

# APLICACIÓN WEB SISDAM Y TÉCNICAS ESTADÍSTICAS MULTIVARIADAS EN LA SELECCIÓN DE LÍNEAS DE ARROZ (*Oryza sativa* L.) EN LOS PALACIOS

## Web SISDAM application and statistical multivariate techniques in selection of rice lines (*Oryza sativa* L.) in Los Palacios

Rogelio Morejón<sup>✉</sup> y Sandra H. Díaz

**ABSTRACT.** With the objective of using the web SISDAM application, in combination with statistical multivariate techniques, to select rice lines with productive high potential in Los Palacios, a study was carried out where the genotypes distributed according to a Modified Augmented Design. Twelve morphoagronomic characters were evaluated during rice crop cycle. SISDAM provided a graphic guide, with a strict control of evaluated variables and its localization in the field, it also reduced the time of capture and processing of the information. The combination of tools used, facilitated the work achieving a results integral analysis and greater efficiency in the selection of 27 promissory lines, which can be included in superior studies of the Plant Breeding Program to complete its characterization.

*Keys words:* computer application, plant breeding, statistical methods, yield

**RESUMEN.** Con el objetivo de utilizar la aplicación web SISDAM, en combinación con técnicas estadísticas multivariadas, para seleccionar líneas de arroz con alto potencial productivo en Los Palacios, se llevó a cabo un estudio donde los genotipos se distribuyeron según un Diseño Aumentado Modificado. Se evaluaron 12 caracteres morfo agronómicos durante el ciclo de desarrollo del cultivo. SISDAM proporcionó una guía gráfica, con un estricto control de las variables evaluadas y su localización en el campo, además redujo el tiempo de captura y procesamiento de la información. La combinación de las herramientas empleadas, facilitó el trabajo logrando un análisis integral de los resultados y mayor eficiencia en la selección de 27 líneas promisorias, las cuales pueden ser incluidas en estudios superiores del Programa de Mejoramiento Genético para completar su caracterización.

*Palabras clave:* aplicaciones del ordenador, mejoramiento genético de plantas, métodos estadísticos, rendimiento

## INTRODUCCIÓN

La adopción de cultivares de altos rendimientos ayuda a mejorar la vida de los agricultores rurales de forma sostenible (1), de ahí la importancia de los programas de mejoramiento genético, que en el arroz son de gran relevancia ya que constituye un grano alimenticio básico para cerca de la mitad de la población del planeta y que su demanda global aumenta por el crecimiento de la población y por los modelos de consumo de diferentes regiones (2, 3).

El desarrollo actual de las investigaciones en la esfera de mejoramiento genético y la premisa de economizar tierra y recursos, plantea la necesidad de valorar diseños experimentales que posibiliten una eficiencia adecuada con un máximo de economía.

El Diseño Aumentado Modificado (DAM) como diseño experimental de campo apropiado para esta etapa, ofrece una forma conveniente de medir la heterogeneidad ambiental y permite el ajuste de las líneas de prueba a través de líneas controles. La combinación de este diseño con Técnicas Multivariadas, analiza adecuadamente las relaciones múltiples que se establecen para llegar a una comprensión de la toma de decisiones más completa y realista en la selección de genotipos procedentes del Programa de Mejoramiento de Arroz (4).

Por otra parte, en la actualidad actúan vertiginosamente sobre nuestra sociedad las Tecnologías de la Información y Comunicación, lo que motiva y acelera los procesos de cambio que modifican radicalmente las formas de trabajo y los procesos de producción, constituyendo un elemento insustituible para el avance social, la generación de riqueza, la lucha contra la pobreza, el hambre y la prevención del cambio climático.

Unidad Científico Tecnológica de Base "Los Palacios"

✉ [rogelio@inca.edu.cu](mailto:rogelio@inca.edu.cu)

En la Unidad Científico Tecnológica de Base “Los Palacios” del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, está en explotación, desde junio de 2014, la aplicación web SISDAM (Sistema automatizado para el procesamiento de datos según un Diseño Aumentado Modificado)<sup>A</sup> para el procesamiento de datos obtenidos a partir de experimentos diseñados según un DAM en investigaciones relacionadas con el mejoramiento genético del cultivo del arroz.

