

**ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS EN CRUZAMIENTOS
DIALÉLICOS PARA CALIDAD MOLINERA Y CULINARIA DE ARROZ (*Oryza
sativa* L.)**

SERGIO LEANDRO GALVIS RICAURTE

Biol. MSc. CRISTINA MENDOZA FORERO

DIRECTORA

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA
ESCUELA DE CIENCIAS AGRICOLAS PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE**

AGRONOMÍA

CEAD GIRARDOT

2020

**ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS GENÉTICOS EN CRUZAMIENTOS
DIALÉLICOS PARA CALIDAD MOLINERA Y CULINARIA DE ARROZ (*Oryza
sativa* L.)**

Trabajo de grado presentado como requisito
parcial para optar al título de Agrónomo

SERGIO LEANDRO GALVIS RICAURTE

Biol. MSc. CRISTINA MENDOZA FORERO

DIRECTORA

**UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA
ESCUELA DE CIENCIAS AGRICOLAS PECUARIAS Y DEL MEDIO AMBIENTE**

AGRONOMÍA

CEAD GIRARDOT

2020

DEDICATORIA

A Dios en primer lugar por ser mi guía en cada etapa desarrollada a lo largo de mi vida.

*A mis padres porque gracias a sus enseñanzas valores y principios he llegado a ser la
persona que soy hoy en día.*

AGRADECIMIENTOS

A la Federación Nacional de Arroceros (FEDEARROZ) y su Centro Experimental Las Lagunas, donde laboro y la cual hizo posible la realización de este trabajo.

A mi jefe, el ingeniero Nelson Amézquita por sus consejos y enseñanzas recibidas a lo largo de mi trayectoria laboral en Fedearroz y para el desarrollo de este trabajo.

A cada compañero del Centro Experimental las Lagunas Fedearroz por sus aportes y colaboración para hacer posible el desarrollo de este trabajo.

A cada profesor de la UNAD por sus enseñanzas durante el desarrollo de la fase académica.

A Cristina Mendoza docente de la UNAD y a la vez directora de grado gracias por su colaboración y dedicación para hacer posible el desarrollo de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABLAS	8
GLOSARIO	10
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
INTRODUCCION	14
1. OBJETIVOS	16
1.1. OBJETIVO GENERAL	16
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
2. MARCO CONCEPTUAL	17
2.1. ASPECTOS GENERALES DEL ARROZ	17
2.2. CALIDAD DE ARROZ	17
2.2.1. Calidad molinera	18
2.2.2. Calidad culinaria	19
2.3. CRUCES DIALELICOS	20
2.3.1. Habilidad combinatoria general.	21
2.3.2. Habilidad combinatoria especifica.	21
3.1. SITIO DE ESTUDIO	22
3.2. GENOTIPOS UTILIZADOS	22
3.3. SIEMBRA DE PARENTALES	23
3.4. CRUZAMIENTOS	24
3.5. OBTENCIÓN DE LÍNEAS F1.	25
3.6. SIEMBRA DE F1	26
3.6.1. Diseño experimental.	27
3.7. COSECHA F1.	27

3.8.	EVALUACIÓN DE CALIDAD MOLINERA	28
3.8.1.	Rendimiento de molino	30
3.8.2.	Apariencia de grano	32
3.9.	EVALUACIÓN DE LA CALIDAD CULINARIA	34
3.9.1.	Contenido de amilosa	34
3.9.2.	Análisis rápido de viscosidad.	35
3.10.	MÉTODO ESTADÍSTICO	38
3.10.1	Análisis dialélico.	38
3.10.2	Efectos de la aptitud combinatoria general, específica y recíprocos.	39
3.11.	METODO Y MODELO EXPERIMENTAL UTILIZADO	39
3.11.1.	Método 1 de Griffing (1956):	39
3.11.2.	Modelo 1:	40
	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
4.1.	CALIDAD MOLINERA	41
4.1.1.	Rendimiento de molino.	41
4.1.2.	Índice de pilada	43
4.1.5.	Relación largo ancho	54
4.2.	CALIDAD CULINARIA	57
4.2.1	Contenido de amilosa	57
4.2.2.	Breakdown	59
4.2.3.	Seetback	64
4.2.4.	Viscosidad final	67
4.3.	ANÁLISIS GLOBAL	70
5.	CONCLUSIONES	72
6.	RECOMENDACIONES	73
7.	BIBLIOGRAFÍA	74

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** a. Centro Experimental Las Lagunas (Fedearroz, Saldaña – Tolima). b. Montaje Experimental en campo.
- Figura 2.** Genotipos utilizados para el programa de cruces.
- Figura 3.** Parentales sembrados en campo
- Figura 4.** Preparación de material vegetal para cruzamientos. a Laboratorio. b. Campo.
- Figura 5.** a. Panícula de arroz emasculada para obtención de semilla F1. b. granos F1.
- Figura 6.** a. siembra de semilla F1 en bandejas. semilla F1 germinada en bandejas de siembra.
- Figura 7.** a. cosecha de semilla F1. b. horno de secado para bajar el contenido humedad de semilla F1 para el análisis en laboratorio.
- Figura 8.** Laboratorio de calidad molinera para evaluación de muestras.
- Figura 9.** Proceso de descascarado de muestras en laboratorio
- Figura 10.** Proceso de pulido de muestras en laboratorio.
- Figura 11.** Proceso de clasificación en laboratorio.
- Figura 12.** a. analizador de granos s21. imagen arrojada por el analizador de granos para la interpretación de resultados.
- Figura 13.** NIRS ds2500 equipo utilizado para análisis de contenido de amilosa.
- Figura 14.** a. molino ciclónico utilizado para elaboración de harina de la muestra para análisis en el RVA balanza de humedad y RVA utilizados para el análisis de muestras.
- Figura 15.** a. explicación curva arrojada por el RVA de la muestra realizada. b. reporte de resultados de la muestra realizada.

LISTA DE TABLAS

- Tabla 1.** Cuadro análisis de varianza completa para Rendimiento de molino
- Tabla 2.** Cálculo de los efectos de HCG para cada padre para rendimiento de molino.
- Tabla 3.** Cálculo de efectos de HCE para cada cruza en la variable rendimiento de molino
- Tabla 4.** Prueba de significancia con el método de Fisher para variable rendimiento de molino
- Tabla 5.** Cuadro de Análisis de Varianza completa para índice de pilada
- Tabla 6.** Cálculo de los efectos de HCG para cada padre para índice de pilada.
- Tabla 7.** Cálculo de efectos de HCE para cada cruza en la variable índice de pilada
- Tabla 8.** Prueba de significancia con el método de Fisher para variable índice de pilada
- Tabla 9.** Cuadro de Análisis de Varianza completa para contenido de yesado
- Tabla 10.** Cálculo de los efectos de HCG para cada padre para contenido de yesado.
- Tabla 11.** Cálculo de efectos de HCE para cada cruza en la variable contenido de yesado
- Tabla 12.** Prueba de significancia con el método de Fisher para variable contenido de yesado
- Tabla 13.** Cuadro de Análisis de Varianza completa para contenido de centro blanco
- Tabla 14.** Cálculo de los efectos de HCG para cada padre para contenido de centro blanco.
- Tabla 15.** Cálculo de efectos de HCE para cada cruza en la variable contenido de centro blanco
- Tabla 16.** Prueba de significancia con el método de Fisher para variable contenido de centro blanco
- Tabla 17.** Cuadro de Análisis de Varianza completa para relación largo ancho

- Tabla 18.** Cálculo de los efectos de HCG para cada padre para relación largo ancho.
- Tabla 19.** Cálculo de efectos de HCE para cada cruza en la variable relación largo ancho
- Tabla 20.** Prueba de significancia con el método de Fisher para variable relación largo ancho
- Tabla 21.** Cuadro de Análisis de Varianza completa para contenido de amilosa
- Tabla 22.** Cálculo de los efectos de HCG para cada padre para contenido de amilosa
- Tabla 23.** Cálculo de efectos de HCE para cada cruza en la variable contenido de amilosa
- Tabla 24.** Prueba de significancia con el método de Fisher para variable contenido de amilosa
- Tabla 25.** Cuadro de Análisis de Varianza completa para breakdown
- Tabla 26.** Cálculo de los efectos de HCG para cada padre para breakdown
- Tabla 27.** Cálculo de efectos de HCE para cada cruza en la variable breakdown
- Tabla 28.** Prueba de significancia con el método de Fisher para variable breakdown
- Tabla 29.** Cuadro de Análisis de Varianza completa para setback
- Tabla 30.** Cálculo de los efectos de HCG para cada padre para setback
- Tabla 31.** Cálculo de efectos de HCE para cada cruza en la variable setback
- Tabla 32.** Prueba de significancia con el método de Fisher para variable setback
- Tabla 33.** Cuadro de Análisis de Varianza completa para viscosidad final
- Tabla 34.** Cálculo de los efectos de HCG para cada padre para viscosidad final
- Tabla 35.** Cálculo de efectos de HCE para cada cruza en la variable viscosidad final
- Tabla 36.** Prueba de significancia con el método de Fisher para variable viscosidad final

GLOSARIO

Antera: parte masculina que se extrae a la espiguilla de arroz para dejar expuesto el estigma (parte femenina) y este receptivo para recibir el polen del progenitor donante.

