



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

# **EVALUACION DE CUATRO PROBADORES PARA LA ESTIMACIÓN EN GENERACIONES S1 Y S2 DE LA APTITUD A LA COMBINACION EN UN PROGRAMA DE CREACION DE HIBRIDOS DE ARROZ**

**Joanna Paola Dosman Galvez**

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agropecuarias – Coordinación General de Posgrados

Palmira, Colombia

2016

# **EVALUACION DE CUATRO PROBADORES PARA LA ESTIMACION EN GENERACIONES S1 Y S2 DE LA APTITUD A LA COMBINACION EN UN PROGRAMA DE CREACION DE HIBRIDOS DE ARROZ**

**Joanna Paola Dosman Galvez**

Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de::

**Doctor en Ciencias Agrarias**

Director:

Ph.D., James E Taillebois

Codirector (a):

Ph.D., Mario Augusto García Dávila

Línea de Investigación:

Mejoramiento Genético Vegetal

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agropecuarias (Doctorado en Ciencias Agrarias)

Palmira, Colombia

2016

## *Dedicatoria*

*A Dios, a los ángeles del cielo y de la tierra que siempre me acompañan, a mis hijos Juan Pablo y Nicolas mi razón, mi SM Jeff, mis padres, mi hermano FD y hermana de alma KT, que han apoyado cada proyecto, aún a costa de mi continua ausencia, a mí mejor amigo, concejero y guía “Don Gato”, a mis mentores James Taillebois y Michel Vales, y a todos los que conmigo han trabajado durante todos estos años, porque ellos han hecho posible el desarrollo de este trabajo y miles más...*

# Agradecimientos

Cultivos y Semillas El Aceituno Ltda por proveer el tiempo, locaciones, elementos, material genético y personal para la realización de este proyecto.

Centro de investigación para la investigación agronómica y el desarrollo – CIRAD. Por todos los recursos humanos de apoyo en biometría y genética.

Dr. Mario García Dávila, profesor de postgrados en la Universidad Nacional de Colombia por su apoyo e interés constante en la evolución y culminación de este trabajo.

A la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira por facilitar los procesos durante la realización de este trabajo.

Dr. Juan Fernando Roa, Abogado, especialista en derechos de obtentor y patentes por la guía y apoyo para mantener los acuerdos de confidencialidad y puntos de innovación de este trabajo.

Angelica Roperro Parra, Msc. En programas de gestión. Jefe del laboratorio de Calidad Molinera y Culinaria de Cultivos y Semillas El Aceituno Ltda., por su apoyo en los procesos de evaluación de calidad.

Eliana Pava, Microbióloga. Jefe del laboratorio de diagnóstico y caracterización molecular de Cultivos y Semillas El Aceituno Ltda., por su colaboración en los procesos de evaluación de enfermedades comunes en arroz.

Cesar Gonzalez. Ingeniero Agronomo. Jefe de pruebas externas de Cultivos y Semillas El Aceituno Ltda, por su gestión y apoyo para la realización de las pruebas en las diferentes localidades.

Javier Rojas, Jefe de Campo de Cultivos y Semillas El Aceituno Ltda, por su apoyo y orientación del equipo de trabajo en campo.

Y a todo el equipo de investigación, desarrollo e innovación de Cultivos y Semillas El Aceituno Ltda.

## Resumen

La creación de híbridos en arroz tiene como limitante el uso de líneas parentales extraídas de programas convencionales, y no de un proceso de mejoramiento específico de estas líneas para la creación de híbridos. Basados en procesos de selección recurrente y con el objetivo de saber si se puede realizar evaluaciones tempranas de la aptitud a la combinación, cual es la mejor generación para evaluarla y comparar los probadores disponibles. Se realizaron cruces de prueba utilizando cuatro probadores: tres líneas (B5, B1 y B21), una población mantenedora (2P4), y como testigos comerciales; dos variedades (I461 y I335), dos híbridos (1H61 y 1H109), y tres híbridos experimentales. Los cruces de prueba fueron conducidos bajo un diseño de alfa lattice con dos repeticiones, ocho localidades para los cruces de prueba con  $S_1$  y tres con  $S_2$ . El trabajo fue desarrollado en tierras y laboratorios de la empresa Cultivos y Semillas El Aceituno, que posee una extensión de 6500 ha, lo que permitió tener diferentes tipos de suelo, condiciones ambientales y ciclos de siembra. Las variables evaluadas fueron días a floración (DAF), rendimiento en t/ha (THA), índice de pilada (IP), índice de centro blanco (CB), longitud de grano, porcentaje de pérdida de plantas (PERD) y una variable constituida por la relación índice de pilada/ciclo (PPDI). La aptitud a la combinación general (ACG) preponderó sobre la específica (ACE) en la mayoría de los caracteres evaluados, a excepción de rendimiento y centro blanco que mostraron efectos debidos a ACE. Se pudo concluir que es más eficiente trabajar con líneas en generación  $S_2$ , con un solo probador (en este caso la línea B21), desde la perspectiva de tener híbridos comerciales en donde se tenga ganancia genética y económica. En términos del uso de esquemas de selección recurrente con poblaciones recíprocas, la eficiencia del programa híbrido puede ser sostenida mejorando la población R, en función de las líneas A disponibles comercialmente.

**Palabras clave:** Arroz, híbridos, selección recurrente recíproca, aptitud a la combinación, cruzamiento de prueba, poblaciones restauradoras, poblaciones mantenedoras.