Considerando los antecedentes enunciados, esta investigación tuvo como objetivo utilizar la aplicación web SISDAM, en combinación con las técnicas estadísticas multivariadas de Análisis de Conglomerados y Regresión Lineal Múltiple, para la selección de líneas de arroz con alto potencial productivo en las condiciones de Los Palacios.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrolló en áreas de la Unidad Científico Tecnológica de Base “Los Palacios”, perteneciente al Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, en el período lluvioso. Los genotipos de arroz se sembraron en condiciones de aniego sobre un suelo Hidromórfico Gley Nodular Petroférrico.

La distribución de los materiales se realizó según un DAM, el cual se estructuró mediante un Cuadrado Latino (3x3), con tres líneas controles (A: INCA LP-5; B: INCALP-7 y C: Selección 1), dos sub parcelas controles por cada línea control y 66 líneas de prueba, que incluyen los testigos INCA LP-5, INCA LP-7, selección 1 y 63 materiales promisorios resultantes del programa de mejoramiento genético del arroz, distribuidas al azar en las sub parcelas correspondientes.

La siembra se efectuó de forma directa a chorrillo en parcelas de 2 m<sup>2</sup> y las atenciones culturales de fertilización, riego y tratamientos fitosanitarios se realizaron según las indicaciones establecidas en el Instructivo Técnico del Cultivo del Arroz<sup>B</sup>.

Los siguientes caracteres cuantitativos se evaluaron durante el ciclo de desarrollo del cultivo:

- ◆ Ciclo al 50 % de floración, **C** (días).
- ◆ Altura final de las plantas, **A** (cm).
- ◆ Longitud de la Hoja Bandera, **LHB** (cm).
- ◆ Ancho de la Hoja Bandera, **AHB** (cm).
- ◆ Ancho del grano, **AG** (mm).
- ◆ Longitud de la panícula, **LP** (cm).
- ◆ Panícula por m<sup>2</sup>, **Pm<sup>2</sup>**.
- ◆ Granos llenos por panícula, **GII**.
- ◆ Granos vanos por panícula, **Gv**.
- ◆ Masa de 1000 granos, **Mg** (g).

<sup>A</sup> Cámara, F. A. *Sistema automatizado para el procesamiento y control de información en la aplicación del Diseño Aumentado Modificado en la Unidad Científica Tecnológica de Base «Los Palacios»*. Tesis de Diploma, Universidad de Pinar del Río, 2014, Pinar del Río, Cuba, 81 p.

<sup>B</sup> MINAG. *Instructivo Técnico del Arroz*. Inst. Instituto de Investigaciones del Arroz, 2008, La Habana, Cuba, p. 113.

◆ Rendimiento agrícola, **R** (t ha<sup>-1</sup>).

◆ Número de Hijos, **NH**.

Las metodologías del Sistema de Evaluación Estándar y el Formulario de Descripción Varietal para el cultivo del arroz se emplearon en las evaluaciones realizadas.

Las panículas por metro cuadrado se muestrearon una vez por parcela en un área de 0,25 m<sup>2</sup> y los granos llenos y vanos por panícula junto a la masa de 1000 granos se determinaron en 20 panículas centrales tomadas al azar, asimismo el rendimiento agrícola fue calculado en 1 m<sup>2</sup>. Las demás observaciones se realizaron en 10 plantas seleccionadas al azar en cada parcela.

Los datos obtenidos para cada variable evaluada fueron ajustados por el Método fila-columna, según el DAM utilizado.

La matriz de datos ajustados (66 genotipos x 12 variables) fue procesada mediante la técnica multivariada de Análisis de Conglomerados (empleando la distancia Euclidiana al cuadrado), 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 Minitab versión 15.0.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los números que representan a las 20 líneas con mejor comportamiento para cada variable aparecen en la Tabla I, donde se muestra un ranking de acuerdo al ajuste por variables de los valores observados para cada una de las líneas de prueba, realizado por el método de fila-columna según un diseño aumentado modificado.

