o (2) mejorar su sostenibilidad (4).

*Autor para correspondencia. shdiaz@inca.edu.cu

Recibido: 05/12/2024

Aceptado: 15/06/2025

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de intereses

Contribución de los autores: **Conceptualización:** Sandra H. Díaz-Solis. **Investigación:** Sandra H. Díaz-Solis, Rogelio Morejón-Rivera.

Metodología: Sandra H. Díaz-Solis, Rodolfo Castro-Álvarez. **Procesamiento de los datos y Escritura del borrador inicial:** Sandra Díaz-Solis, Rogelio Morejón-Rivera. **Escritura y edición final:** Sandra H. Díaz-Solis, Noraida de J. Pérez-León.

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/>



En Cuba el consumo de arroz es alto, siendo uno de los países con mayor per cápita (70 kg por año), sin embargo, la producción nacional de arroz no satisface la demanda interna, debido a los bajos rendimientos del cultivo, por lo que más de la mitad del arroz consumido es importado (5); por esta razón se impone la búsqueda de estrategias que permitan incrementar la producción de arroz, concediendo especial importancia a la aplicación de la ciencia, la técnica y la innovación.

El consolidado Programa Nacional de Mejoramiento Genético de Arroz constituye una fortaleza, este ha generado cultivares de ciclo largo, medio y corto que forman parte de la estructura varietal del país como INCA LP-5, INCA LP-7 y Ginés LP-18, tampoco es necesario importar semillas de calidad para la siembra, pues toda la que se utiliza se produce en el país. El cultivar INCA LP-5 ha permanecido en la producción arrocería cubana durante 20 años; mientras que otros como Anays LP-14 y Roana LP-15, no han sido muy extendidos en empresas estatales, pero sí bien aceptados en el sistema cooperativo campesino (6). A pesar de que se han logrado avances en los últimos años relacionados con la obtención y registro de cultivares de arroz de altos rendimientos para diferentes condiciones, los mejoradores continúan trabajando en la búsqueda de nuevos cultivares que combinen buen rendimiento y tolerancia a factores bióticos y abióticos, haciendo frente a los desafíos del cambio climático.

Durante décadas, las estrategias de mejoramiento han incluido métodos como selección, hibridación, inducción de mutaciones y más recientemente tecnologías de edición y secuenciación del genoma, cultivo de tejidos y metodologías de transformación que facilitan notablemente el mejoramiento del arroz (7). En Cuba, el sustento principal han sido las hibridaciones, mediante las cuales se han obtenido la mayoría de los cultivares comerciales que se siembran actualmente, siendo este un método que permite ampliar las posibilidades combinatorias por la unión entre individuos y genotipos diferentes. Teniendo como punto de partida los antecedentes enunciados, esta investigación tiene como objetivo evaluar el comportamiento de siete líneas avanzadas de arroz obtenidas por hibridaciones, en condiciones de aniego, y seleccionar las de mayores posibilidades para avanzar a una fase superior para su posterior validación y difusión.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se desarrolló, durante el período poco lluvioso (febrero a julio 2022-2023), en la Unidad Científico Tecnológica de Base (UCTB) Los Palacios, perteneciente al Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, en condiciones de aniego y sobre un suelo Hidromórfico Gley Nodular Petroférrico (8). En el mismo se evaluaron siete líneas avanzadas de arroz (Tabla 1) resultantes del programa de mejora de este cultivo que implementa el INCA, las cuales fueron obtenidas por hibridación y empleando el método de selección por Pedigrí.

Tabla 1. Relación de líneas estudiadas y sus progenitores

Tratamiento	Líneas	Progenitores
T1	L 1	IR1529/INCA LP-5
T2	L 2	INCA LP-4/VN 2084
T3	L 3	China/INCA LP-5
T4	L 4	Somewake/8073
T5	L 5	Somewake/J-104
T6	L 6	IR1529/INCA LP-5
T7	L 7	Bolito/INCA LP-4

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con tres repeticiones y las líneas constituyeron los tratamientos. La siembra se realizó en el campo de forma directa a chorrillo, en parcelas de 2 m², a una distancia de 15 cm entre surcos y 50 cm entre parcelas. Las labores culturales se realizaron durante el ciclo del arroz (preparación del terreno, siembra, fertilización, riego y tratamientos fitosanitarios) según lo que establece el Instructivo Técnico del Cultivo del Arroz (9).