## Abstract

The creation of hybrids in rice limits the use of parental lines drawn from conventional programs, and not from a specific breeding process of these lines for the creation of hybrids. Based on recurring selection processes and with the aim of knowing if it can carry out early evaluations of the suitability to the combination, which is the best generation for the evaluation and the testers available. Trial crosses were performed using four testers: three lines (B5, B1 and B21), one maintainer population (2P4), and as commercial witnesses; Two varied (I461 and I335), two hybrids (1H61 and 1H109), and three experimental hybrids. Testcrosses were conducted under an alpha lattice design with two replicates, eight locations for S1 and three S2 test crossings. The work was developed in the lands and laboratories of the company Cultivos y Semillas El Aceituno, which has the extension of 6500 ha, which allowed to have different types of soil, environmental conditions and sowing cycles. The variables evaluated were days at flowering (DAF), yield in ton per hectare (THA), whole grain percentage (IP), chalky index (CB), grain length, percentage of plant loss. (PPDI). The general combining ability (ACG) on the specific (ACE) in most characters evaluated, except yield and chalky index that showed effects due to ACE. Can also be concluded that it is more efficient to work with the lines in the S2 generation, with a single tester (in this case line B21), from the perspective of commercial hybrids where there is genetic and economic gain. In terms of the use of recurrent selection schemes with reciprocal populations, the efficiency of the program can be sustained by improving the R population, depending on the commercially available A-lines.

**Key words:** Rice, hybrids, reciprocal recurrent selection, fitness to combination, test crossing, restorative populations, maintainer populations

# Contenido

<b>Introducción .....</b>	<b>16</b>
<b>Objetivo general .....</b>	<b>18</b>
<b>Objetivos específicos.....</b>	<b>18</b>
<b>1. Generalidades sobre el Arroz.....</b>	<b>19</b>
<b>1.1. Botánica, taxonomía y orígenes.....</b>	<b>19</b>
<b>1.2. Economía.....</b>	<b>21</b>
<b>2. Híbridos en arroz.....</b>	<b>23</b>
<b>2.1. Historia y Desarrollo. ....</b>	<b>23</b>
<b>2.2. Aspectos técnicos de los híbridos de arroz.....</b>	<b>24</b>
2.2.1. Heterosis en arroz. ....	24
2.2.2. Producción de semilla híbrida.....	25
2.2.3. Técnicas de creación y selección en híbridos.....	29
<b>2.3. Evaluación de la aptitud a la combinación.....</b>	<b>30</b>
<b>3. Materiales y métodos .....</b>	<b>33</b>
<b>3.1. Localización.....</b>	<b>33</b>
<b>3.2. Material vegetal .....</b>	<b>33</b>
3.2.1. Líneas S1 y S2 de la población restauradora P14, usadas para las pruebas de aptitud a la combinación.....	33
3.2.2. Población mantenedora 2P4, utilizada como probadora. ....	35
3.2.3. Líneas probadoras. introducidas a Colombia a través del convenio ACEITUNO/CIRAD: .....	35
3.2.4. Testigos comerciales para las evaluaciones de cruces de prueba. ....	36
3.2.5. Obtención de líneas S <sub>1</sub> y S <sub>2</sub> evaluadas.....	36
3.2.6. Producción de semillas para los cruces de prueba. ....	36
<b>3.3. Evaluación de los cruces de prueba.....</b>	<b>37</b>
3.3.1. Cruces de prueba (CP) con líneas S <sub>1</sub> .....	37
3.3.2. Cruces de prueba (CP) con líneas S <sub>2</sub> . ....	39
<b>3.4. Variables Evaluadas.....</b>	<b>40</b>
3.4.1. DAF-Días a Floración. ....	40
3.4.2. THA-Rendimiento de arroz expresado en t/ha. ....	40
3.4.3. IP-Índice de pilada.....	40
3.4.4. CB-Índice de centro blanco. ....	40

3.4.5.	. LG-Longitud de grano.....	41
3.4.6.	Variable utilizada como índice de selección para valorización del sistema híbrido.....	41
<b>3.5.</b>	<b>Diseño experimental y análisis de datos.....</b>	<b>41</b>
<b>4.</b>	<b>Resultados y discusión .....</b>	<b>44</b>
<b>4.1.</b>	<b>Control de segregaciones del gen ms.....</b>	<b>44</b>
4.1.1.	En generación S <sub>1</sub> .....	44
4.1.2.	En generación S <sub>2</sub> .....	45
<b>4.2.</b>	<b>Producción de semillas .....</b>	<b>46</b>
4.2.1.	En generación S <sub>1</sub> .....	46
4.2.2.	En generación S <sub>2</sub> .....	47
4.2.3.	Relación entre S <sub>1</sub> y S <sub>2</sub> .....	49
<b>4.3.</b>	<b>Análisis de los cruces de prueba (CP). .....</b>	<b>51</b>
4.3.1.	Cruces de prueba en generación S <sub>1</sub> .....	51
4.3.2.	Cruces de prueba en generación S <sub>2</sub> .....	76
4.3.3.	Relaciones entre resultados de cruces de prueba con líneas en generación S <sub>1</sub> y S <sub>2</sub> . 98	
<b>5.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones para los esquemas de selección.....</b>	<b>107</b>
<b>5.1.</b>	<b>Generación para realización de cruces de prueba S<sub>1</sub> o S<sub>2</sub>. .....</b>	<b>107</b>
<b>5.2.</b>	<b>Tipo de probadores .....</b>	<b>109</b>
<b>5.3.</b>	<b>Cuántos probadores utilizar.....</b>	<b>110</b>
<b>5.4.</b>	<b>Más repeticiones o más tratamientos. ....</b>	<b>111</b>
	<b>Bibliografía .....</b>	<b>113</b>