Los caracteres ciclo, altura de la planta y granos vanos están ordenados de menor a mayor y el resto de mayor a menor. Este ordenamiento ascendente de estos tres caracteres se fundamenta a partir que, en el caso del ciclo, el desarrollo de germoplasma precoz tiene entre sus ventajas un mejor aprovechamiento del calendario de siembra, emplear menos fertilizantes y menor consumo de agua<sup>C</sup>; asimismo, una menor altura puede sin dudas mejorar la resistencia al acamado y disminuir considerablemente las pérdidas en el rendimiento asociadas a este carácter (5). De igual forma el número de granos vanos por panículas influye negativamente en el rendimiento del arroz y es consecuencia de múltiples causas, en el caso de los cultivares índicos semi enanos se acepta hasta un 15 % de vaneos<sup>D</sup>.

<sup>C</sup> Pérez, N. *Obtención de cultivares de arroz (Oryza sativa L.) resistentes a Pyricularia grisea Sacc. con buen comportamiento agronómico*. Tesis de Doctorado, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2012, Mayabeque, Cuba, 118 p.

<sup>D</sup> Castro, R. *Determinación y solución de las causas que provocan el vaneamiento de los granos de arroz*. Informe final de proyecto territorial de investigación-desarrollo 2000-2003, Inst. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2003, La Habana, Cuba.

**Tabla I. Ranking de las 20 mejores líneas de prueba para los caracteres evaluados según el DAM utilizando el método de ajuste de fila-columna**

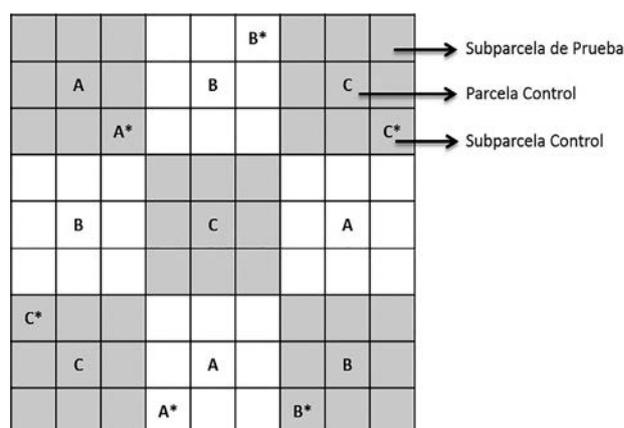
Ranking	C	A	LHB	AHB	AG	LP	Pm <sup>2</sup>	Gll	Gv	Mg	R	NH
1	34	65	63	36	65	44	26	2	33	35	52	48
2	65	60	7	65	1	56	52	3	21	48	23	41
3	62	12	41	55	7	4	3	62	19	63	4	4
4	35	5	53	27	63	63	23	52	65	23	21	7
5	61	10	62	13	59	43	35	23	15	44	62	8
6	5	14	1	12	24	41	48	35	57	20	17	17
7	39	51	52	1	50	20	32	63	54	62	35	28
8	40	66	22	35	61	36	50	50	56	36	3	29
9	44	58	61	16	57	30	21	51	51	1	5	49
10	45	11	58	52	3	45	4	46	43	3	8	43
11	47	44	51	50	53	57	51	8	2	8	24	45
12	48	40	64	6	30	32	57	5	3	17	51	21
13	19	34	24	57	2	5	5	21	38	24	1	5
14	42	15	3	23	66	64	11	36	30	11	46	34
15	43	38	4	53	62	50	8	17	44	45	26	33
16	59	27	30	4	41	42	46	26	20	52	50	47
17	7	33	8	20	46	61	24	1	18	4	63	22
18	11	57	20	56	22	35	1	4	8	21	57	23
19	13	18	54	62	29	24	17	44	63	5	20	27
20	18	36	44	54	27	26	62	24	39	51	11	31

La aplicación web utilizada (SISDAM), proporcionó una guía gráfica (Figura 1), no existente hasta este momento. En ella el investigador puede llevar impreso la ubicación de los genotipos según corresponda (controles, subcontroles y líneas de prueba) para su localización en el campo y ejecutar la siembra del experimento a partir de un DAM, con un estricto control de las variables evaluadas ya que los usuarios pueden establecer un rango válido de valores para cada una de ellas, haciendo más eficiente la captación de datos, proceso que se realizaba de forma manual.