Antesis: ocurre en general un día después de la emergencia de la panícula. Agronómicamente, se define como el proceso de liberación natural de polen

Calidad culinaria: cualidad del grano de arroz para ser suelto o pegajoso a la hora de ser cocinado

Calidad molinera: obtención de la mayor cantidad de grano entero después de cosechado y pasar por el proceso industrial

Contenido de humedad: característica determinante sobre la cosecha oportuna del arroz.

Cosecha oportuna: característica relacionada con el contenido de humedad el cual debe estar en un porcentaje de 23 y 25%.

Cruce simple: consiste en seleccionar las plantas más vigorosas a fin de que actúen de parentales durante cruces dirigidos y tiene como objetivo el desarrollo de variedades de mayor productividad

Cruzamiento: significa cruzar diferentes plantas de arroz esta es la práctica de introducir material genético no relacionado en una línea de producción. Aumenta la diversidad genética, lo que reduce la probabilidad de que la poblaciones futuras estén sujetas a enfermedades o anomalías genéticas.

Desviación típica: es una medida que ofrece información sobre la dispersión media de una variable. La desviación estándar es siempre mayor o igual que cero.

Dialélico: también llamado círculo vicioso, es una estructura lógica que consiste en una petición de principio con el cual se intenta probar una cosa mediante otra, y esta segunda mediante la primera fue propuesto por hayan en 1954.

Emasculación: consistió en, la remoción de anteras de las florecillas de los progenitores femeninos, antes de la maduración y liberación del polen.

Grano de arroz: comúnmente llamado semilla, recién cosechado está formado por el cariópse y por cáscara, está última compuesta de glumas. Industrialmente se considera al arroz cáscara aquel comprendido por el conjunto de cariópse y glumas.

Genotipo: colección de genes que posee una variedad de arroz.

Habilidad combinatoria específica: casos en los cuales ciertas combinaciones específicas se expresan favorablemente o no con respecto al comportamiento promedio de sus progenitores

Habilidad combinatoria general: comportamiento promedio de una variedad de arroz al ser combinada con otras.

Heredabilidad: es un parámetro estadístico poblacional que nos indica en qué medida las diferencias fenotípicas que presentan los individuos pueden ser explicadas por sus diferencias genéticas.

Indica: grano de arroz largo y de cocción suelta.

Japónica: arroz de grano medio o corto con cocción pegajosa.

Parental: se refiere a los progenitores utilizados en el programa de cruzamientos.

Polen: es el nombre colectivo de los granos, más o menos microscópicos, que producen las plantas con semilla. El saco polínico es la parte de la antera que contiene los granos de polen, en los órganos masculinos de la flor.

Polinización: es el proceso de transferencia del polen desde los estambres hasta el estigma o parte receptiva de las flores.

Rasgos cuantitativos: es el estudio de rasgos continuos (por ejemplo, la altura o el peso) y sus mecanismos subyacentes.

Varianza: es una medida de dispersión que representa la variabilidad de una serie de datos respecto a su media. Formalmente se calcula como la suma de los residuos al cuadrado divididos entre el total de observaciones

RESUMEN

El arroz es un alimento básico de importancia en la dieta de numerosos países, lo que se refleja en las investigaciones realizadas a nivel mundial. Un cultivar de arroz debe cumplir con ciertas características a la hora de ser comercializado entre estas: sanidad, resistencia a enfermedades y buen rendimiento en cosecha. La calidad molinera y la calidad culinaria, son características que en los últimos años son cada vez más importantes en la comercialización del arroz. Estas cualidades determinan el comportamiento del grano de arroz en la trilla y en la cocción, las cuales satisfacen las preferencias del consumidor. Con la finalidad de evaluar la calidad molinera y culinaria del grano, en el Centro Experimental Las Lagunas de Fedearroz (Saldaña, Tolima), en la presente investigación se realizó un análisis del comportamiento de líneas obtenidas por un sistema de cruzamiento dialélico, el cual permite establecer relaciones genéticas entre los padres utilizados, siendo útil en la identificación de cruzamientos promisorios. El sistema dialélico incluyó seis genotipos parentales con características conocidas (Fedearroz 60, Fedearroz 67, Fedearroz 70, FNAC 070, Maja 6 y Oryzica 1), para obtener 30 líneas en las que fueron evaluadas las características de calidad molinera (rendimiento de molino, índice de pilada, contenido de yesado, centro blanco, relación largo/ancho) y culinaria (temperatura de gelatinización, contenido de amilosa, análisis de viscosidad). Los principales resultados indican que los genotipos utilizados como objeto de estudio tuvieron baja habilidad combinatoria general en algunas variables de calidad molinera y calidad culinaria. Se observó que todos los genotipos pueden sobresalir en alguna de las variables para que sus poblaciones descendientes hereden estas condiciones. En el análisis de habilidad combinatoria específica no se encontró ninguna población F1 que heredara todas las variables de calidad molinera y culinaria utilizadas para la evaluación en laboratorio. Se resaltan los cruzamientos entre Fedearroz 60 x Maja 6 que heredaron algunas variables de calidad culinaria y los cruzamientos Fedearroz 70 x Fnac 70 que heredaron características de calidad molinera.

Palabras clave: habilidad combinatoria, heredabilidad, híbridos, Fedearroz 60, Fedearroz 70, Fnac 70, Maja 6

ABSTRACT

Rice is an important staple food in diet of many countries, which is reflected in researches carried out worldwide. A rice cultivar must have certain characteristics when it is commercialized, among them: health, resistance to diseases and high yields in harvest. Milling quality and cooking quality are characteristics that in recent years have become increasingly important in the commercialization of rice. These qualities determine the behavior of the rice grain in threshing and cooking, which satisfy consumer preferences. In order to evaluate the milling and culinary quality of the grain, in the Experimental Center "Las Lagunas de Fedearroz (Saldaña, Tolima)", in the present investigation an analysis of the behavior of lines obtained by a diallelic crossing system was carried out. This system allows to establish genetic relationships between the parents used, being useful in the identification of promising crosses. The diallelic system included six parental genotypes with known characteristics (Fedearroz 60, Fedearroz 67, Fedearroz 70, FNAC 070, Maja 6 and Oryzica 1). 30 lines were obtained in which the characteristics of mill quality (mill performance, pile index, gypsum content, white center, length / width ratio) and culinary quality (gelatinization temperature, amylose content, viscosity analysis). The main results indicate that the genotypes used as the object of study had low general combinatorial ability in some variables of milling quality and culinary quality. It was observed that all genotypes can excel in some of the variables so that their descendant populations inherit these conditions. In the analysis of specific combinatorial ability, no F1 population was found that inherited all the milling and culinary quality variables used for the laboratory evaluation. The crosses between Fedearroz 60 x Maja 6 that inherited some variables of culinary quality and the crosses between Fedearroz 70 x Fnac 70 that inherited characteristics of mill quality are highlighted.

Keywords: combinatorial ability, heritability, hybrids, Fedearroz 60, Fedearroz 70, Fnac 70, Maja 6

INTRODUCCION

El arroz es uno de los alimentos básicos de importancia en la dieta de numerosos países, lo que se ha reflejado en las investigaciones a nivel mundial que se hacen en este cultivo. Diversas instituciones como *International Rice Research Institute* (IRRI), Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Fondo Latino-Americano de Arroz de Riego (FLAR) y en Colombia la Federación Nacional de Arroceros (Fedearroz), entre otros, buscan desarrollar paquetes tecnológicos más eficientes que permitan afrontar los retos competitivos y que a la vez representen beneficios para el agricultor y para el consumidor en aspectos nutricionales y de seguridad alimentaria, a través del fitomejoramiento (Vallejo y Estrada, 2002).

En Colombia se siembran variedades de grano largo que son desarrolladas por entidades colombianas como: Fedearroz, Semillanos, Organización Pajonales y otras importantes empresas que usan material genético propio o de los bancos de germoplasma del CIAT y FLAR (Castillo, 2007). Por lo que resulta un reto de gran importancia para los Fito mejoradores en sus programas de investigación en la búsqueda de variedades de arroz que cumplan con buen comportamiento fitosanitario, rendimiento en campo y calidad del grano (Cuevas, 2018).

En años recientes la calidad molinera y culinaria son factores que han cobrado, gran importancia. Para los programas de mejoramiento de arroz es cada vez menos frecuente el seleccionar genotipos que reúnan todas las características deseadas además de las de calidad de grano. Se reportan muchos casos en donde una variedad ha sido rechazada o penalizada principalmente por los molineros o consumidores por no cumplir con los requisitos mínimos de calidad (Molina, 1997; Bassinello *et al.*, 2020).

Algunas veces el rendimiento en molino ha sido muy bajo o el centro blanco muy alto o ambos casos, en otras la calidad culinaria no ha sido buena. Esto representa grandes pérdidas de tiempo y recursos. De ahí que sea de especial importancia emplear varios criterios para evaluar la calidad molinera y culinaria de las líneas promisorias (Amézquita, 2012; Bassinello *et al.*, 2020).

Para los programas de mejoramiento genético de arroz resulta imperante conocer aspectos genéticos de las características de calidad de grano a través de estudios que faciliten el diseño de estrategias en el desarrollo y selección de poblaciones avanzadas para obtener variedades con alto valor de calidad molinera y culinaria. Como aporte para la garantizarla competitividad, sostenibilidad del sector arrocero colombiano y la permanencia del agricultor en el negocio, que, a su vez, satisfaga la necesidad de los demás eslabones de la cadena arrocera de Colombia, como son la industria y el consumidor final (Echeverri *et al.*, 2018; Cuevas, 2018).