## Lista de figuras

<i>Figura 1.</i> Esquema de producción de semilla para cada línea parental (A-androesteril, B-mantenedora y R-restauradora), y el híbrido. Tomado de (Taillebois, 2010) .....	28
<i>Figura 2.</i> Diagrama general para la producción de cruces de prueba en generaciones $S_1$ y $S_2$ .....	37
<i>Figura 3.</i> Distribución del número de plantas androesteriles en generación $S_1$ .....	44
<i>Figura 4.</i> Distribución del número de plantas androesteriles en generación $S_2$ .....	45
<i>Figura 5.</i> Correlaciones entre probadores para peso promedio en gramos de plantas androesteriles en $S_1$ .....	47
<i>Figura 6.</i> Distribucion de los datos de peso en gramos de plantas androesteriles durante la procccion de semillas para los cruces de prueba en generación $S_2$ . Cada probador (B5, B1, P=2P4, B2=B21) fue correlacionado con relación al peso de las plantas androestériles (msms) y su distancia a la barrera natural.....	48
<i>Figura 7.</i> Correlaciones entre probadores que no presentaron efecto de la barrera natural para peso promedio en gramos de plantas androesteriles en líneas $S_2$ .....	49
<i>Figura 8.</i> Correlación entre los datos de producción de semilla en plantas androesteriles de líneas $S_1$ y $S_2$ .....	50
<i>Figura 9.</i> Distribución en porcentaje de los cruces de prueba en generación $S_1$ para DAF. Los testigos están representados por líneas verticales las variedades comerciales (I461 y I335), y el testigo híbrido 1H61. Las barras horizontales representan el tamaño de grandeza de las desviaciones estándar.....	52
<i>Figura 10.</i> Correlaciones entre BLUPs para DAF, de cruces de prueba con líneas en generación $S_1$ con cuatro probadores.....	53
<i>Figura 11.</i> BLUP para aptitud general y específica a la combinación de DAF, de cruces de prueba con líneas en generación $S_1$ .....	54
<i>Figura 12.</i> Distribución en porcentaje de los cruces de prueba con líneas en generación $S_1$ para THA (t/ha). Los testigos están representados por líneas verticales las variedades comerciales (I461 y I335), y el testigo híbrido 1H61. Las barras horizontales representan el tamaño de grandeza de las desviaciones estándar. ....	56
<i>Figura 13.</i> Correlaciones entre BLUP para THA (t/ha), de cruces de prueba con líneas en generación $S_1$ con los cuatro probadores .....	58
<i>Figura 14.</i> BLUP para aptitud general y específica a la combinación de THA (t/ha), de cruces de prueba con líneas en generación $S_1$ .....	59

<i>Figura 15.</i> Distribución en porcentaje de los cruces de prueba con líneas en generación $S_1$ para porcentaje de IP. ....	61
<i>Figura 16.</i> Correlaciones entre BLUP para % IP, de cruces de prueba con líneas en generación $S_1$ con cuatro probadores. ....	62
<i>Figura 17.</i> BLUP para aptitud general y específica a la combinación de % IP, en cruces de prueba con líneas en generación $S_1$ . ....	63
<i>Figura 18.</i> Asociación de porcentaje de pérdida de plantas en las parcelas y niveles de CB para cruces de prueba con líneas en generación $S_1$ . ....	64
<i>Figura 19.</i> Distribución en porcentaje de los cruces de prueba con líneas en generación $S_1$ para índice de CB. ....	66
<i>Figura 20.</i> Correlaciones entre BLUP para índice de CB, en cruces de prueba con líneas en generación $S_1$ con cuatro probadores. ....	67
<i>Figura 21.</i> BLUP para aptitud general y específica a la combinación de índice de CB, en cruces de prueba con líneas en generación $S_1$ . ....	68
<i>Figura 22.</i> Distribución en porcentaje de los cruces de prueba con líneas en generación $S_1$ para LG (mm). ....	70
<i>Figura 23.</i> Correlaciones entre BLUP para LG (mm), de cruces de prueba con líneas en generación $S_1$ con cuatro probadores. ....	71
<i>Figura 24.</i> BLUP para aptitud general y específica a la combinación de LG (mm), de cruces de prueba con líneas en generación $S_1$ . ....	72
<i>Figura 25.</i> Distribución en porcentaje, de los cruces de prueba con líneas en generación $S_1$ para PPDÍ (kg/ha/día). ....	74
<i>Figura 26.</i> Correlaciones entre BLUP para PPDÍ (kg/ha/día), de cruces de prueba con líneas en generación $S_1$ con cuatro probadores. ....	75
<i>Figura 27.</i> BLUP para aptitud general y específica a la combinación de PPDÍ (kg/ha/día), de cruces de prueba con líneas en generación $S_1$ . ....	76
<i>Figura 28.</i> Distribución en porcentaje de los cruces de prueba con líneas en generación $S_2$ para DAF. ....	77
<i>Figura 29.</i> Correlaciones entre BLUP para DAF, de cruces de prueba de líneas en generación $S_2$ con cuatro probadores. ....	78
<i>Figura 30.</i> BLUP para aptitud general y específica a la combinación de DAF, en cruces de prueba con líneas en generación $S_2$ . ....	79
<i>Figura 31.</i> Distribución en porcentaje de los cruces de prueba con líneas en generación $S_2$ para THA (t/ha). ....	81
<i>Figura 32.</i> Correlaciones entre BLUP para THA (t/ha), de cruces de prueba con líneas en generación $S_2$ con cuatro probadores. ....	82
<i>Figura 33.</i> BLUP para aptitud general y específica a la combinación de THA (t/ha), de cruces de prueba con líneas en generación $S_2$ . ....	83
<i>Figura 34.</i> Distribución en porcentaje de los cruces de prueba en generación $S_2$ para IP. ....	85
<i>Figura 35.</i> Correlaciones entre BLUP para IP, de cruces de prueba con líneas en generación $S_2$ con cuatro probadores. ....	86
<i>Figura 36.</i> BLUP para aptitud general y específica a la combinación de %IP, para cruces de prueba con líneas en generación $S_2$ . ....	87