Se evaluaron, previo a la cosecha y teniendo en cuenta el Sistema de Evaluaciones Estándar para Arroz del International Rice Research Institute (10), los siguientes caracteres:

- Longitud de la panícula: LP (cm)
- Número de granos llenos por panícula: Gll
- Número de granos vanos por panícula: Gv
- Masa de 1000 granos: Mg (g)
- Número de panículas por m²: Pm²
- Rendimiento: R (t ha⁻¹)
- Ciclo al 50 % de floración: C (días)

Las panículas por metro cuadrado se muestrearon una vez por parcela, en un marco de 0,25 m², los granos llenos y vanos por panícula, así como la masa de 1000 granos se determinaron en 20 panículas centrales tomadas al azar y el rendimiento agrícola, al 14 % de humedad, fue calculado en un área de 1 m². La información disponible fue procesada mediante análisis de varianza de clasificación simple (ANOVA) para efectos fijos y se docimaron las medias por pruebas de rangos múltiples de Duncan. La matriz de datos (genotipo x variable) fue procesada mediante la técnica multivariada de análisis de componentes principales, las correlaciones de Pearson y una regresión múltiple, para evaluar la magnitud y dirección de la relación del rendimiento (variable dependiente) con las variables restantes, utilizando en todos los casos el paquete estadístico IBM SPSS v.22.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se encontraron diferencias significativas entre las líneas, para todos los caracteres, según el análisis de varianza (Tabla 2), lo cual es un reflejo de la variabilidad fenotípica del germoplasma evaluado. Resultados similares fueron obtenidos por otros autores (11,12).

Tabla 2. Resultados del análisis de varianza para cada una de las variables evaluadas

Tratamiento	LP	GII	Gv	Pm ²	Mg	R	C
L 1	23,65 c	129 b	6 c	437 a	29,47 c	6,93 c	98 d
L 2	23,33 c	136 b	8 bc	437 a	30,27 b	7,83 ab	108b
L 3	23,91 c	90 d	6 c	333 c	26,97 d	6,60 cd	91 e
L 4	27,03 b	169 a	18 a	452 a	29,37 c	7,50 b	104 c
L 5	27,12 b	128 b	11 b	448, a	31,77 a	8,17 a	117 a
L 6	22,69 d	92 d	6 c	356 c	27,30 d	6,37 d	96 d
L 7	27,74 a	116 c	21 a	408 b	26,00 e	6,93 c	103 c
MG	25,07*	122,95*	11,00*	410,14*	28,73*	7,19*	102,29*
EE	0,45	5,67	1,36	2,53	0,43	0,15	1,77
CV	8,13	21,14	56,71	11,28	6,79	9,35	7,91

*Medias con letras iguales no difieren entre sí (prueba de rangos múltiples de Duncan, $p \leq 0,05$)

La línea 7 presentó las panículas más largas, seguida de las líneas 4 y 5, mientras que la línea 6 mostró el valor más bajo. La panícula del arroz, es una estructura reproductiva fundamental y representa en las plantas la transición del crecimiento vegetativo al reproductivo, su arquitectura, que comprende componentes como el raquis, las ramas primarias y secundarias, la cantidad de semillas y la longitud de las ramas, influye profundamente en la producción de granos (13). Sin embargo, algunos estudios revelan que hay una asociación negativa entre el tamaño de la panícula y el número de panículas por unidad de área, la cual dificulta el desarrollo de genotipos que tengan muchas macollas y panículas excepcionalmente largas (14), por estas razones en la actualidad constituye objeto de múltiples investigaciones (11,15,16).