En este sentido, el objeto de la presente investigación es que, a través de diseños genéticos, como el cruzamiento dialélico, es posible entender la naturaleza de la acción génica involucrada en la determinación de rasgos cuantitativos, por ejemplo, calidad de grano y comportamiento culinario de los genotipos. (Bouchard D José et al, 2020).

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Estimar parámetros genéticos de calidad molinera y culinaria de las poblaciones F1 y sus parentales a partir de un sistema dialélico de cruzamientos de arroz en el departamento del Tolima.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la habilidad combinatoria general y específica de los genotipos en cuanto a características de calidad molinera y culinaria, a partir de un sistema de cruzamientos dialélicos.
- Identificar poblaciones con características sobresalientes de calidad molinera y culinaria, a partir cruzamientos entre genotipos parentales.

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1. ASPECTOS GENERALES DEL ARROZ

El arroz es un cultivo cuya base productiva conjuga trabajo, tierra y agua. Dada la situación actual de esos recursos en el mundo, ni Asia, ni África parecen dar garantías para producir la totalidad de la demanda mundial de arroz, necesaria para alimentar a más de 7,000 millones de personas. Considerando que el arroz, provee más de la mitad del alimento diario a una tercera parte de la población mundial especialmente en Asia, donde se encuentra el 58% de dicha población y se consume más del 90% de todo el arroz producido en el mundo. El arroz es el único cereal importante que se destina casi exclusivamente a la alimentación humana. Sus virtudes como alimento son numerosas: Es rico en vitaminas y en sales minerales que cubren en un alto porcentaje las necesidades alimenticias del ser humano. Es de bajo contenido graso (1%), libre de colesterol y muy bajo en sodio, además no contiene gluten (Cuevas, 2018; Sag, 2003).

El arroz se divide principalmente, en tres tipos según el mercado de consumo estos son:

Japónica: granos cortos y de cocción pegajosos, es el utilizado para platos como el sushi.

Javánica: grano medio y ancho con buena presentación generalmente pegajoso después de cocinado.

Indica: se caracteriza por ser de grano largo y delgado de cocción suelta adecuado para comer con tenedor. (Castillo, 2007).

2.2. CALIDAD DE ARROZ

La calidad del grano puede considerarse desde tres puntos de vista: la apariencia, la calidad de molinería y la calidad culinaria (físicoquímica); para evaluarla se han establecido procedimientos y métodos que ayudan al Fito mejorador en la evaluación de líneas y variedades.

En el fitomejoramiento en arroz trata de integrar en el término calidad, todos los factores y características necesarias para que las nuevas variedades sean aceptadas por los diferentes grupos de la economía nacional (Molina, 1994; Bassinello P.Z., de Castro A.P., de Oliveira Borba T.C., 2020)

2.2.1. Calidad molinera

Está definida con base en la proporción del grano que permanece entero o en tres cuartos de su tamaño después de ser sometido al proceso de descascarado y pulido. Es un factor muy importante para la adopción de una variedad por parte de los agricultores y molineros, Los molineros están siempre deseosos de manejar variedades con buen índice de pilada; sin embargo, las tolerancias máximas dictadas por el mercado varían según los países. Así, por ejemplo, los arroces de USA son más exigentes en la calidad molinera que los de Brasil y Colombia, (Boluga, 2010)

La calidad molinera se mide en el comportamiento del arroz con cáscara durante el proceso de molinería y viene dada por:

Rendimiento de molino: El cual indica la cantidad total de grano blanco entero y partido de una muestra. de arroz con cáscara, (Gaviria, J., 1998).

Índice de Pilada: Que es la proporción de grano entero pulido de una muestra de arroz con cáscara, (Gaviria, J., 1998).

Apariencia de grano:

La apariencia se refiere al aspecto externo del grano y depende del color, forma, tamaño, peso, longitud y de la presencia de centro blanco. Las dimensiones físicas del grano de arroz son de especial importancia para las personas que tienen que ver con las distintas áreas de la industria arrocera. La apariencia del grano se evalúa visualmente y por consiguiente es la primera característica en que se fijan los intermediarios y el consumidor (Castillo, 2007).

Usualmente constituye la base sobre la cual una variedad es rechazada o aceptada. La apariencia del grano también se evalúa por la presencia de panza blanca o centro blanco. La panza blanca o centro blanco es una opacidad que se observa en los arroces glutinosos (totalmente opacos) debido a la presencia de poros dentro de los gránulos de almidón y en los arroces no glutinosos se debe a la falta de compactación de las partículas de almidón y proteína en las células, (IRRI, 2013)

Relación largo ancho

Según el largo y ancho los arroces se pueden clasificar en:

Largo ancho: granos enteros cuya relación de largo/ancho es menor a 3 y cuya longitud media es mayor a 6.5 mm.

Largo delgado: granos enteros cuya relación de largo/ancho es igual o mayor a 3 y la longitud media es igual o mayor a 6 mm.

Tipo mediano: granos enteros cuya relación de largo/ancho es menor que 3 y la longitud media está comprendida entre 5 y 6 mm.

Tipo corto: granos enteros cuya relación de largo/ancho es menor que 2 y su longitud es menor a 5. (Alvarado y Hernaiz, 2007)

2.2.2. Calidad culinaria

La calidad culinaria del arroz está determinada por la apariencia del grano, tiempo de cocción, y la consistencia del arroz después de cocido, condiciones que están directamente afectados por factores genéticos y ambientales y por características físico - químicas tales como temperatura de gelatinización, contenido de amilosa y consistencia de gel (Castillo, 2007)

Contenido de amilosa

El almidón es el principal componente del arroz pulido y representa aproximadamente el 90% de su peso seco; está formado por dos fracciones: la amilosa y la amilopectina. La

relación amilosa amilopectina constituye un factor determinante de la calidad culinaria y comestible del arroz molinado. (IRRI, 2013)

De los componentes que tienen que ver con la calidad culinaria, el contenido de amilosa es el más importante, debido a que determina la textura del arroz después de cocido. El contenido de amilosa influye bastante en las características de cocción del arroz molinado (Martínez, 1989).

Analizador rápido de viscosidad (RVA)

El RVA es un equipo que cuantifica la viscosidad, es decir determina la resistencia al flujo de una pasta con base de almidón cuando es sometida a una tensión de desplazamiento constante, incorporando a su vez condiciones de tiempo y temperaturas específicas de acuerdo con la muestra. el tiempo de cada prueba es de 12,3 min. utilizando para ello un pequeño tamaño de muestra (3 g de harina de arroz). La prueba del RVA consiste en someter a la muestra al ciclo clásico de la cocción (precalentamiento - calentamiento-reposo) donde la viscosidad registra un comportamiento que depende en gran medida del origen y las propiedades del almidón (Ávila, 2002)

2.3. CRUCES DIALELICOS

Son un sistema de apareamiento en el cual los progenitores se cruzan entre sí para producir un número determinado de progenies $p(p-1)$ si se incluyen cruzamientos recíprocos; y $p(p-1)/2$ si no se incluyen los progenitores pueden ser líneas totalmente homocigotas o poseer algún grado de heterocigocidad (Legarda y Criollo, 1997).

Una de las principales limitaciones es el número de progenitores que se pueden incluir en los cruzamientos dialélicos. Cuando se usan $p = 10$, $p = 15$ o $p = 20$ el número de cruzamientos, sin incluir recíprocos, que se producen para evaluación son: 45, 105, 190 respectivamente por esta razón en la mayoría de los trabajos sobre dialélicos se utilizan 10 progenitores o menos (Vallejo & Estrada 2013)

Son una parte del diseño genético que han sido utilizados ampliamente en los programas de mejoramiento como punto de partida para la evaluación de propiedades genéticas de los genotipos de arroz estudiados.

Los cruzamientos dialélicos constituyen uno de los sistemas de apareamiento más utilizados en la actualidad para la estimación confiable y segura de HCG y HCE lo cual es de considerable valor para entender la naturaleza de la acción génica involucrada en la determinación de rasgos cuantitativos (Criollo, 2008).

2.3.1. Habilidad combinatoria general (HCG).

La habilidad combinatoria general, es el comportamiento promedio de una línea a través de los cruzamientos en que participa. Se asocia con los efectos aditivos. El análisis de habilidad combinatoria general permite identificar los mejores progenitores con habilidad para transmitir sus caracteres deseables a la descendencia y la habilidad combinatoria específica permite identificar aquellas combinaciones híbridas F1 sobresalientes. (Vallejo & Estrada 2013)

2.3.2. Habilidad combinatoria específica (HCE).

Se refiere a aquellas combinaciones que tienen un comportamiento relativamente mejor o peor de lo que se podría esperar con base en el comportamiento promedio de las líneas parentales. Se asocia con los efectos de dominancia. (Vallejo & Estrada 2013)

3. METODOLOGIA

3.1. SITIO DE ESTUDIO

Este estudio se realizó en el Centro Experimental Las Lagunas de Fedearroz ubicado en el municipio de Saldaña – Tolima el municipio está ubicado al sur del departamento del Tolima a 75 km de Ibagué su temperatura promedio es de 35 grados Celsius humedad relativa del 60%. Un primer momento se desarrolló en parcelas experimentales en campo. El segundo se llevó a cabo en el Laboratorio de Calidad Molinera del centro (Figura 1).

a.



b.