Además, las salidas son exhibidas a los usuarios en dos formatos diferentes, como la aplicación es sobre una plataforma Web, los reportes se muestran en HTML dentro de la propia aplicación y además se permiten exportar a Microsoft Excel y en cada caso se presentan, para cada una de las líneas de prueba, sus valores originales y los ajustados por el modelo. De esta forma la información resultante puede ser procesada en cualquier otro paquete estadístico.

Una vez conocidos los problemas básicos, pueden establecerse los objetivos específicos del mejoramiento genético y en tal sentido este ranking constituye una herramienta útil para el fitomejorador, o sea, según las necesidades y requerimientos de la investigación, seleccionar las que pudieran ser de mayor interés.

Esta metodología permite comparar un número considerable de líneas de prueba, superando las limitaciones de un experimento no replicado, lo que presupone un beneficio económico por la reducción de área, el ahorro de material experimental y control de la heterogeneidad ambiental (4).



**Figura 1. Trazado del Diseño Aumentado Modificado para el Cuadrado Latino de 3x3**

Para efectuar un estudio integral se utilizó el análisis multivariado de Conglomerados con la matriz de datos ajustados previamente por el DAM. En la Tabla II se muestran las correlaciones fenotípicas (correlaciones de Pearson) existentes entre las variables analizadas.

Se correlacionaron fuerte y positivamente con el rendimiento sus componentes (panícula por metro cuadrado, granos llenos por panícula y masa de 1000 granos). Resultados similares han obtenido otros autores (6, 7). Además, el rendimiento tuvo igual comportamiento con la longitud de la panícula, la altura y el ciclo.

Fuerte y positiva, es además, la correlación entre la longitud de la panícula con los granos llenos, la masa de 1000 granos, la longitud de la hoja bandera y la altura de la planta. Igual relación entre la longitud de la panícula y la masa del grano se ha informado en otras investigaciones (8). También hubo coincidencia de correlaciones fuertes y positivas entre los caracteres longitud de panícula y altura de la planta, cuando se realizaron análisis de correlación y conglomerados para evaluar el rendimiento y caracteres relacionados a este en genotipos de arroz (9).

Una relación significativa y directa mostró el ciclo con los granos llenos por panícula y las panículas por metro cuadrado.

El número de hijos, ancho de la hoja bandera y del grano no se correlacionaron con ningún otro carácter. En una investigación sobre caracterización de líneas isogénicas resistentes a la piriculariosis, tampoco el ancho de la hoja bandera se correlacionó con ningún otro carácter<sup>C</sup>. Aunque otros autores han informado correlaciones de esta variable con el rendimiento (10).

Se plantea 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 (11). Varios autores afirman que la masa de 1000 granos es propia de la variedad, aunque destacan cierta variabilidad intracultivar y señalan que un incremento en el rendimiento se puede lograr seleccionando materiales de mayor peso en el grano<sup>E</sup>.

El Análisis de Conglomerados permitió la clasificación de los genotipos, agrupando en una misma clase aquellos con características similares, aprovechando la posibilidad de trabajar con los mejores grupos por variables logrando una selección más eficiente.

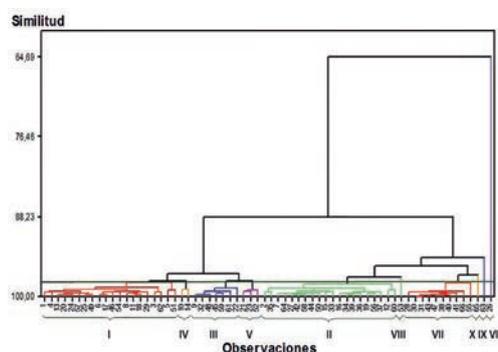
<sup>E</sup> Quintero, C. E. *Factores limitantes para el crecimiento y productividad del arroz en Entre Ríos, Argentina*. Tesis de Doctorado, Universidad de la Coruña, 2009, 167 p.