En cuanto a los granos llenos y vanos por panículas, la línea 4 manifestó los mayores valores para ambos caracteres, aunque sin diferencias significativas en los vanos con la línea 7. Mientras que las líneas 1, 2, 3 y 6 presentaron la menor cantidad de granos vanos, sin diferencias significativas entre ellas. El número de granos por panícula es el rasgo principal que determina el rendimiento de grano en el arroz y otros rasgos relacionados con las panículas influyen en el número de estos (16). Otros autores consideran que los dos caracteres importantes relacionados con la panícula son el número de granos llenos por panícula y el peso de los mismos, pues existen genotipos con panículas largas, pero con pocos granos. Asimismo, para producir genotipos cuya capacidad de rendimiento sea alta y esté basada en un número considerable de granos por panícula, es necesario que las plantas posean la habilidad para llenar esos granos (14). En cuanto a la esterilidad de las espiguillas, se conoce que es normal cuando está entre el 10 y el 15 %, en este caso los valores para el carácter granos vanos fluctuaron entre 4,6 y 15,5 % en todas las líneas evaluadas.

Las líneas 1, 2, 4 y 5 tuvieron el mayor número de panículas por metro cuadrado, sin diferencias entre ellas y las líneas 3 y 6 exhibieron el menor valor para este carácter. El número de espiguillas por m² puede estar determinado por los genotipos (17), estas representan el tamaño del sumidero y está considerado entre los factores más importantes que determinan el rendimiento de un cultivo de cereal. En el cultivo del arroz el tamaño del sumidero se puede mejorar

aumentando el número de panículas por m² o el número de espiguillas por panícula, o ambos. Generalmente se logra mayor rendimiento aumentando uno de ellos, ya que lograr el aumento de ambos no es fácil debido a un fuerte mecanismo compensatorio entre ellos (18).

La línea 5 tiene los granos más pesados y la 7 muestra el peso más bajo, ambas con diferencias estadísticas con el resto. El peso del grano de arroz varía, aproximadamente, entre 10 y 50 mg por grano y se expresa comúnmente como el peso de 1000 granos al 14 % de humedad, está determinado por el llenado y el volumen de semillas, influenciado por el crecimiento de la cáscara de la espiguilla (19).

Los rendimientos fluctuaron de 6,37 a 8,17 t ha⁻¹, destacando la línea 5 sin diferencias estadísticas con la línea 2. Por el contrario, los valores más discretos se presentaron en 3 y 6. Se considera que el rendimiento promedio del arroz en Cuba es bajo y el manejo del cultivo debe cerrar la brecha para este carácter, si se logran las condiciones para que se exprese su máximo potencial. Al igual que otros cultivos, la productividad del arroz también depende del medio ambiente y los modelos predicen que es probable que el cambio climático modifique numerosos parámetros que podrían dar lugar a condiciones de crecimiento desfavorables. Por lo tanto, para hacer frente a estos desafíos, es esencial desarrollar cultivares con mayor potencial de rendimiento y resistencia a múltiples condiciones ambientales (4).

El ciclo osciló en un rango de 91 a 117 días, los materiales más cortos resultaron ser las líneas 1, 6 y 3 con menos de 100 días, destacándose la 3 que alcanzó el 50 % de floración a los 91, mostrando diferencias con el resto, mientras que la línea 5 tuvo el ciclo más largo. El germoplasma de arroz varía ampliamente en el tiempo total que requiere hasta su maduración, lo que permite a los fitomejoradores obtener cultivares adecuados a las condiciones y prácticas de cultivo de cada localidad, los que se siembran en los trópicos son insensibles al fotoperíodo y su tiempo de maduración fluctúa entre 90 y 160 días. Algunos autores informan que el ciclo de cultivo adecuado para el arroz parece estar entre 110 y 135 días, ya que los cultivares que maduran en este tiempo rinden más, habitualmente, que los que maduran antes o después (en la mayoría de las condiciones agronómicas favorables) (14).

El rendimiento se correlacionó fuerte y positivamente con las panículas por metro cuadrado y la masa de 1000 granos (Tabla 3). Con el propósito de identificar cultivares de mayor potencial productivo en el cultivo del arroz, se han realizado investigaciones acerca de la variabilidad genética y las correlaciones del rendimiento y sus componentes. Varios autores informaron resultados similares, al menos para alguna de estas dos interrelaciones (11,13,18,20-22), aunque también se han informado correlaciones negativas entre el rendimiento y la masa de 1000 granos (18).