Figura 1. a. Centro Experimental Las Lagunas (Fedearroz, Saldaña – Tolima). b. Montaje Experimental en campo. Fuente: Autor

3.2. GENOTIPOS UTILIZADOS

Los genotipos utilizados como progenitores son variedades utilizadas por los agricultores en las diferentes zonas arroceras de Colombia y las cuales son Fedearroz 60, Fedearroz 70, Fedearroz 67, Maja 6, FNAC 070 y Oryzica 1, las cuales poseen caracteres fenotípicos contrastantes para algunos componentes de rendimiento como: número de panículas por unidad de área, longitud de panícula, fertilidad y peso de grano, así como, características de

calidad molinera, apariencia y culinaria como son índice de pilada, porcentaje de grano partido, centro blanco, grano pesado y contenido de amilosa(Figura 2) (Pérez, 2005).

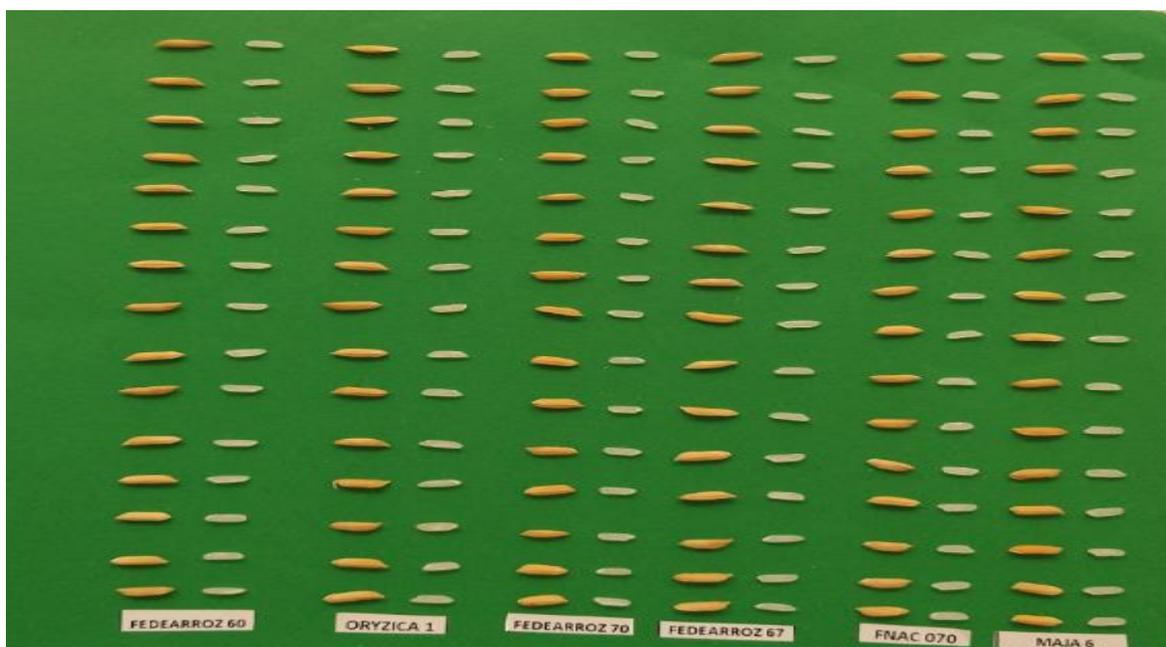


Figura 2. Genotipos utilizados para el programa de cruces. Fuente: Autor

3.3. SIEMBRA DE PARENTALES

Se realizó la siembra de parentales en parcelas de 2.5 metros cuadrados para llevar a cabo los cruzamientos. Se empleó el sistema de cruzamientos dialélicos basado en la metodología de Griffin (1956) Método Dos el cual incluye cruzamientos directos y recíprocos. (Vallejo & Estrada, 2013)

Con los seis padres seleccionados se realizaron 3 siembras en campo con siete días de diferencia entre sí para asegurar la coincidencia entre los genotipos a la hora de realizar los cruzamientos. El método de cruzamiento utilizado correspondió al cruzamiento simple bajo el método simplificado. Se obtuvieron treinta poblaciones F1, las que posteriormente se sembraron con sus parentales para evaluación. (figura 3)



Figura 3. Parentales sembrados en campo. Fuente: Autor

3.4. CRUZAMIENTOS

Se realizó por medio de la metodología de cruce simple la cual consiste en extraer de los parentales macollos en estado de máximo embaucamiento a espiga miento, que serán utilizados como madres se llevan al laboratorio de cruzamientos y se realiza el proceso de emasculación el cual consiste en retirar las anteras para posteriormente polinizar en campo con plantas donantes de polen señaladas como parental masculino (Figura 4).

a.



b.



Figura 4. Preparación de material vegetal para cruzamientos. **a** Laboratorio. **b.** Campo.

Fuente: Autor.

3.5. OBTENCIÓN DE LÍNEAS F1.

Estas se obtienen una vez realizados los cruzamientos en campo. Las panículas polinizadas son cubiertas con una bolsa tipo glacin para evitar el ingreso de palomilla la cual puede dañar la semilla en formación. Fueron llevadas al laboratorio a una temperatura ambiente en baldes con agua para garantizar que la panícula este hidratada y pudiera continuar su formación. Al cabo de 15 días la semilla F1 está formada se procede a la cosecha manual para cuantificar las semillas obtenidas de cada cruzamiento realizado (figura 5).

a.



b.



Figura 5. a. Panícula de arroz emasculada para obtención de semilla F1. b. granos F1.

Fuente: Autor

3.6. SIEMBRA DE F1

Esta se realizó en bandejas con suelo cernido, al cabo de 10 a 12 días fueron trasplantadas en campo. Se establecieron 3 repeticiones con las treinta plantas F1 por repetición, más los seis genotipos utilizados como parentales para un total de 108 parcelas, para ser evaluados en las mismas condiciones (figura 6).

a.



b.



Figura 6. a. siembra de semilla F1 en bandejas. b. semilla F1 germinada en bandejas de siembra. Fuente: Autor

3.6.1. Diseño experimental.

El montaje experimental se realizó bajo un Diseño de Bloques Completos al Azar. El cual consiste en comparar tres fuentes de variabilidad: el factor de tratamientos, el factor de bloques y el error aleatorio. El adjetivo completo se refiere a que en cada bloque se prueban todos los tratamientos. La aleatorización se hace dentro de cada bloque. (Olivares, 2010)

3.7. COSECHA F1.

Se obtuvo semillas de las poblaciones F1 en condiciones de oportunidad de cosecha, considerando la humedad de grano al momento de la cosecha, entre el 23 y 25%, posteriormente se llevó a secado utilizando incubadora Memmert Modelo BE600 hasta obtener la humedad de grano en un rango entre un 13 y 15% para poder ser evaluadas en el laboratorio (figura 7).

a.



b.



Figura 7. a. cosecha de semilla F1. b. horno de secado para bajar el contenido humedad de semilla F1 para el análisis en laboratorio. Fuente: Autor

3.8. EVALUACIÓN DE CALIDAD MOLINERA

La evaluación de las características de calidad molinera se llevó a cabo en laboratorio. Se evaluaron las variables correspondientes sobre las poblaciones objeto del presente estudio; la evaluación incluyó los genotipos parentales de los que ya se tienen referencia del comportamiento en cuanto a la calidad de grano (figura 8)



Figura 8. Laboratorio de calidad molinera para evaluación de muestras. Fuente: Autor

Para evaluar la calidad industrial de las poblaciones F1 y sus parentales se llevó a cabo la medición de rendimiento del grano, apariencia del grano, centro blanco (panza blanca), así como, longitud o ancho del grano. (IRRI, 2013).

Los parámetros de calidad culinaria se determinaron mediante la evaluación de temperatura de gelatinización, contenido de amilosa, análisis del perfil reológico, con esto, se tiene como finalidad establecer líneas promisorias de acuerdo con las necesidades de los consumidores (Martínez y Cuevas, 1989)

La valoración de la calidad conlleva a obtener un producto que cumpla con las necesidades y exigencias de los consumidores y lo convierte en un requisito para tener éxito en los procesos de mejoramiento para la obtención de variedades competitivas para la agroindustria. (Amézquita Varón, N. F., 2012)

3.8.1. Rendimiento de molino

Descascarado:

Este proceso se realizo a pequeña escala en el laboratorio con un descascarador de arroz marca Yamamoto modelo FC2K, que mediante Un sistema de flujo continuo permite que se separe la cáscara del grano. En este proceso se obtiene el arroz integral el cual es arroz descascarado, al que solo se le ha quitado la cáscara exterior, no comestible. Conservando la capa de salvado que lo envuelve, lo que le da un color café claro. Aprovechando una corriente de aire retira la cascarilla y resulta aproximadamente el 80% de arroz integral que debe ser sometido a pulimento para obtener la blancura de grano deseada (figura 9).