<i>Figura 37.</i> Distribución en porcentaje de los cruces de prueba de líneas en generación $S_2$ para índice de CB.....	88
<i>Figura 38.</i> Correlaciones entre BLUP para índice de CB, de cruces de prueba con líneas en generación $S_2$ con cuatro probadores.....	90
<i>Figura 39.</i> BLUP para aptitud general y específica a la combinación de índice de CB, para cruces de prueba con líneas en generación $S_2$ .....	90
<i>Figura 40.</i> Distribución en porcentaje de los cruces de prueba de líneas en generación $S_2$ para LG (mm). ....	92
<i>Figura 41.</i> Correlaciones entre BLUP para LG (mm), en cruces de prueba con líneas en generación $S_2$ con cuatro probadores.....	93
<i>Figura 42.</i> BLUP para aptitud general y específica a la combinación para LG (mm), de cruces de prueba en generación $S_2$ .....	94
<i>Figura 43.</i> Distribución en porcentaje de los cruces de prueba con líneas en generación $S_2$ para PPDl (kg/ha/día). ....	95
<i>Figura 44.</i> Correlaciones entre BLUP para PPDl (kg/ha/día), de cruces de prueba con líneas en generación $S_2$ con cuatro probadores .....	96
<i>Figura 45.</i> BLUP para aptitud general y específica a la combinación de PPDl (kg/ha/día), de cruces de prueba con líneas en generación $S_2$ .....	97
<i>Figura 46.</i> Correlación entre los valores de cruces de prueba para DAF de líneas en generación $S_1$ y $S_2$ . ....	98
<i>Figura 47.</i> Correlación de los datos para DAF obtenidos para cada probador en CP de líneas en generación $S_1$ y $S_2$ . ....	98
<i>Figura 48.</i> Correlación entre los valores BLUP de cruces de prueba para DAF con líneas en generaciones $S_1$ y $S_2$ . ....	99
<i>Figura 49.</i> Correlación entre los valores de cruces de prueba para THA (kg) en líneas $S_1$ y $S_2$ .....	99
<i>Figura 50.</i> Correlación de los datos para THA (t/ha), obtenidas para cada probador en CP de líneas en generaciones $S_1$ y $S_2$ .....	100
<i>Figura 51.</i> Correlación entre los valores BLUP de cruces de prueba para THA (t/ha) con líneas en generaciones $S_1$ y $S_2$ .....	100
<i>Figura 52.</i> Correlación entre los valores de cruces de prueba para %IP con líneas en generación $S_1$ y $S_2$ . ....	101
<i>Figura 53.</i> Correlación de los %IP obtenidos para cada probador en CP con líneas en generación $S_1$ y $S_2$ . ....	101
<i>Figura 54.</i> Correlación de las estimaciones de ACG para % de IP para los CP sobre líneas en generación $S_1$ y $S_2$ .....	102
<i>Figura 55.</i> Correlación entre los valores de cruces de prueba para CB con líneas en generación $S_1$ y $S_2$ .....	103
<i>Figura 56.</i> Correlación de los índices de CB obtenidos para cada probador en CP con líneas en generación $S_1$ y $S_2$ . ....	103
<i>Figura 57.</i> Correlación de las estimaciones de ACG del nivel de CB para los CP con líneas en generación $S_1$ y $S_2$ .....	104
<i>Figura 58.</i> Correlación entre los valores de cruces de prueba para LG (mm) con líneas en generación $S_1$ y $S_2$ .....	104

<i>Figura 59.</i> Correlación entre los valores de LG (mm), obtenidos para cada probador en CP con líneas en generación $S_1$ y $S_2$ . .....	105
<i>Figura 60.</i> Correlación de las estimaciones de ACG en LG (mm), para los CP sobre líneas $S_1$ y $S_2$ .....	105
<i>Figura 61.</i> Correlación de las estimaciones de ACG para PPDI, sobre los CP con líneas en generación $S_1$ y $S_2$ .....	106