El carácter ciclo mostró correlación fuerte y positiva con el rendimiento. Estos resultados coinciden con los obtenidos en estudios del mismo tipo llevados a cabo también en las condiciones edafoclimáticas de Los Palacios (23).

Otras correlaciones fuertes y positivas fueron las de granos vanos con la longitud de la panícula, así como los granos llenos y el ciclo con las panículas por metro cuadrado. En este caso los granos llenos por panículas no se correlacionaron con el rendimiento, sin embargo, otras investigaciones revelan la existencia de correlaciones entre estos caracteres (16,18,23). Las correlaciones entre caracteres no son fijas, estas pueden variar y la diversidad de opiniones en cuanto a las que se establecen entre el rendimiento y sus componentes unido a las evidencias de que las evaluaciones se han realizado en diferentes condiciones, induce a pensar que esto puede deberse al empleo de diferente composición varietal y a los efectos del ambiente.

El conocimiento sobre la contribución relativa de los rasgos individuales al rendimiento puede lograrse mediante estudios de correlación, por lo cual se puede decir que, para aumentar el rendimiento de grano en arroz, realizar la selección directa de genotipos basada en rasgos correlacionados positivamente será más fructífera para planificar cualquier programa de mejoramiento de este cultivo (20).

Los valores propios, porcentajes de contribución y acumulado de las dos primeras componentes del análisis de componentes principales se muestran en la Tabla 4, según el criterio de considerar aceptables aquellos componentes cuyos valores propios expliquen más de 70 % de la varianza total y de esta forma reducir la dimensionalidad del conjunto de datos, al crear componentes principales significativos, que contribuyen a la máxima variabilidad de los genotipos (11). En el campo de la mejora genética no son pocas las investigaciones que se han realizado mediante una variedad de técnicas, que incluyen análisis univariados y multivariados, para evaluar la diversidad genética de los rasgos morfológicos de poblaciones e identificar cultivares de arroz superiores (11,13,16,22-30).

Se aprecia que el primer componente contribuyó con el 62 % de la varianza total explicada y las correlaciones con las variables originales muestran que los caracteres panículas por metro cuadrado, rendimiento, granos llenos por panícula, la masa de 1000 granos y el ciclo están entre los que más aportaron, todos de forma negativa. Mientras que los granos vanos por panícula y la longitud de la panícula aportaron de manera positiva a la segunda componente, explicando el 21 % de la varianza total.

Resultados similares a los del presente ensayo se informan en diversos estudios, realizados en la India, al emplear el análisis de componentes principales, aunque difieren en los porcentajes de las contribuciones de la variación total entre genotipos. Los dos primeros componentes explicaron el 69 % (29), tres compilaron el 72,1 % (16) y cinco el 74,4 % (28). Es importante destacar que el primer componente debe explicar la mayor parte de la varianza total, en este estudio explicó el 62 % y los dos primeros explicaron el 83 %, ambos valores muy superiores a los informados anteriormente.

Tabla 3. Matriz de correlaciones fenotípicas

	GII	Gv	Pm2	Mgr	Rto	C
LP	0,466	0,893**	0,474	0,073	0,451	0,543
GII		0,501	0,887**	0,568	0,672	0,543
Gv			0,411	-0,186	0,257	0,356
Pm2				0,726	0,802*	0,765*
Mgr					0,848*	0,747
Rto						0,922**

*La correlación es significativa al nivel 0.05. **La correlación es significativa al nivel 0.01

Tabla 4. Valores propios, porcentaje de contribución y acumulado de las componentes y las correlaciones con las variables originales

	C1	C2
Valores Propios	4,34	1,46
% contribución	0,62	0,21
% acumulado	0,62	0,83
Longitud de la panícula	-0,53	0,59
Granos llenos	-0,85	0,21
Granos vanos	-0,44	0,78
Panículas/m ²	-0,97	0,09
Masa del grano	-0,79	-0,57
Rendimiento	-0,91	-0,30
Ciclo	-0,87	-0,22

La ubicación gráfica de las líneas y las variables originales sobre el plano conformado por las dos componentes se muestran en la **Figura 1**, las siete líneas evaluadas aparecen distribuidas en cuatro grupos y también se puede apreciar el grado de asociación entre las variables, determinado por la separación angular que forman sus proyecciones, así como las distancias de cada una de estas a partir del origen. La proyección a la izquierda, sobre el primer componente de los caracteres panículas por metro cuadrado, rendimiento, granos llenos por panícula, la masa de 1000 granos y el ciclo, significa que las líneas ubicadas en este extremo (líneas 4 y 5) y que integran el grupo I, presentan los mayores valores para estas variables.