Figura 9. Proceso de descascarado de muestras en laboratorio. Fuente: Autor

Pulido:

El arroz se sometió a un proceso de abrasión, en el pulido marca yamamoto modelo VP-32T el cual elimina la capa superior del grano o pericarpio y se obtiene el arroz blanco o pulido o lo que llamamos masa blanca la cual es la totalidad de los granos obtenidos en el proceso de pulido y que incluye enteros y partidos. Por corriente de aire se separa la harina y ahí es

donde obtenemos el rendimiento de molino que debe estar entre un 68 y 72% y la pérdida de harina oscila entre un 8 y 12% (figura 10) (Gaviria, & Castillo, 1999).

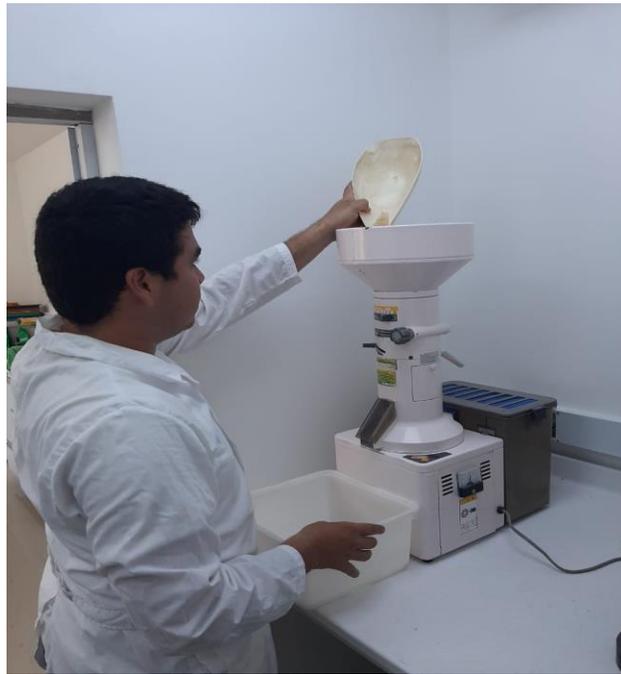


Figura 10. Proceso de pulido de muestras en laboratorio. Fuente: Autor

Clasificación:

Una vez obtenida la masa blanca se llevó a cilindro clasificador alveolar marca gaviagro modelo CCA 100 el cual tiene tiempo de clasificación de 60 segundos a 50 RPM, el cual permite separar granos enteros y así estimar el índice de pilada que es el valor porcentual del grano excelso en peso que corresponde a los granos enteros y $\frac{3}{4}$ del tamaño con respecto al peso de la masa blanca (Gaviria & Castillo, 1999) (Figura 11).



Figura 11. Proceso de clasificación en laboratorio. Fuente: Autor

3.8.2. Apariencia de grano

Para evaluar apariencia de grano, se empleó el Analizador estadístico de imágenes S21.

El S21 realiza una clasificación industrial, analizando la muestra por tamaño y color, proporcionando datos de granos enteros, relación Largo/Ancho, % defectos como: centro blanco y área yesada de la muestra, a través de la toma de 1 fotografía por segundo y el proceso de datos a nivel estadístico con el software de la misma marca. Los resultados se muestran en una tabla de Excel para facilitar el análisis de los datos obtenidos. (Maciel, N, S., 2020) (Figura 12). Las variables para analizar después de este proceso son:

3.8.3. Relación largo ancho:

Se agrupan por tipo de arroz, en tres grandes categorías: grano largo, grano medio y grano corto estos se clasifican según la medida de estos después del análisis realizado; esta relación puede estar entre 6 y 6.5 mm para el mercado nacional. (Amézquita Varón, N. F., 2012).

3.8.4. Contenido de centro blanco:

Esto se observa en las partes opacas de un grano de arroz procesado que afecta la apariencia del grano esto se debe a un defecto genético de cada variedad de arroz. (Torres, E.; Jennings, P., 2002).

3.8.5. Granos yesados:

Grano de arroz entero que tiene más de la mitad de su área una apariencia similar al yeso o tiza afectando la apariencia de la muestra. (IRRI, 2013)

a.



b.



Figura 12. a. analizador de granos s21. b imagen arrojada por el analizador de granos para la interpretación de resultados. Fuente: Autor

3.9. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD CULINARIA

Esta evaluación se realizó en los granos de arroz de las poblaciones utilizadas en el estudio (los 6 parentales y las 30 poblaciones F1).

3.9.1. Contenido de amilosa

El contenido de amilosa es la cualidad que determina si una variedad de arroz es suelta o pegajosa está determinada por los siguientes valores: Martínez C, Cuevas F. (1989)

Baja: menor al 22%

Intermedia: 23 – 27 %

Alta: 28 – 33 %.

Para evaluar el contenido de amilosa de las poblaciones F1 se utilizó el NIRS DS 2500 el cual se encuentra en el laboratorio del FLAR. (fondo latinoamericano de arroz de riego) ubicado en Palmira – Valle.

Este equipo utiliza la tecnología de infrarrojo cercano por reflectancia, lo cual agiliza el tiempo de análisis de las muestras, mayor potencia, precisión y rendimiento. Este instrumento nos permite, además de realizar calibraciones en harina, utilizar la muestra de arroz integral. Esto representa un uso más eficiente del tiempo para la preparación de la muestra, ya que en este caso no se requiere descascarar, pulir y moler el grano. El software utilizado facilita la obtención de resultados, genera un reporte de resultados en tiempo real y permite la visualización de gráficos, análisis de tendencias y el almacenamiento de un mayor número de espectros. (Loaiza K., 2016; Avila *et al.*, 2014) (Figura 13).



Figura 13. NIRS ds2500 equipo utilizado para análisis de contenido de amilosa. Fuente: <https://flar.org/nirs-ds2500-el-equipo-mas-esperado-del-2016-ya-esta-aqui/>

3.9.2. Análisis rápido de viscosidad.

Consiste en tomar una muestra de arroz previamente descascarada y pulida, luego se, molió en un molino ciclónico marca UDY Mill que está provisto una malla para obtener la granulometría exigida por la metodología que es de 3 micras posteriormente se pesan 3 g de la harina en una balanza analítica de 0,100 mg de apreciación, finalmente se miden 25 ml de agua destilada y se depositan en una cápsula de aluminio que provee el equipo para realizar la prueba (Ávila, 2002; Ávila *et al.*, 2014) (Figura 14).

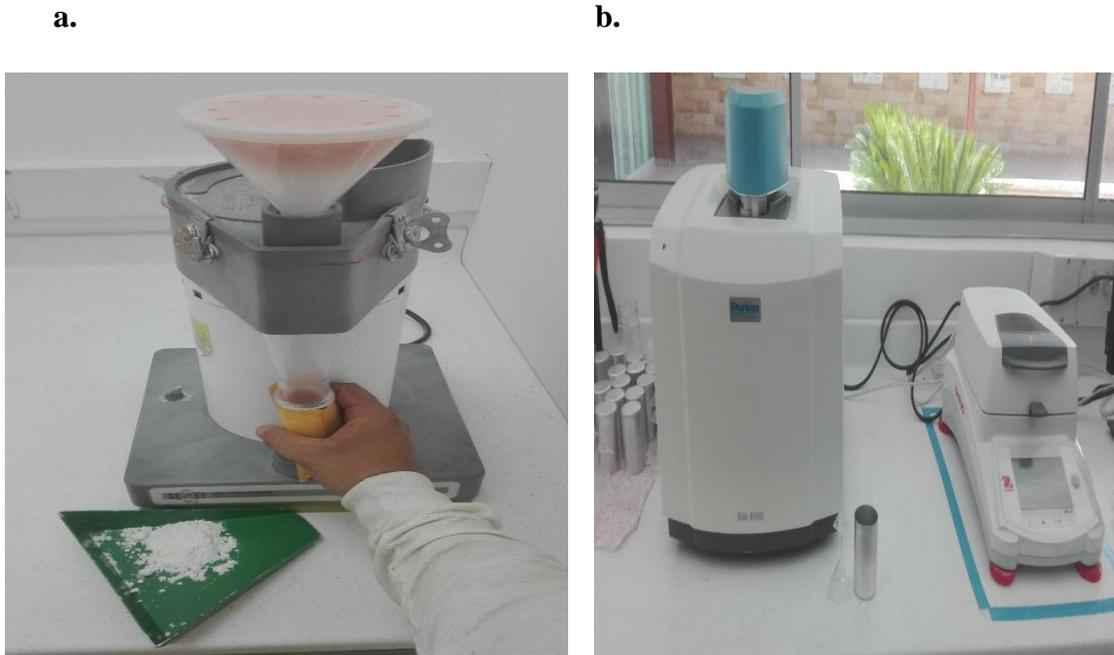


Figura 14. a. molino ciclónico utilizado para elaboración de harina de la muestra para análisis en el RVA b balanza de humedad y RVA utilizados para el análisis de muestras.

Fuente: Autor

Al inicio de la corrida se observan bajas temperaturas y una menor viscosidad, al incrementar la temperatura cerca del rango de la gelatinización los gránulos comienzan a apretarse unos contra otros formando una pasta lo que produce un incremento en la viscosidad, este instante se conoce como temperatura de la pasta que puede ser definido como la temperatura mínima requerida para cocinar la muestra y a su vez es asociada a la temperatura de gelatinización. Después de 12 minutos el RVA termina la muestra arrojando una curva y un reporte para la interpretación de resultados. (Ávila, M. 2002) (Figura 15).