## Lista de tablas

Tabla 1. Ciclos y actividades para la formación de la población restauradora P14. ....	34
Tabla 2. Relación de cruces de prueba comunes en generación S <sub>1</sub> , en las diferentes localidades y sus probadores. ....	38
Tabla 3. Relación de cruzamientos de prueba en generación S <sub>2</sub> , en las diferentes localidades y sus probadores ....	39
Tabla 4. Relación entre % IP y calidad .....	40
Tabla 5. Longitud de grano blanco en mm y clasificación de calidad.....	41
Tabla 6. Modelos evaluados para la análisis de los cruces de prueba con líneas S <sub>1</sub> y S <sub>2</sub> . ....	42
Tabla 7. Resultados de REML para la producción de semillas en generación S <sub>1</sub> , con diferentes probadores.....	46
Tabla 8. Peso promedio en gramos por planta androesteril para cada probador. ....	46
Tabla 9. Resultados de REML para producción de semillas en generación S <sub>2</sub> , con cuatro probadores .....	49
Tabla 10. Resultados REML para la variable DAF de cruces de prueba con líneas en generación S <sub>1</sub> .....	51
Tabla 11. Promedios para DAF de cruces de prueba con líneas en generación S <sub>1</sub> . ....	51
Tabla 12. Heredabilidad calculada por parcela, para DAF de cruces de prueba –CP, con líneas en generación S <sub>1</sub> .....	53
Tabla 13. Heredabilidad estricta y amplia para DAF, calculada para los cruces de prueba con líneas en generación S <sub>1</sub> .....	54
Tabla 14. Resultados REML para la variable THA (t/ha) de los cruces de prueba con líneas en generación S <sub>1</sub> .....	55
Tabla 15. Promedios para THA (t/ha) de cruces de prueba con líneas en generación S <sub>1</sub> .....	56
Tabla 16. Heredabilidad calculada por parcela para THA (t/ha) de cruces de prueba –CP, con líneas en generación S <sub>1</sub> .....	57
Tabla 17. Heredabilidad estricta y amplia para THA (t/ha), calculada para los cruces de prueba con líneas S <sub>1</sub> .....	58
Tabla 18. Resultados REML para %IP de los cruces de prueba con líneas en generación S <sub>1</sub> . ....	60
Tabla 19. Promedios para % IP de cruces de prueba-CP con líneas en generación S <sub>1</sub> ..	60
Tabla 20. Heredabilidad calculada por parcela, para % IP de cruces de prueba (CP), con líneas en generación S <sub>1</sub> .....	61

Tabla 21. Heredabilidad estricta y amplia para %IP, calculada para los cruces de prueba con líneas en generación S <sub>1</sub> .	62
Tabla 22. Resultados REML para CB de los cruces de prueba con líneas en generación S <sub>1</sub> .	65
Tabla 23. Promedios para índice de CB en cruces de prueba con líneas en generación S <sub>1</sub> .	65
Tabla 24. Heredabilidad calculada por parcela, para índice de CB en cruces de prueba – CP, con líneas en generación S <sub>1</sub> .	66
Tabla 25. Heredabilidad estricta y amplia para CB, calculada para los cruces de prueba con líneas en generación S <sub>1</sub> .	68
Tabla 26. Resultados REML para la variable LG (mm) de los cruces de prueba con líneas en generación S <sub>1</sub> .	69
Tabla 27. Promedios para LG (mm) de cruces de prueba con líneas en generación S <sub>1</sub> .	69
Tabla 28. Heredabilidad calculada por parcela, para LG (mm) de cruces de prueba (CP) con líneas en generación S <sub>1</sub> .	70
Tabla 29. Heredabilidad estricta y amplia para LG (mm), calculada para los cruces de prueba con líneas en generación S <sub>1</sub> .	71
Tabla 30. Resultados REML para la variable PPDI (kg/ha/día) de los cruces de prueba con líneas en generación S <sub>1</sub> .	73
Tabla 31. Promedios para PPDI (kg/ha/día) de cruces de prueba con líneas en generación S <sub>1</sub> .	73
Tabla 32. Heredabilidad calculada por parcela, para PPDI (kg/ha/día) de cruces de prueba (CP) con líneas en generación S <sub>1</sub> .	74
Tabla 33. Heredabilidad estricta y amplia para PPDI (kg/ha/día), calculada para los cruces de prueba con líneas en generación S <sub>1</sub> .	75
Tabla 34. Resultados REML para la variable DAF de los cruces de prueba con líneas en generación S <sub>2</sub> .	77
Tabla 35. Promedios para DAF de cruces de prueba con líneas en generación S <sub>2</sub> .	77
Tabla 36. Heredabilidad calculada por parcela, para DAF de cruces de prueba –CP, de líneas en generación S <sub>2</sub> .	78
Tabla 37. Heredabilidad estricta y amplia para DAF, calculada para los cruces de prueba con líneas en generación S <sub>2</sub> .	79
Tabla 38. Resultados REML para la variable THA (t/ha) de los cruces de prueba con líneas en generación S <sub>2</sub> .	80
Tabla 39. Promedios para THA (t/ha) de cruces de prueba con líneas en generación S <sub>2</sub> .	80
Tabla 40. Heredabilidad calculada por parcela, para THA (t/ha) de cruces de prueba (CP), con líneas en generación S <sub>2</sub> .	82
Tabla 41. Heredabilidad estricta y amplia para THA (t/ha), calculada para los cruces de prueba con líneas en generación S <sub>2</sub> .	83
Tabla 42. Resultados REML para la variable % IP de los cruces de prueba con líneas en generación S <sub>2</sub> .	84
Tabla 43. Promedios para %IP de cruces de prueba con líneas en generación S <sub>2</sub> .	84
Tabla 44. Heredabilidad calculada por parcela, para %IP de cruces de prueba –CP, con líneas en generación S <sub>2</sub> .	85