**Tabla II. Matriz de correlaciones fenotípicas**

	C	A	LHB	AHB	AG	LP	Pm <sup>2</sup>	Gll	Gv	Mg	R
A	0,242 0,050										
LHB	0,113 0,366	0,301 0,014									
AHB	0,176 0,158	-0,059 0,637	0,026 0,833								
AG	0,087 0,487	0,075 0,551	0,429 0,000	0,139 0,266							
LP	-0,053 0,671	0,339 0,005	0,371 0,002	-0,004 0,976	0,066 0,599						
Pm <sup>2</sup>	0,359 0,003	0,303 0,013	-0,069 0,582	-0,165 0,186	-0,008 0,948	-0,065 0,607					
Gll	0,481 0,000	0,253 0,040	0,273 0,026	0,131 0,294	0,171 0,170	0,338 0,006	-0,122 0,331				
Gv	0,067 0,592	0,129 0,301	0,028 0,824	-0,056 0,655	-0,017 0,893	0,036 0,774	0,348 0,004	-0,269 0,029			
Mg	0,136 0,277	0,244 0,048	0,146 0,241	-0,059 0,636	-0,070 0,575	0,470 0,000	0,028 0,825	0,174 0,162	0,113 0,365		
R	0,701 0,000	0,384 0,001	0,212 0,088	0,081 0,516	0,135 0,281	0,380 0,002	0,324 0,008	0,765 0,000	-0,020 0,874	0,492 0,000	
NH	0,126 0,314	0,319 0,009	-0,012 0,923	-0,132 0,292	-0,018 0,885	0,299 0,041	0,043 0,734	0,146 0,243	0,091 0,468	0,122 0,150	0,232 0,070

Contenido de la celda: Correlación de Pearson, Valor P

El dendrograma correspondiente se observa en la Figura 2, en el que se formaron 10 clases. Las medias por variables y las líneas correspondientes a cada clase aparecen en la Tabla III.



**Figura 2. Dendrograma obtenido según el Análisis de Conglomerados**

La clase V, integrada por las líneas 23 y 52 y el testigo INCA LP-7, resultó tener los rendimientos más altos, probablemente influenciados por los altos valores de sus componentes (masa de 1000 granos, granos llenos por panícula y panículas por metro cuadrado), además de presentar el mayor número de hijos fértiles, el ciclo más largo y la mayor altura.

Asimismo, le siguieron con buen comportamiento para el rendimiento y sus componentes las clases VI, IX y I que agrupan a 22 líneas de prueba, las cuales incluyen a los cultivares testigos INCA LP-5 y Selección 1.

El Programa de Mejoramiento en Cuba ha permitido la obtención de un grupo importante de cultivares con alto potencial de rendimiento que han beneficiado el germoplasma con que cuenta el país; no obstante los avances logrados, hay que continuar trabajando en este sentido para enriquecer aún más la misma con cultivares superiores que posean diversas fuentes genéticas y capaces de adaptarse a las heterogéneas condiciones de cultivo. Los valores de rendimiento en estas líneas se asemejan a los obtenidos en ciclos más recientes en Venezuela, los cuales son considerados altos en relación a los registros promedios de otros países de Latinoamérica como Panamá y Bolivia (12).