Las variables para analizar son:

Breakdown:

Es la capacidad de retención de agua de una muestra para soportar una tensión, está se calcula con la diferencia entre el pico máximo y el punto mínimo de la viscosidad. (Loaiza & Larrahondo, 2017).

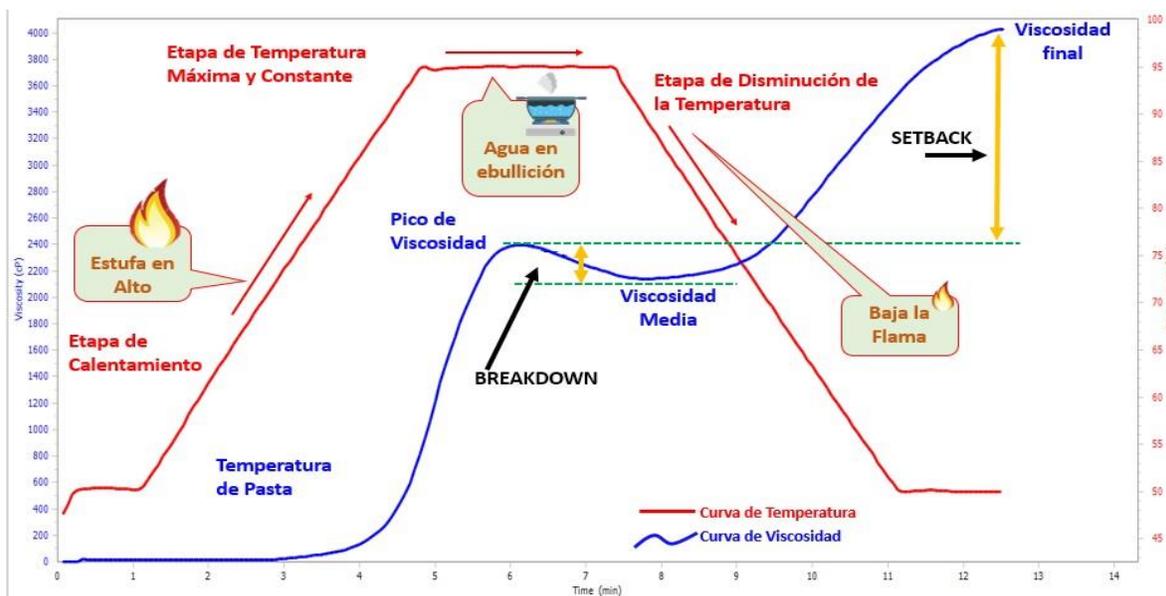
Seetback:

Este fenómeno se define como la insolubilización y precipitación espontanea de las moléculas de amilosa, debido a que sus cadenas lineales se reordenan paralelamente por puentes de hidrogeno este se calcula por la diferencia entre punto de viscosidad final y pico de viscosidad. (Loaiza & Larrahondo, 2017).

Viscosidad final:

El punto de viscosidad final indica la capacidad del material para formar un gel después de cocinar y enfriar ((Loaiza y Larrahondo, 2017).

a.



b.

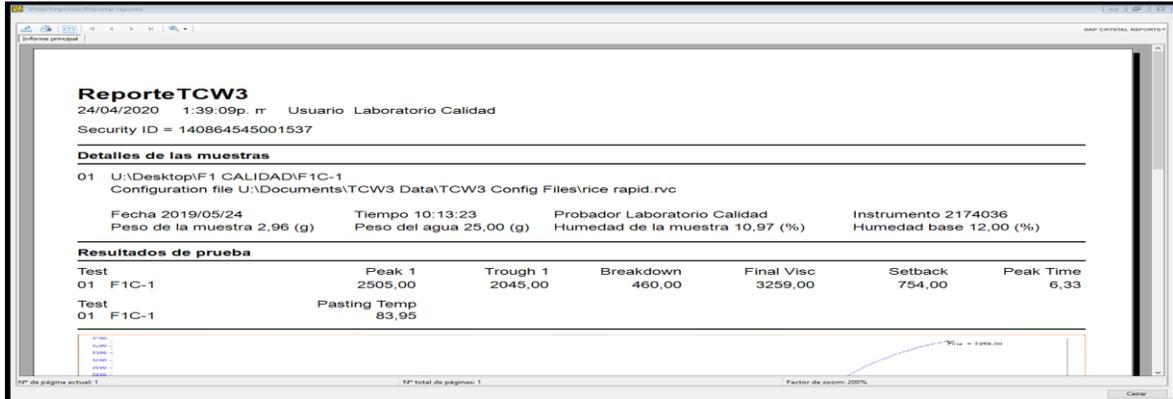


Figura 15. a. explicación curva arrojada por el RVA de la muestra realizada. b. reporte de resultados de la muestra realizada. Fuente: Autor

3.10. MÉTODO ESTADÍSTICO

Una vez obtenidos los datos de las variables utilizadas se realizó la interpretación de los mismo utilizando el software estadístico Infostat® 2020p y Excel®, Microsoft Office ® 2016.

3.10.1 Análisis dialélico.

El método utilizado fue el diseño 1 de Griffing, el modelo estadístico es el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + g_i + g_j + S_{ij} + r_{ij} + \beta_j + e_{jk}$$

Donde:

Y_{ijK} = Valor genotípico observado de la cruce con progenitores i y j en bloques k.

μ = Media poblacional

g_i y g_j = Efecto de aptitud combinatoria general.

S_{ij} = Efecto de la aptitud combinatoria específica por el cruce.

r_{ij} = Efecto recíproco del cruce de la línea.

e_{jk} = Efecto del error experimental.

3.10.2 Efectos de la aptitud combinatoria general, específica y recíprocos.

Para la estimación de los efectos de aptitud combinatoria general y específica, a través del diseño 1 de Griffing, se utilizaron las siguientes formulas:

Estimación de la Aptitud Combinatoria General.

$$g_i = \frac{1}{2n}(Y_{i.} + Y_{.j}) - \frac{1}{n^2}Y_{..}$$

Estimación de la Aptitud Combinatoria Específica.

$$S_{ij} = \frac{1}{2}(Y_{ij} + Y_{ji}) - \frac{1}{2n}(Y_{i.} + Y_{.i} + Y_{.j} + Y_{.j}) + \frac{1}{n^2}Y_{..}$$

Estimación de la Aptitud Combinatoria Recíproco.

$$r_{ij} = \frac{1}{2}(Y_{ij} - Y_{ji})$$

Donde:

n = Número de progenitores.

$Y_{i.}$, $Y_{.i}$, $Y_{.j}$, $Y_{.j}$ = Suma de los cruzamientos de cada progenitor con los demás.

Y_{ij} , Y_{ji} = Promedio de las cruzas.

$Y_{..}$ = Suma de todas las cruzas.

3.11. METODO Y MODELO EXPERIMENTAL UTILIZADO

3.11.1. Método 1 de Griffing (1956):

Incluye progenitores, cruzamientos directos y cruzamientos recíprocos (todas las p2 combinaciones) con este método se puede trabajar con la F1, utilizando una tabla dialélica

completa. Los datos pueden ser usados para hacer un ANOVA y testear la presencia de efectos genéticos aditivos y dominantes. También permite obtener otras informaciones como la proporción de alelos con efectos positivos en los parentales. Para estimar la HCG (habilidad combinatoria general) y la HCG (habilidad combinatoria específica). (Vallejo, F.A. *et al.*, 2002)

3.11.2. Modelo 1:

Llamado también modelo fijo, en el cual los progenitores han sido deliberadamente seleccionados, el material sobre el cual se realiza el estudio y no hay una población de referencia sobre la que se hará inferencia de ningún tipo. En estos estudios se estiman efectos genéticos tales como habilidades combinatorias generales y específicas, pero no se pueden determinar componentes de varianzas genéticas y por lo tanto tampoco heredabilidad. (Vallejo, F.A. *et al.*, 2002)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CALIDAD MOLINERA

A continuación, se presentan los resultados de las variables evaluadas en laboratorio en cuanto a la calidad molinera de los granos de arroz, en la generación F1 obtenidas a partir del programa de cruce dialélico aplicado.

4.1.1. Rendimiento de molino.

Observando los resultados obtenidos en el análisis de varianza para la variable de Rendimiento de Molino, se presenta un coeficiente de variación de 0,28 es decir que el ensayo fue establecido de manera homogénea y los datos evaluados no tuvieron una variación significativa ya que esta es una variable analizada en condiciones controladas de laboratorio (tabla 1).

Tabla 1. Cuadro análisis de varianza completa para variable Rendimiento de molino.

CUADRO DE ANÁLISIS DE LA VARIANZA COMPLETA RENDIMIENTO DE MOLINO (SC TIPO III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
GENOTIPO	297,52	35	61,12	988,1	<0.0001
REPETICIÓN	100,51	2	79,45	1284,35	<0.0001
HCG	14,00	5	2,80	2,31	<0.0001
HCE	10,72	15	0,71	6,96	<0.0001
RECÍPROCOS	8,783	15	0,59	3,51	<0.0001
ERROR	4,33	70	0,06		
R ² AJ	0,99				
CV	0,28				

Este es el diseño de tabla

*HCG: Habilidad Combinatoria General. HCE: Habilidad Combinatoria Específica

Una vez analizados los cálculos de los efectos de habilidad combinatoria general para la variable rendimiento molino se pudo observar que el genotipo Maja 6 presenta el resultado más alto con (0,192) es decir que este es el genotipo que tiene la mayor posibilidad de aportar esta condición en su descendencia (tabla 2).