Tabla 45. Heredabilidad estricta y amplia para IP, calculada para los cruces de prueba con líneas en generación $S_2$ .....	86
Tabla 46. Resultados REML para la variable CB de los cruces de prueba con líneas en generación $S_2$ .....	87
Tabla 47. Promedios para CB de cruces de prueba con líneas en generación $S_2$ .....	88
Tabla 48. Heredabilidad calculada por parcela, para CB de cruces de prueba –CP, en generación $S_2$ .....	89
Tabla 49. Heredabilidad estricta y amplia para CB, calculada para los cruces de prueba con líneas en generación $S_2$ .....	89
Tabla 50. Resultados REML para la variable LG (mm) de los cruces de prueba con líneas en generación $S_2$ .....	91
Tabla 51. Promedios para LG (mm) de cruces de prueba con líneas en generación $S_2$ .....	91
Tabla 52. Heredabilidad calculada por parcela, para LG (mm) de cruces de prueba –CP, con líneas en generación $S_2$ .....	92
Tabla 53. Heredabilidad estricta y amplia para LG (mm), calculada para los cruces de prueba con líneas en generación $S_2$ .....	93
Tabla 54. Resultados REML para la variable PPDI (kg/ha/día) de los cruces de prueba con líneas en generación $S_2$ .....	94
Tabla 55. Promedios para PPDI (kg/ha/día) de cruces de prueba con líneas en generación $S_2$ .....	95
Tabla 56. Heredabilidad calculada por parcela, para PPDI (kg/ha/día) de cruces de prueba (CP) con líneas en generación $S_2$ .....	96
Tabla 57. Heredabilidad estricta y amplia para PPDI (kg/ha/día), calculada para los cruces de prueba con líneas en generación $S_2$ .....	97
Tabla 58. Valores de progreso genético para THA (t/ha) de cruces de prueba –CP, con generaciones $S_1$ y $S_2$ .....	107
Tabla 59. Comparación entre el número de ciclos de selección recurrente considerando el uso de $S_1$ o $S_2$ .....	108
Tabla 60. Progreso genético en las etapas de selección recurrente con $S_1$ y $S_2$ considerando ciclos/semestres.....	108
Tabla 61. Progreso genético en las etapas de selección recurrente con $S_1$ y $S_2$ considerando ciclo/año.....	109
Tabla 62. Simulaciones para calcular el costo en términos de número de parcelas, cantidad de repeticiones y tratamientos, para cruces de prueba con el uso de 4 probadores.....	112
Tabla 63 . Simulaciones para considerar el costo en términos de número de parcelas, cantidad de repeticiones y tratamientos para cruces de prueba considerando el uso de un probador.....	112

## Introducción

El cultivo de arroz sigue siendo una de las fuentes fundamentales de la alimentación mundial. En este cultivo, se habla de dos revoluciones verdes; la primera dirigida al desarrollo de variedades modernas semi-enanas, que alcanzaron una expansión superior a la mitad del área sembrada en el mundo con cereales e incrementaron significativamente la producción en esa época, y la segunda dirigida al desarrollo de híbridos F1 de arroz en China (FAO, 2007). Esta tecnología en un inicio pensada solo para incrementar la productividad, es ahora además una forma de proteger la investigación, innovación y desarrollo, para las empresas privadas vinculadas en esta actividad (Cuevas, 2010).

Los híbridos de arroz llegaron a América en los años 80, a través de programas desarrollados por la empresa privada Rice Tec en Estados Unidos y la asociación Francobrasileña CIRAD/EMBRAPA en Brasil. Posteriormente en el año 2000, se inician los trabajos de BAYER en Brasil; en Colombia hacia el 2003 a través del acuerdo entre la empresa Colombiana Cultivos y Semillas El Aceituno Ltda., y el CIRAD de Francia. En el 2010 inicia el consorcio HIAAL, conformado por FLAR/CIAT/IRGA con la intención de cubrir toda la región de América Latina y el Caribe.

La mayoría de estos programas, como también muchos de los programas desarrollados en Asia, utilizan esencialmente las líneas provenientes de programas de mejoramiento convencional, para la elaboración directa de híbridos. Sólo los programas liderados por el CIRAD en Colombia, Brasil, China e India, han sido basados desde su inicio en la creación de líneas parentales para su formación. Estas líneas han sido desarrolladas a partir de esquemas de selección recurrente recíproca, usando como criterio de selección la aptitud a la combinación.

La evaluación de la aptitud a la combinación es posible realizarla sobre líneas extraídas de poblaciones recurrentes en generaciones tempranas S1 y S2, que servirán a futuro como fuente de obtención de líneas parentales. Sin embargo, a pesar de que están siendo utilizadas con éxito, no se han realizado los estudios que permitan determinar las diferencias (ventajas y/o desventajas) entre la utilización de una generación u otra en evaluaciones de esta característica.

Por otra parte, esta evaluación requiere la utilización de testadores o probadores que permitan determinar el valor de combinación de estas líneas. Sobre este punto, tampoco existe actualmente, información sobre cuál es el mejor probador en términos de su origen (línea pura o población) y su utilización (generaciones tempranas o más avanzadas), dentro de los programas de creación de híbridos de arroz bajo estos esquemas de mejoramiento.

Este trabajo pretende evaluar cuatro probadores (tres líneas puras y una población), determinar sus diferencias en cuanto al poder discriminativo sobre las líneas seleccionadas, establecer en que generación es mejor trabajar (S1 ó S2), y establecer las diferencias (genéticas y económicas) entre el uso de cualquiera de los cuatro probadores y la generación a utilizar. Se espera que lo anterior, permita realizar propuestas que mejoren la eficiencia de los programas híbridos que se basan principalmente en selección recurrente en Colombia, Brasil, China e India.

## Bibliografía

ARROZ SOS [on line]. España: Comunidad SOS [cited 15 may, 2010]. Available from internet: [http://www.arrozsos.com/articulos/ver/el\\_origen\\_del\\_cultivo\\_de\\_arroz\\_asia\\_neolitica](http://www.arrozsos.com/articulos/ver/el_origen_del_cultivo_de_arroz_asia_neolitica)

Asfaliza, R., Rafii, M., Saleh, G., & Puteh, A. (6 de 2012). *Google Academic*. (A. J. Science, Ed.) Retrieved 12 de 1 de 2016 from [www.researchgate.net: https://www.researchgate.net/publication/288372672\\_Combining\\_ability\\_and\\_heritability\\_of\\_selected\\_rice\\_varieties\\_for\\_grain\\_quality\\_traits](http://www.researchgate.net/publication/288372672_Combining_ability_and_heritability_of_selected_rice_varieties_for_grain_quality_traits)

Abeysekera, S., Abey Siriwardana, D. D., & Dehideniya, E. (2001). *Characteristics associated with outcrossing rate of cytoplasmic male sterile (CMS) lines in rice under local conditions*. Rice Research and Development Institute, Batalagoda, Ibbagamuwa.