Las medias por caracteres y los cultivares pertenecientes a cada uno de estos grupos se presentan en la **Tabla 5**. El grupo I presentó los mejores resultados para los caracteres rendimiento, masa de 1000 granos, panícula por metro cuadrado y granos llenos por panícula, o sea para el rendimiento y sus componentes, así como, el ciclo más largo. En este sentido se conoce que el rendimiento del grano de arroz está determinado principalmente por tres rasgos morfológicos visibles: peso del grano, número de granos por panícula y número efectivo de panículas, que se ven afectados por una serie de factores fisiológicos "invisibles" que incluyen la eficiencia en el uso de nutrientes y la eficiencia fotosintética, o sea estos no se pueden observar directamente, lo que limita el desarrollo del mejoramiento del

rendimiento del arroz. Por lo que la comprensión molecular subyacente a estos rasgos fisiológicos será de gran ayuda para mejorar aún más este carácter (31).

El grupo II (líneas 1 y 2), siguió en rendimiento, granos llenos por panículas y masa de 1000 granos al grupo I y además se caracterizó por tener los menores valores de granos vanos después del grupo IV.

Por otra parte, el grupo III tiene las panículas más largas, la mayor cantidad de granos vanos y la menor masa de 1000 granos. Asimismo, el grupo IV, que integraron las líneas 3 y 6, presentó el ciclo más corto y el menor número de granos vanos y llenos, las panículas más cortas y los resultados más discretos en cuanto a rendimiento y panículas por metro cuadrado. Sin embargo, a pesar de ser más precoces, estas logran alcanzar valores de rendimiento que duplican la media nacional. Además, estos materiales poseen ventajas ya que su uso permite aprovechar mejor el calendario de siembra, disminuir la demanda de agua, fertilizantes y productos fitosanitarios, así como, mayores posibilidades de escapar de eventos climatológicos adversos.

Los resultados del análisis de regresión lineal múltiple se muestran en la **Tabla 6**, donde la variable dependiente es el rendimiento, mientras que la longitud de la panícula, los granos llenos y vanos por panícula, la masa de 1000 granos, ciclo y la cantidad de panículas por metro cuadrado fueron las variables independientes.

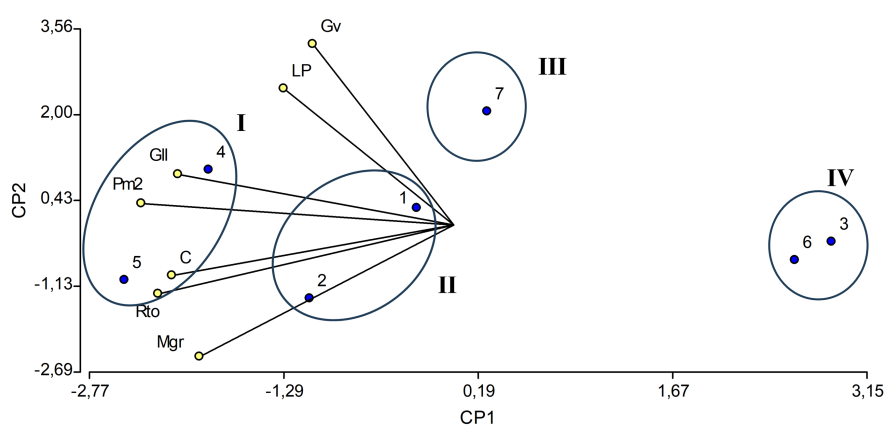


Figura 1. Distribución de genotipos y variables originales según el análisis de componentes principales