Tabla 2. Cálculo de los efectos de HCG para cada padre para rendimiento de molino.

VARIEDAD	GL	HCG
FED 60	g1	-0,229
ORY 1	g2	-0,112
FED 70	g3	0,147
FED 67	g4	0,057
FNAC 070	g5	-0,055
MAJA 6	g6	0,192

Una vez analizados los cálculos sobre efectos de habilidad combinatoria específica para la variable rendimiento molino se logra ver que el genotipo que el cruce directo y recíproco realizado con los genotipos (Fedearroz 70 y Fedearroz 67) presenta el resultado más alto con (0,54) es decir que los cruces realizados con estos genotipos son los que mejor heredaron este carácter en las poblaciones F1 observadas (tabla 3).

Tabla 3. Cálculo de efectos de HCE para cada cruce en la variable rendimiento de molino.

GENOTIPO	HCE
F60 / F60	0,13
F60XORY1 / ORY1XF60	0,02
F60XF70 / F70XF60	0,07
F60XF67/F67XF60	0,23
F60XFNAC070 / FNAC070XF60	-0,22
F60XMJ6 / MJ6XF60	-0,35
ORY 1 / ORY 1	-0,08
ORY1XF70 / F70XORY1	0,29
ORY1XF67 / F67XORY1	0,12
ORY1XFNAC070 / FNAC070XORY1	0,13
ORYXMJ6 / MJ6XORY1	0,11
F70 / F70	0,07
F70XF67 / F67XF70	0,54
F70XFNAC070 / FNAC070XF70	0,28
F70XMJ6 / MJ6XF70	0,38
F67 / F67	-0,13
F67XFNAC070 / FNAC070XF67	0,20
F67XMJ6 / MJ6 X F67	0,39
FNAC070 / FNAC070	0,26
FNAC070XMJ6 / MJ6XFNAC070	0,47
MJ6 / MJ6	24,40

Una vez realizada la prueba de significancia se observa que la población F1 obtenida del cruzamiento realizado con los genotipos Maja 6 X FNAC 070 presenta una mayor significancia con relación a las otras poblaciones analizadas es decir que esta cruza fue la que mejor heredo el carácter de rendimiento de molino (Tabla 4).

4.1.2. Índice de pilada

De acuerdo con la tabla del análisis de varianza para la variable de índice de pilada, se presenta un coeficiente de variación de 0,42 es decir que el ensayo fue establecido de manera homogénea y los datos obtenidos no tuvieron una variación significativa ya que esta es una variable analizada en laboratorio (tabla 5).

Una vez analizados los cálculos de los efectos de habilidad combinatoria general para la variable índice de pilada podemos observar que el genotipo Fedearroz 70 presenta el valor más alto con (1,123) es decir que este es el genotipo que tiene la mayor posibilidad de aportar esta condición en su descendencia (tabla 6).

Tabla 4. Prueba de significancia con el método de Fisher para variable rendimiento de molino DMS=0.32762 Error:0.0405.

GENOTIPOS	MEDIAS	
MJ6XFNAC70	73,32	A
F67XF70	72,88	B
MJ6XF67	72,71	B C
FNAC70XF67	72,7	B C
F70XMJ6	72,69	B C
O1XF70	72,56	B C D
MAJA 6	72,52	C D
F67XF60	72,49	C D
F67XMJ6	72,43	C D
MJ6XO1	72,4	C D
MJ6XF70	72,4	C D
F70XF67	72,35	D
FNAC70XMJ6	72,33	D
F60XF70	71,83	E
F67XO1	71,79	E F
FNAC70XF70	71,74	E F G
F70XO1	71,69	E F G
FED 70	71,47	F G H
FNAC 070	71,46	G H I
FNAC70XO1	71,3	H I J
F70XFNAC70	71,26	H I J K
F70XF60	71,14	I J K L
O1XMJ6	71,08	J K L M
O1XF67	70,93	K L M N
F60XF67	70,9	L M N
FED 60	70,89	L M N
MJ6XF60	70,83	L M N
O1XFNAC70	70,79	M N
F60XO1	70,75	N
FED 67	70,61	N O
O1XF60	70,34	O P
ORY 1	70,24	P Q
F60XFNAC70	70,05	P Q R
FNAC70XF60	69,97	Q R
F60XMJ6	69,86	R
F67XFNAC70	69,82	R

MEDIAS CON UNA LETRA COMÚN NO SON SIGNIFICATIVAMENTE DIFERENTES (P > 0.05)

Tabla 5. Cuadro de Análisis de la Varianza COMPLETA índice de pilada (SC tipo III).

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
GEN	2139,28	35	61,12	988,1	<0.0001
REP	158,9	2	79,45	1284,35	<0.0001
HCG	591,88	5	118,38	2,31	<0.0001
HCE	47,94	15	3,20	6,96	<0.0001
RECIPROCOS	73,274	15	4,88	3,51	<0.0001
ERROR	4,33	70	0,06		
TOTAL	3015,60	105			
R ² AJ	1				
CV	0.42				

*HCG: Habilidad Combinatoria General. HCE: Habilidad Combinatoria Específica

Tabla 6. Cálculo de los efectos de HCG para índice de pilada de cada padre.

GENOTIPO		
FED 60	g1	-1,392
ORY 1	g2	-1,227
FED 70	g3	1,123
FED 67	g4	0,594
FNAC 070	g5	0,355
MAJA 6	g6	0,546

Teniendo en cuenta los cálculos sobre efectos de habilidad combinatoria específica para la variable índice de pilada se logró determinar que el cruce directo y recíproco realizado con los genotipos (Fedearroz 70 y Fnac 070) presenta el valor más alto con (2,75) es decir que los cruces realizados con estos genotipos son los que mejor heredaron este carácter en las poblaciones F1 observadas (tabla 7).

Tabla 7. Cálculo de efectos HCE para cada cruza.

GENOTIPO	HCE
F60 / F60	0,14
F60xOry1 / Ory1xF60	-0,03
F60xF70 / F70xF60	0,46
F60xF67/F67xF60	0,46
F60xFnac070 / Fnac070xF60	-0,50
F60xMJ6 / MJ6xF60	-0,78
Ory 1 / Ory 1	-0,40
Ory1xF70 / F70xOry1	0,24
Ory1xF67 / F67xOry1	0,11
Ory1xFnac070 / Fnac070xOry1	0,05
OryxMJ6 / MJ6xOry1	0,84
F70 / F70	1,94
F70xF67 / F67xF70	2,42
F70xFnac070 / Fnac070xF70	2,75
F70xMJ6 / MJ6xF70	2,41
F67 / F67	1,67
F67xFnac070 / Fnac070xF67	1,84
F67xMJ6 / MJ6 x F67	2,13
Fnac070 / Fnac070	1,77
Fnac070xMJ6 / MJ6xFnac070	2,24
MJ6 / MJ6	21,83

Al observar los resultados obtenidos de la prueba de significancia se observó que la población F1 obtenida del cruzamiento realizado con los genotipos Fedearroz 70 X FNAC 070 presenta una mayor significancia con relación a las otras poblaciones analizadas es decir que esta cruza fue la que mejor heredo el carácter de índice de pilada (tabla 8).

**Tabla 8. Prueba de significancia con el método de Fisher para variable índice de pilada
DMS=0.40502 Error: 0.0619.**

PRUEBA DE SIGNIFICANCIA VARIABLE INDICE DE PILADA		
gen	Media	
FNAC70XF70	64,9	A
F67XF70	64,42	B
FNAC70XF67	64,33	B C
FED 70	64,31	B C
F70XMJ6	64,27	B C
FNAC70XMJ6	64,08	B C D
F70XFNAC70	63,98	C D
F70XF67	63,94	C D
MJ6XF70	63,73	D E
MJ6XF67	63,52	E
MJ6XFNAC70	62,88	F
F67XMJ6	62,79	F
FED 67	61,92	G
FNAC 070	61,52	H
F67XF60	61,43	H
MAJA 6	61,3	H
F60XF70	60,59	I
O1XMJ6	59,5	J
F70XO1	59,39	J K
F70XF60	59,16	J K L
F67XFNAC70	59,1	J K L
MJ6XO1	59,08	K L
O1XF70	59,07	K L
F67XO1	58,84	L
MJ6XF60	58,38	M
FNAC70XO1	56,57	N
O1XFNAC70	56,14	O
O1XF67	55,67	P
FNAC70XF60	55,18	Q
F60XF67	55,14	Q
F60XFNAC70	54,23	R
FED 60	52,11	S
F60XO1	51,49	T
O1XF60	51,25	T
F60XMJ6	50,46	U
ORY 1	50,24	U

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

4.1.3. Contenido de yesado

De acuerdo con la tabla del análisis de varianza para la variable de contenido de yesado, se presenta un coeficiente de variación de 2,37 es decir que el ensayo fue establecido de manera homogénea y los datos obtenidos no tuvieron una variación significativa (tabla 9).

Tabla 9. Cuadro de Análisis de la Varianza completa contenido de yesado (SC tipo III).