Bernis, J. M., & Pámies, C. B. (2004). *Varietades y Mejora del Arroz*. Cataluña, España: Universidad Internacional de Cataluña y la Asociación de Ingenieros Agrónomos de Cataluña.

León, J. (2000). *Botánica de los cultivos tropicales* (Tercera ed.). (IICA, Ed.) San José, Costa Rica: Editorial Agroamérica, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.

Valladares, C. A. (2010). *TAXONOMIA Y BOTANICA DE LOS CULTIVOS DE GRANO*. LA CEIBA, HONDURAS: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE HONDURAS.

GRiSP (Global Rice Science Partnership). (2013). *RICE ALMANAC* (4th edition ed.). Los Baños, Philippines: International Rice Research Institute.

WILEY SERIES IN CROP SCIENCE, C. Wayne Smith, Series Editor. (2003). *RICE, History, Technology, and Production*. (C. W. Dilday, Ed.) Texas, United States of America: John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

*Seguimiento del mercado del arroz de la FAO (SMA)*. (2016, Octubre 20). Retrieved Noviembre 1, 2016, from [www.fao.org: http://www.fao.org/economic/est/publications/publicaciones-sobre-el-arroz/seguiamiento-del-mercado-del-arroz-sma/es/](http://www.fao.org/economic/est/publications/publicaciones-sobre-el-arroz/seguiamiento-del-mercado-del-arroz-sma/es/)

- FEDEARROZ. (2012). *Historia del Arroz*. Retrieved Septiembre 10, 2016, from [www.fedearroz.com.co](http://www.fedearroz.com.co): <http://www.fedearroz.com.co/new/historiaarroz.php>
- Vales, M. (2013, Febrero 2). Proyectos en la zona Pacífica Colombiana. (J. D. Galvez, Interviewer)
- DANE. (2016, 08 19). [www.dane.gov.co](http://www.dane.gov.co). Retrieved 10 10, 2016, from [www.dane.gov.co](http://www.dane.gov.co): <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/encuesta-de-arroz-mecanizado>
- Boulakia, S. (2016). Más allá de las palabras claves Cuáles serían los caminos técnicos para construir un "Climate smart" en arroz. *Más allá de las palabras claves Cuáles serían los caminos técnicos para construir un "Climate smart" en arroz* (p. 1). Ibagué: CORPOICA.
- Cheng, S.-h., Cao, L.-y., Yang, S.-h., & Zhai, H.-q. (2004). Forty years development of hybrid rice: China's experience. *Rice Science*, 11 (5-6), 225-230.
- FAO. (1997). *Introducción de variedades mejoradas*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO.
- Zhong, X., Peng, S., Wang, F., & Huang, N. (2004). Using heterosis and hybrid rice to increase yield potential in China. In K. Toriyama, K. Heong, & B. Hardy (Ed.), *World Rice Research Conference* (p. 590). Tokio: International Rice Research Institute.
- Laws, F. (2015, 12 8). *scirus*. Retrieved 01 20, 2016, from [www.deltafarmpress.com](http://www.deltafarmpress.com): <http://www.deltafarmpress.com/rice/hybrid-rice-plantings-could-expand-significantly-coming-years>
- Parvez, S. (2006). Recent advances in understanding genetic basis of heterosis in rice (*Oryza sativa* L.). (U. D. Press, Ed.) *Revista Científica UDO Agrícola*, 6 (1317-9152), 1-10.
- Yuan, L.-P., & Fu, X.-Q. (2001, 1 1). [www.fao.org](http://www.fao.org). (D. d. Agricultura, Producer) Retrieved 3 22, 2015, from [www.fao.org](http://www.fao.org): <http://www.fao.org/docrep/003/v4730s/v4730s02.htm>
- Peng, Q., Yuping, W., Yuanyuan, L., Bingtian, M., & Shigui, L. (2013, 4 16). *Plos*, 10.1371. (Y. Tongming, C. Nanjing Forestry University, Editors, & Analysis of Cytoplasmic Effects and Fine-Mapping of a Genic Male Sterile Line in Rice) Retrieved 04 3, 2015, from [journals.plos.org](http://journals.plos.org): <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0061719>
- Ramirez, L. (2006, Enero). Utilización de la androesterilidad para la producción de semilla Híbrida. Campus Arrosadía, Pamplona, Espana. Retrieved 05 07, 2014, from <http://www.unavarra.es/genmic/genetica%20y%20mejora/androesterilidad/androesterilidad-2006.pdf>

Shaoqing, L., Daichang, Y., & Yingguo, Z. (2007). Characterization and use of male sterility in hybrid rice breeding. (N. N. Science, Ed.) *Plant Biology* , 49 (6), 791-804.

Yokoo, M. (1984). Female Sterility in an Indica-Japonica Cross of Rice. *Japanese Journal of Breeding* , 34 (2), 219-227.

Taillebois, J. (2010, 10 8). Híbridos en arroz. (J. Dossmann, Interviewer)

Friedrich, C., Muhleisen, J., Maurer, H. P., Zhang, H., Gowda, M., & Reif, J. C. (2012). Hybrid Breeding in autogamous cereals. *Theor Appl Genet* , 1087-1096.