Tabla 5. Distribución, según el análisis de componentes principales, de los genotipos y medias por clases

Grupos	LP	GII	Gv	Pm2	Mgr	Rto	C
I	27,08	148,17	14,75	450,16	30,57	7,83	110,33
II	23,49	132,71	7,15	436,95	29,87	7,38	102,67
III	27,74	116,34	21,33	407,68	26,00	6,93	102,67
IV	23,30	91,26	5,92	344,52	27,13	6,48	93,67
Grupos	Genotipos						Efectivos
I	G/L 4, G/L 5						2
II	G/L 1, G/L 2						2
III	G/L 7						1
IV	G/L 3, G/L 6						2

Tabla 6. Resultados del análisis de regresión lineal múltiple

Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico T	P-Valor
Constante	-1,82363	1,67222	-1,09055	0,2939
LP	-0,00407572	0,0750251	-0,0543248	0,9574
GII	0,00526801	0,00572438	0,920276	0,3730
Gv	0,0284118	0,0320889	0,885411	0,3909
Pm2	-0,0205301	0,0146701	-1,39945	0,1834
Mgr	0,221961	0,107452	2,06569	2,06569
C	0,0379665	0,0201533	1,88389	0,0805

ANÁLISIS DE VARIANZA

Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	F	P-Valor
Modelo	7,70671	6	1,28445	13,31	0,0000
Residuo	1,35138	14	0,0965273		
Total	9,0581	20			
R ²	85,0809				

$$Rto = -1,82363 + 0,0379665 * C + 0,00526801 * GII + 0,0284118 * Gv - 0,00407572 * LP + 0,221961 * Mgr - 0,0205301 * Pm2$$

A través de los coeficientes estimados, el modelo propuesto por el análisis de regresión lineal múltiple permite expresar el cambio esperado de la variable dependiente rendimiento para cada unidad de cambio de las variables independientes estudiadas. Como el p-valor del análisis de varianza es inferior a 0,01, existe una relación estadísticamente significativa entre las variables para un nivel de confianza del 99 %. La variable que menos información aporta al modelo es masa de 1000 granos con el p-valor más alto entre las variables independientes, superior a 0,05.

El estadístico R² indica que el modelo explica un 85,08 % de la variabilidad en el rendimiento, determinando que la combinación lineal de las variables independientes, para estudios en condiciones similares, sea un predictor óptimo del rendimiento.

CONCLUSIONES

La combinación de los análisis univariado y multivariado facilitó la identificación de las líneas más promisorias, para las condiciones en que se desarrolló el ensayo, por lo que se sugiere seleccionar a las líneas 4 y 5 que se ubicaron en el grupo I con los mejores resultados, según el análisis de componentes principales, e incluir las líneas 2 y 3 considerando el análisis de varianza ya que también tuvieron excelente comportamiento en respecto al rendimiento y algunos de sus componentes, así como aprovechar el potencial de la línea 3 en cuanto a precocidad. Por lo que se propone pasar estas cuatro líneas a fase de validación.