**Tabla III. Distribución de genotipos en efectivos y medias por clases, según el Análisis de Conglomerados**

Clases	C	A	LH	AH	AG	LP	Pm <sup>2</sup>	Gll	Gv	Mg	R	NH	Efectivos
I	121,7	96,0	33,0	1,02	1,88	22,3	327,9	83,6	18,5	28,2	5,91	10,1	20
II	117,6	92,5	31,4	1,04	1,76	23,0	275,2	86,3	15,4	28,0	5,41	9,8	20
III	114,4	102,1	33,7	0,94	2,02	22,4	368,0	68,4	24,9	27,3	4,92	10,0	7
IV	119,5	78,1	24,5	0,88	1,34	19,6	314,0	56,0	30,0	26,5	3,95	9,0	2
V	130,3	109,0	32,6	1,05	1,88	22,4	376,7	99,0	15,0	30,0	7,45	10,4	3
VI	123,0	105,8	27,2	0,92	1,66	23,5	344,0	85,0	21,0	27,0	6,50	8,1	1
VII	114,4	94,3	33,0	0,98	1,83	23,6	221,8	86,8	15,0	28,6	5,21	10,3	10
VIII	121,0	101,6	41,4	1,06	2,28	23,4	250,0	60,0	32,0	26,0	4,00	10,2	1
IX	120,0	102,1	87,7	1,00	2,74	25,5	250,0	100,0	13,0	31,0	6,18	8,7	1
X	111,0	64,1	23,3	1,46	3,00	13,1	220,0	64,0	27,0	16,0	2,21	6,0	1
Clases	Líneas												
I	1, 3, 4, 5 (INCA LP-5), 6, 8, 11, 13, 17, 18, 20, 24, 25, 29, 46 (Selección 1), 49, 51, 54, 57, 62												
II	2, 7, 12, 15, 16, 19, 27, 33, 34, 35, 36, 37, 39, 42, 44, 50, 56, 58, 60, 64												
III	9, 22, 32, 45, 48, 59, 61												
IV	10, 14												
V	21 (INCA LP-7), 23, 52												
VI	26												
VII	28, 30, 31, 38, 40, 41, 43, 47, 55, 66												
VIII	53												
IX	63												
X	65												

Además, en este caso es importante acotar que el ensayo se realizó en el periodo lluvioso donde se obtienen rendimientos más bajos en comparación al periodo poco lluvioso. Por lo que algunos autores destacan la pertinencia de estudios relacionados con la evaluación de cultivares y épocas de siembra (13).

Los peores rendimientos fueron característicos de las diez líneas que integraron las clases X, IV y VIII, las cuales además presentaron los menores valores para los caracteres granos llenos por panícula, masa de 1000 granos y longitud de la panícula, y fueron las de mayor cantidad de granos vanos por panícula.

La Tabla IV muestra las 20 líneas que fueron seleccionadas por el DAM y las 25 incluidas en las tres clases del análisis de conglomerados con valores promedios de rendimiento más elevados. Las líneas 35 y 50 en el DAM no aparecen entre las seleccionadas por el análisis de conglomerados y las líneas 6, 13, 18, 25, 29, 49 y 54 se encuentran entre las clases del conglomerado que no fueron seleccionadas por el ajuste de fila columna en el DAM. De esta forma, a partir de un análisis integral, combinando los resultados del DAM y el análisis de conglomerados, se seleccionaron las 27 líneas de mejor comportamiento (1, 3, 4, 6, 8, 11, 13, 17, 18, 20, 23, 24, 25, 26, 29, 35, 49, 50, 51, 52, 54, 57, 62, 63) incluyendo los cultivares comerciales INCA LP-5, INCA LP-7 y Selección 1, que se utilizaron como testigos.

**Tabla IV. Líneas de prueba seleccionadas por el DAM y el Análisis de Conglomerados para el carácter rendimiento**

Diseño Aumentado Modificado	1, 3, 4, INCA LP-5, 8, 11, 17, 20, INCA LP-7, 23, 24, 26, 35, Selección 1, 50, 51, 52, 57, 62, 63
Análisis de Conglomerados	1, 3, 4, INCA LP-5, 6, 8, 11, 13, 17, 18, 20, INCA LP-7, 23, 24, 25, 26, 29, Selección 1, 49, 51, 52, 54, 57, 62, 63