Tiwari, D., Pandey, P., Giri, S., & Dwivedi, J. (2011). Prediction of Gene Action, Heterosis and Combining Ability to Identify Superior Rice Hybrids. *International Journal of Botany* , 126-144.

Lobato, R., Molina, J., López, J., Mejía, J., & Reyes, D. (2010). Criterios para elegir el mejor probador de la aptitud combinatoria general para rendimiento de grano de líneas autofecundadas de maíz. *Agrociencia* .

UNAD. (1999, 8 3). *google academico*. Retrieved 3 15, 2014, from [www.datateca.unad.edu.co](http://www.datateca.unad.edu.co):  
[http://datateca.unad.edu.co/contenidos/30162/Curso\\_de\\_Fitomejoramiento/leccin\\_30\\_aptitud\\_combinatoria.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/30162/Curso_de_Fitomejoramiento/leccin_30_aptitud_combinatoria.html)

Xiao-chuan, L., Shen-guang, C., Ji-shuang, C., Koshun, I., Wei-xia, W., & Liu-qin, Y. (2004). Improvement of combining ability for restorer lines with the identified SSR markers in hybrid rice breeding. (T. Mikami, Ed.) *Breeding Science* , 54, 341-346.

Grajales, F. N. (2014). La geometría de las plantas: Una experiencia de modelación matemática en el pensamiento espacial y sistemas geométricos. *La geometría de las plantas: Una experiencia de modelación matemática en el pensamiento espacial y sistemas geométricos* . Medellín, Antioquia, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

SAS. (2015). (SAS, Producer) Retrieved 1 12, 2015, from [www.sas.com](http://www.sas.com):  
[http://www.sas.com/en\\_us/software/university-edition.html](http://www.sas.com/en_us/software/university-edition.html)

Junmai, C., & Weiming, L. (1987, 02 10). Retrieved 5 6, 2016, from [www.cnki.com.cn](http://www.cnki.com.cn):  
[http://en.cnki.com.cn/Article\\_en/CJFDTOTAL-FJNX198702010.htm](http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-FJNX198702010.htm)

Abeysekera, S., Abeysirwardana, D. D., & Dehideniya, E. (2001). *Characteristics associated with outcrossing rate of cytoplasmic male sterile (CMS) lines in rice under local conditions*. Rice Research and Development Institute, Batalagoda, Ibbagamuwa.

Gontcharova, I., & Gontcharov, S. (2003). Hybrid rice breeding in Russia. In I. R. Institute, & M. C. Virmani SS (Ed.), *Hybrid rice for food security, poverty alleviation, and*

*environmental protection. Proceedings of the 4th International Symposium on Hybrid Rice* (p. 407). Hanoi, Vietnam: International Rice Research Institute.

Verma, O., Santoshi, U., & Srivastava, H. (2003). Governance of gene action and combining ability for certain grain quality traits in three diverse rice (*Oryza sativa* L.) growing ecosystems. *Journal of sustainable agriculture* , 22 (4), 63-78.

Chakraborty, R., Chakraborty, S., Dutta, B., & Paul, S. (2009). Combining ability analysis for yield and yield components in bold grained rice (*Oryza sativa* L.) of Assam. *Acta agronómica* , 58 (1), 9-14.

Chandra, S., Chandrakar, P., Rastogi, N., Sharma, D., & Sarawgi, A. (2012). Combining ability analysis using CMS breeding system for developing hybrids in rice (*Oryza sativa*). *Bangladesh J. Agricultural Research* , 37 (4), 583-592.

Priyanka, G., Sujatha, M., Senguttuvel, P., & Subramanyam, D. (2016). Ability analysis for grain yield and its component traits in aerobic rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Research Journal of Agricultural Sciences* , 7 (2), 237-240.

Asfaliza, R., Rafii, M., Saleh, G., & Puteh, A. (2012, 6). *Google Academic*. (A. J. Science, Ed.) Retrieved 1 12, 2016, from [www.researchgate.net: https://www.researchgate.net/publication/288372672\\_Combining\\_ability\\_and\\_heritability\\_of\\_selected\\_rice\\_varieties\\_for\\_grain\\_quality\\_traits](http://www.researchgate.net/publication/288372672_Combining_ability_and_heritability_of_selected_rice_varieties_for_grain_quality_traits)

Waza, S. A., Jaiswal, H., Sravan, T., Priyanka, K., Bano, D. A., & Rai, V. P. (2015). Combining ability analysis for various yield and quality traits in rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of applied and natural science* , 7 (2), 865-873.

Jin, Z. x., Qiu, T. q., Sun, Y. l., & Jin, X. y. (2000). Retrieved 6 12, 2015, from [www.ricesci.cn: http://www.ricesci.cn/EN/abstract/abstract1094.shtml](http://www.ricesci.cn/EN/abstract/abstract1094.shtml)

Roy, S., & Senapati, B. (2012). *FAO*. Retrieved from [www.icar.org.in: http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=IN2012000143](http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=IN2012000143)

Zhang, L.-h., Wang, L.-y., & Wang, J.-j. (2003). Studies on combining ability and heritability of milling and physical properties in indica hybrid rice. *Journal of Nuclear Agricultural Sciences* , 17 (6), 417-422.

Jin , Z.-x., Qui, T.-q., Sun , Y.-L., & Jin, X.-y. (2000). Combining Ability Analysis of Chalkiness Rate in Grains of Japonica Rice Hybrids. China. Retrieved from [www.ricesci.cn: http://www.ricesci.cn/EN/abstract/abstract1094.shtml](http://www.ricesci.cn/EN/abstract/abstract1094.shtml)

Barclay, A. (2007, October-December). A Hybrid history. *Rice Today* .