BIBLIOGRAFÍA

- Liu Y, Zhao S, Gao X, Fu S., Song C, Dou Y, Lin J. Combined laser-induced breakdown spectroscopy and hyperspectral imaging with machine learning for the classification and identification of rice geographical origin. *RSC advances*, (2022). 12(53), 34520-34530.
- Rezvi HUA, Tahjib-UI-Arif M, Azim MA, Tumpa TA, Tipu MMH, Najnine F, Brestič M. Rice and food security: Climate change implications and the future prospects for nutritional security. *Food and Energy Security*, 2023. 12(1), e430. DOI: [10.1002/fes3.430](https://doi.org/10.1002/fes3.430).
- Álvarez R, Reyes E, Alvarado A, Valera E, Linarez Y, Ramos N, Hernández E, De la Cruz R. Caracteres morfológicos asociados a la calidad del grano de la variedad de arroz Venezuela 21. *Hatun Yachay Wasi*, 2023. 2(1), 42 - 53. Available from: <https://doi.org/10.57107/hyw.v2i1.34>
- Bin Rahman AR, Zhang J. Trends in rice research: 2030 and beyond. *Food and Energy Security*. 2023;12(2), e390. doi: [10.1002/fes3.390](https://doi.org/10.1002/fes3.390).
- Moreno R, Biagio R, Giannetti F, Feni A. Assessing the sustainability of rice production in Brazil and Cuba, *Journal of Agriculture and Food Research*. 2021(4), 100152. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100152>.
- Pérez NJ, González MC, Cristo E. Diversidad fenotípica de cultivares cubanos de arroz obtenidos por el INCA en el período 1984-2020. *Cultivos Tropicales*. 2022, 43(4). Available from: <https://ediciones.inca.edu.cu/index.php/ediciones/article/view/1717>.
- Hernández A, Echeverría F, Abdelnour A, Valdez M, Boch J, Gatica A. Rice breeding in the new era: Comparison of useful agronomic traits. *Current Plant Biology*. 2021;27(100211). ISSN 2214-6628. doi: [10.1016/j.cpb.2021.100211](https://doi.org/10.1016/j.cpb.2021.100211).
- 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/>.
- 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/>.
- IRRI. Standard Evaluation System (SES) for Rice. Quinta Edición. Filipinas. 2013. 55p. Available from: https://www.clrii.org/ver2/uploads/SES_5th_edition.pdf.
- Parimala K, Surrender CH, Hari AS, Sudheer S, Narender S. Studies on genetic parameters, correlation and path analysis in rice (*Oryza sativa*)