En la Tabla V se muestran los resultados del análisis de regresión lineal múltiple, donde el rendimiento es la variable dependiente y el ciclo, la altura de la planta, los granos llenos por panícula, la longitud de la panícula, la masa de 1000 granos y la cantidad de panículas por metro cuadrado fueron las variables independientes, por ser estas las que mayor correlación mostraron con el carácter dependiente. La ecuación de predicción del modelo es:

$$R = -9,94 + 0,0478 C - 0,00272 A + 0,0317 LP + 0,00603 Pm^2 + 0,0491 GII + 0,122 Mg.$$

**Tabla V. Resultados del Análisis de Regresión Lineal Múltiple donde el rendimiento es la variable dependiente**

Parámetro	Estimación	Error Estándar	Estadístico T	P-Valor	
Constante	-9,9354	0,9539	-10,42	0,000	
C	0,047817	0,008965	5,33	0,000	
A	-0,002721	0,004320	-0,63	0,531	
LP	0,03170	0,02079	1,52	0,133	
Pm <sup>2</sup>	0,0060317	0,0008949	6,74	0,000	
GII	0,049130	0,004164	11,80	0,000	
Mg	0,12199	0,01666	7,32	0,000	
Análisis de Varianza					
Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado medio	F	P-Valor
Modelo	66,574	6	11,096	111,96	0,0000
Residuo	5,847	59	0,099		
Total	72,421	65			
R <sup>2</sup>	91,9 %				

El modelo propuesto por el análisis de regresión lineal múltiple permite, a través de los coeficientes estimados, expresar el cambio esperado de la variable dependiente rendimiento para cada unidad de cambio de las variables independientes estudiadas. Dado que el p-valor en el 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 altura de la planta presenta un p-valor de 0,531, el más alto en las variables independientes, siendo así la que menos información aporta al modelo.

El estadístico R<sup>2</sup> indica que el modelo explica un 91,9 % 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. En diferentes investigaciones otros autores han utilizado este análisis con buenos resultados (14, 15).

## CONCLUSIONES

- ♦ De manera general, la aplicación web, facilita el uso eficiente del Diseño Aumentado Modificado contribuyendo al desarrollo de los Programas de Mejoramiento Genético de cultivares en el país, el cual hasta este momento adolecía de una herramienta para el procesamiento de datos de este diseño. El SISDAM potencia las ventajas que ofrece el DAM en cuanto a la comparación de un número considerable de líneas de prueba, superando las limitaciones de un experimento no replicado, brindando un beneficio económico por la reducción de área, el ahorro de material experimental y control de la heterogeneidad ambiental.