- L.). J Pharmacogn Phytochem 2020;9(1):414-417. Available from: <https://www.phytojournal.com/archives/2020.v9.i1.10459/studies-on-genetic-parameters-correlation-and-path-analysis-in-rice-oryza-sativa-l>.
12. Fentie DB, Abera BB, Ali HM. Association of Agronomic Traits with Grain Yield of Lowland Rice (*Oryza Sativa* L.) Genotypes. International Journal of Research in Agricultural Sciences. 2021; 8(3). Available from: https://www.researchgate.net/profile/Dejen-Fentie-2/publication/365991076_Association_of_Agronomic_Traits_with_Grain_Yield_of_Lowland_Rice_Oryza_Sativa_L_Genotypes/links/638b54942c563722f23569f3/Association-of-Agronomic-Traits-with-Grain-Yield-of-Lowland-Rice-Oryza-Sativa-L-Genotypes.pdf.
13. Jasmin S Agalya. Assessment of variability parameters and diversity of panicle architectural traits associated with yield in rice (*Oryza sativa* L.). Plant Science Today. 2024,11(1). doi: 10.14719/pst.2658.
14. Degiovanni VM, Martínez CP, Motta OF. Producción eco-eficiente del arroz en América Latina. CIAT. 2010. Available from: <https://cgspace.cgiar.org/server/api/core/bitstreams/104df36d-0c6a-4a75-a449-3842ea064e75/content>.
15. Singh VK, Wahi N, Mishra SK, Singh BD, Singh NK. Studies on Genetic variability, correlation analysis, character association and path analysis of phenotypic characteristics of twelve mega varieties of rice and its near-isogenic lines carrying high grain number per panicle QTL qGN4,1. Current Trends in Biotechnology and Pharmacy. 2022;16(1):35-45. doi: 10.5530/ctbp.2022.1.4.
16. Gunasekaran A, Seshadri G, Ramasamy S, Muthurajan R, Karuppasamy KS. Identification of Newer Stable Genetic Sources for High Grain Number per Panicle and Understanding the Gene Action for Important Panicle Traits in Rice. Plants 2023;12,250. doi: 10.3390/plants12020250.
17. Devkota KP, Devkota M, Moussadek R, Nangia V. Genotype environment agronomic management interaction to enhance wheat yield in the Mediterranean rainfed environments of Morocco: II. Process based modeling. European Journal of Agronomy. 2023;151(126973). ISSN 1161-0301. doi: 10.1016/j.eja.2023.126973.
18. Mai W, Abliz B, Xue X. Increased Number of Spikelets per Panicle Is the Main Factor in Higher Yield of Transplanted vs. Direct-Seeded Rice. Agronomy. 2021;11(2479). doi: 10.3390/agronomy11122479.
19. Gengmi Li, Jiuyou Tang, Jiakui Zheng, Chengcai Chu. Exploration of rice yield potential: Decoding agronomic and physiological traits. The Crop Journal. 2021,9(3):577-589. ISSN 2214-5141. doi: 10.1016/j.cj.2021.03.014.
20. Maysoun M, Khaled FM, Abdelmoaty B. Definition of selection criterion using correlation and path coefficient analysis in rice (*Oryza sativa* L.) genotypes. Bulletin of the National Research Centre. 2020,44:143. doi: 10.1186/s42269-020-00403-y.
21. Science Direct. Effect of Rice Breeding Process on Improvement of Yield and Quality in China. Rice Science. 2020,27(5):363-367. doi: 10.1016/j.rsci.2019.12.009.
22. Nikzad M, Mazloom P, Arabzadehb B, Moghadama MN, Ahmadi T. Application of correlation coefficients and principal components analysis in stability of quantitative and qualitative traits on rice improvement cultivation. Brazilian Journal of Biology. 2024;84(e268981). doi: 10.1590/1519-6984.268981.
23. Díaz SH, Morejón R. Comportamiento y selección de líneas avanzadas de arroz obtenidas por el programa de mejoramiento en Los Palacios. Cultivos Tropicales. 2017;38(1):90-97. Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362017000100010&lng=es&nrm=iso.
24. Morejón R, Díaz SH. Selección de líneas promisorias de arroz (*Oryza sativa* L.) provenientes del programa de mejoramiento genético en Los Palacios. Cultivos Tropicales. 2015;36(4):127-133. Available from: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362015000400017&lng=es&nrm=iso.
25. Liu Q, Yang X, Tzin V, Peng Y, Romeis J, Li Y. Plant breeding involving genetic engineering does not result in unacceptable unintended effects in rice relative to conventional cross-breeding. 2020. doi: 10.1111/tpj.14895.
26. Shrestha J, Subedi S, Kushwaha UKS, Maharjan B. Evaluation of growth and yield traits in rice genotypes using multivariate analysis. Heliyon. 2021;7(e07940). doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e07940.
27. Thakur K, Sarma MK. Genetic diversity and principal component analysis in cultivated rice (*Oryza sativa* L.) varieties of Assam. The Indian Journal of Agricultural Sciences. 2023; 93(2):145-150. doi: 10.56093/ijas.v93i2.132052.
28. Shanmugam R, Ramanathan A, Anandhi P, Sassikumar D. Unravelling genetic diversity of South Indian rice landraces based on yield and its components. Electronic Journal of Plant Breeding. 2023;14(1):160-169. Available from: <https://www.ejplantbreeding.org/index.php/EJPB/article/view/4576>.
29. Chowdhury N, Islam S, Mim MH, Akter S, Naim J, Nowicka B, Hossain MA. Characterization and genetic analysis of the selected rice mutant populations. SABRAO J. Breed, Genet. 2023;55(1): 25-37. doi: 10.54910/sabao2023.55.1.3.
30. Devkota S, Raut SK, Shrestha S, Poudel U. Genetic Variability for Growth and Yield Traits in Rice. Journal of Tikapur Multiple Campus. 2023;6:236-248. ISSN: 2382-5227. Available from: https://www.researchgate.net/profile/Sheela-Devkota/publication/372550694_Journal_of_Tikapur_Multiple_Campus_Published_by_Research_Management_Cell_RMC_Tikapur_Multiple_Campus_Genetic_Variability_for_Growth_and_Yield_Traits_in_Rice/links/64be24b78de7ed28babe82d5/Journal-of-Tikapur-Multiple-Campus-Published-by-Research-Management-Cell-RMC-Tikapur-Multiple-Campus-Genetic-Variability-for-Growth-and-Yield-Traits-in-Rice.pdf.
31. Li G, Tang J, Zheng J, Chu C. Exploration of rice yield potential: Decoding agronomic and physiological traits. The Crop Journal. 2021;9(3):577-589. doi: 10.1016/j.cj.2021.03.014.