- ◆ Aunque la selección, según un DAM, se realiza por cada variable de manera independiente, la combinación de la aplicación SISDAM y las técnicas estadísticas empleadas facilita a los fitomejoradores el trabajo ya que se logra un análisis integral de los resultados y mayor eficiencia en la selección de líneas promisorias, las cuales pueden ser incluidas en estudios superiores del Programa de Mejoramiento Genético para completar su caracterización.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Ghimire, R.; Wen-chi, H. y Shrestha, R. B. "Factors Affecting Adoption of Improved Rice Varieties among Rural Farm Households in Central Nepal". *Rice Science*, vol. 22, no. 1, 2015, pp. 35-43, ISSN 1672-6308, DOI 10.1016/j.rsci.2015.05.006.
2. Subathra, A.; Krishnasamy, V.; Raveendran, M.; Senthil, N. y Manonmani, S. "Molecular and genetic dissection of peduncle elongation in rice". *Electronic Journal of Plant Breeding*, vol. 2, no. 1, 2011, pp. 1-7, ISSN 0975-928X.
3. Baderinwa, A. A. O. "Potentials of agrobotanical characters of some local rice germplasm (*Oryza sativa* Linn) for improved production in Nigeria". *Journal of Science and Science Education*, vol. 3, no. 1, 2012, pp. 111-117, ISSN 0795-1353.
4. Morejón, R. y Díaz, S. H. "Combinación de las técnicas estadísticas multivariadas y el diseño aumentado modificado (DAM) en la selección de líneas de prueba en el programa de mejoramiento genético del arroz (*Oryza sativa* L.)". *Cultivos Tropicales*, vol. 34, no. 3, 2013, pp. 65-70, ISSN 0258-5936.
5. Sarawgi, A. K.; Subba Rao, L. V.; Parikh, M.; Sharma, B. y Ojha, G. C. "Assessment of Variability of Rice (*Oryza sativa* L.) Germplasm using Agro-morphological Characterization". *Journal of Rice Research*, vol. 6, no. 1, 2013, p. 14, ISSN 2375-4338.
6. Castillo, A.; Rodríguez, S.; Castillo, A. M. y Peña, R. "Rendimiento y sus componentes en la variedad de arroz (*Oryza sativa* L.) IIA Cuba-20 con relación a la fertilización nitrogenada y densidad de población en primavera". *Centro Agrícola*, vol. 38, no. 3, 2011, pp. 17-22, ISSN 0253-5785.
7. Díaz, S. S. H.; Morejón, R. R.; David, D. L. y Castro, Á. R. "Evaluación morfoagronómica de cultivares tradicionales de arroz (*Oryza sativa* L.) colectados en fincas de productores de la provincia Pinar del Río". *Cultivos Tropicales*, vol. 36, no. 2, 2015, pp. 131-141, ISSN 0258-5936.
8. Amela, F.; Vallejo, F. A.; Martínez, C. y Borrero, J. "Parámetros genéticos de la longitud de panícula en arroz". *Acta Agronómica*, vol. 57, no. 4, 2008, pp. 233-239, ISSN 0120-2812.
9. Rashid, K.; Kahliq, I.; Farooq, M. O. Z. y Ahsan, M. "Correlation and Cluster Analysis of some Yield and Yield Related Traits in Rice (*Oryza Sativa*)". *Journal of Recent Advances in Agriculture*, vol. 2, no. 8, 2014, pp. 290-295, ISSN 2322-1534.
10. Zhang, B.; Ye, W.; Ren, D.; Tian, P.; Peng, Y.; Gao, Y.; Ruan, B.; Wang, L.; Zhang, G.; Guo, L.; Qian, Q. y Gao, Z. "Genetic analysis of flag leaf size and candidate genes determination of a major QTL for flag leaf width in rice". *Rice*, vol. 8, no. 2, 2015, ISSN 1939-8433, DOI 10.1186/s12284-014-0039-9.
11. Degiovanni, V.; Martínez, C. P. y Motta, F. *Producción eco-eficiente del arroz en América Latina*. Ed. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), 2010, Cali, Colombia, 478 p., ISBN 978-958-694-103-7.
12. Acevedo, B. M. A.; Salazar, M.; Castrillo, F. W. A.; Torres, A. O. J.; Reyes, R. E.; Navas, M. I.; Moreno, O. y Torres, T. E. A. "Efectos de la densidad de siembra y fertilización nitrogenada sobre el rendimiento de granos de arroz del cultivar Centauro en Venezuela". *Agronomía Tropical*, vol. 61, no. 1, 2011, pp. 15-26, ISSN 0002-192X.
13. Sekiya, N.; Shayo, A. C.; Jacob, M. K.; Oizumi, N.; Tomitaka, M. y Araki, H. "Performance of Four Rice Cultivars Transplanted Monthly over Full Year under Irrigated Conditions in Tanzania". *Rice Science*, vol. 22, no. 2, 2015, pp. 71-80, ISSN 1672-6308, DOI 10.1016/j.rsci.2015.05.008.
14. Ramezani, A. y Torabi, M. "Stability analysis of grain yield and its components of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes". *Electronic Journal of Plant Breeding*, vol. 2, no. 4, 2011, pp. 484-487, ISSN 0975-928X.
15. Díaz, S. S. H.; Cristo, V. E.; Morejón, R. R.; Castro, Á. R.; Shiraiishi, M.; Dhanapala, M. P. y Keisuke, A. "Análisis de la estructura productiva y comportamiento del rendimiento de cuatro variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) de diferentes orígenes en la prefectura de Ibaraki, Japón". *Cultivos Tropicales*, vol. 34, no. 1, 2013, pp. 42-50, ISSN 0258-5936.

Recibido: 27 de noviembre de 2015

Aceptado: 27 de abril de 2016