CUADRO DE ANÁLISIS DE LA VARIANZA COMPLETA % YESADO(SC TIPO III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
GEN	6,96	35	61,12	988,1	<0.0001
REP	0,01	2	79,45	1284,35	<0.0001
ACG	0,31	5	0,06	1,0297	<0.0001
ACE	1,31	15	0,09	1,4566	<0.0001
RECIPROCOS	0,701	15	0,05	0,7794	<0.0001
ERROR	4,33	70	0,06		
R ² AJ	0,99				
CV	2,37				

*HCG: Habilidad Combinatoria General. HCE: Habilidad Combinatoria Específica

Una vez analizados los cálculos de los efectos de habilidad combinatoria general para la variable contenido de yesado podemos observar que el genotipo Fnac 070 presenta el valor más alto con (0,027) es decir que este es el genotipo que tiene la mayor posibilidad de aportar esta condición en su descendencia (tabla 10).

Tabla 10. Estimación de parámetros genéticos para cálculo de HCG de cada padre para contenido de yesado.

FED 60	g1	-0,002
ORY 1	g2	0,021
FED 70	g3	-0,033
FED 67	g4	0,010
FNAC 070	g5	0,027
MAJA 6	g6	-0,023

Una vez analizados los cálculos sobre efectos de habilidad combinatoria específica para la variable contenido de yesado se puede decir que los cruces directos y recíprocos realizados con los genotipos (Fnac070 x Fedearroz 67 y F60xMaja 6) son las que presentan el valor más alto con (0,11) es decir que los cruces realizados con estos genotipos son los que

mejor heredaron el carácter de contenido de yesado en las poblaciones F1 observadas (tabla 11).

Tabla 11. Cálculo efectos de HCE para cada cruce para la variable contenido de yesado.

GENOTIPO	HCE
F60 / F60	0,11
F60xOry1 / Ory1xF60	0,09
F60xF70 / F70xF60	-0,02
F60xF67/F67xF60	0,00
F60xFnac070 / Fnac070xF60	-0,01
F60xMJ6 / MJ6xF60	0,11
Ory 1 / Ory 1	-0,11
Ory1xF70 / F70xOry1	0,10
Ory1xF67 / F67xOry1	0,03
Ory1xFnac070 / Fnac070xOry1	0,02
OryxMJ6 / MJ6xOry1	-0,02
F70 / F70	-0,02
F70xF67 / F67xF70	-0,03
F70xFnac070 / Fnac070xF70	-0,11
F70xMJ6 / MJ6xF70	-0,03
F67 / F67	-0,06
F67xFnac070 / Fnac070xF67	0,11
F67xMJ6 / MJ6 x F67	-0,02
Fnac070 / Fnac070	0,05
Fnac070xMJ6 / MJ6xFnac070	0,00
MJ6 / MJ6	0,28

Después de revisar la prueba de significancia se observa que la población F1 obtenida del cruzamiento realizado con el genotipo Fedearroz 60 presenta una mayor significancia es decir que ninguno de los cruzamientos realizados supera a este genotipo (tabla 12).

3.10.4. Contenido de centro blanco

A continuación, se muestra la tabla de resultados obtenidos para la variable contenido de centro blanco donde se observa que En las repeticiones no existe diferencia estadística, altamente significativa ya que el coeficiente de variación fue bajo esto quiere decir que no hubo efecto del medio ambiente en el área experimental. Por lo tanto, no afecta los datos obtenidos para el análisis de la variable (tabla 13).

Tabla 13. Cuadro de Análisis de la Varianza completa contenido de centro blanco (SC tipo III).

CUADRO DE ANÁLISIS DE LA VARIANZA COMPLETA CONTENIDO DE CENTRO BLANCO(SC TIPO III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
GEN	30,36	35	61,12	988,1	<0.0001
REP	0,0013	2	79,45	1284,35	<0.0001
HCG	0,69	5	0,14	2,3066	<0.0001
HCE	6,27	15	0,42	6,9620	<0.0001
RECIPROCOS	3,163	15	0,21	3,5148	<0.0001
ERROR	4,33	70	0,06		
R² AJ	0,98				
CV	10,68				

*HCG: Habilidad Combinatoria General. HCE: Habilidad Combinatoria Específica

Se muestra la tabla de resultados para los efectos de habilidad combinatoria general en la variable contenido de centro blanco por medio de la cual se observó que el genotipo Oryzica 1 presenta el valor más alto con (0,042) es decir que este es el genotipo que tiene la mayor posibilidad de aportar el carácter de contenido de centro blanco en sus poblaciones descendientes (tabla 14).

Tabla 14. Estimación de HCG para cada padre en la variable contenido de centro blanco.

FED 60	g1	0,010
ORY 1	g2	0,042
FED 70	g3	-0,024
FED 67	g4	-0,005
FNAC 070	g5	0,032
MAJA 6	g6	-0,054

Una vez analizados los cálculos sobre efectos de habilidad combinatoria específica para la variable contenido de centro blanco se logra observar que el genotipo que el cruce directo y reciproco realizado con los genotipos (Fedearroz 60 y Maja 6) presenta el valor más alto con (0,26) es decir que los cruces realizados con estos genotipos son los que mejor heredaron este carácter del en las poblaciones F1 observadas (tabla 15).

Tabla 15. Cálculo de HCE para la variable contenido de centro blanco en cada cruce.

GENOTIPO	HCE
F60 / F60	0,19
F60xOry1 / Ory1xF60	0,15
F60xF70 / F70xF60	-0,16
F60xF67/F67xF60	0,00
F60xFnac070 / Fnac070xF60	-0,17
F60xMJ6 / MJ6xF60	0,26
Ory 1 / Ory 1	0,05
Ory1xF70 / F70xOry1	0,05
Ory1xF67 / F67xOry1	0,05
Ory1xFnac070 / Fnac070xOry1	-0,02
OryxMJ6 / MJ6xOry1	-0,13
F70 / F70	0,32
F70xF67 / F67xF70	-0,03
F70xFnac070 / Fnac070xF70	-0,20
F70xMJ6 / MJ6xF70	-0,08
F67 / F67	-0,10
F67xFnac070 / Fnac070xF67	0,09
F67xMJ6 / MJ6 x F67	-0,05
Fnac070 / Fnac070	0,36
Fnac070xMJ6 / MJ6xFnac070	-0,03
MJ6 / MJ6	0,16

Una vez realizada la prueba de significancia para la variable contenido de centro blanco se pudo ver que las poblaciones F1 obtenidas de los cruzamientos realizado con los genotipos FNAC 070 x Fedearroz 70 y Maja 6 x Orizica 1 y Fedearroz 60 x Fedearroz 70 son los presentan una mayor significancia con relación a las otras poblaciones analizadas y superando a los parentales (tabla 16).

Tabla 16. Prueba de significancia para la variable centro blanco bajo el modelo de Fisher. DMS=0.11872 Error: 0.0053.

gen	Medias							
FNAC70XF70	0,1	A						
MJ6XO1	0,1	A						
F60XF70	0,13	A						
F60XFNAC70	0,2	A	B					
O1XMJ6	0,2	A	B					
F70XF60	0,2	A	B					
MJ6XF70	0,2	A	B					
FNAC70XMJ6	0,2	A	B					
MJ6XF67	0,2	A	B					
FNAC70XO1	0,3		B	C				
O1XF70	0,3		B	C				
F70XFNAC70	0,3		B	C				
FED 67	0,4		C	D				
F70XMJ6	0,4		C	D				
FNAC70XF60	0,4		C	D				
FED 60	0,5			D	E			
F67XO1	0,5			D	E			
MAJA 6	0,5			D	E			
F67XFNAC70	0,53			E				
F60XF67	0,57			E				
MJ6XF60	0,57			E				
F67XF70	0,6			E	F			
F67XMJ6	0,6			E	F			
F70XF67	0,6			E	F			
MJ6XFNAC70	0,7			F	G			
F67XF60	0,8				G			
ORY 1	1					H		
F60XO1	1,2						I	
O1XF67	1,2						I	
O1XFNAC70	1,2						I	
F70XO1	1,3						I	J
O1XF60	1,4							J
FNAC70XF67	1,6							K
FED 70	1,6							K
FNAC 070	1,9							L
F60XMJ6	2,07							M

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

4.1.5. Relación largo ancho

Después de analizar los resultados arrojados por la tabla de varianza obtenido para la variable relación largo ancho se observó que el coeficiente de variación arrojado es de 2,39 es decir que no hubo efecto del medio ambiente en el área experimental. Por lo tanto, no afecta los datos obtenidos para el análisis de la variable.

Tabla 17. Cuadro de Análisis de la Varianza completa relación largo ancho (SC tipo III)

CUADRO DE ANÁLISIS DE LA VARIANZA COMPLETA RELACION LARGO ANCHO (SC TIPO III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
GEN	2,27	35	61,12	988,1	<0.0001
REP	0,02	2	79,45	1284,35	<0.0001
HCG	0,38	5	0,08	1,2819	<0.0001
HCE	0,18	15	0,01	0,1962	<0.0001
RECIPROCOS	0,246	15	0,02	0,2735	<0.0001
ERROR	4,33	70	0,06		
R ² AJ	0.75				
CV	2.39				

*HCG: Habilidad Combinatoria General. HCE: Habilidad Combinatoria Específica

A continuación, encontramos la tabla con los cálculos sobre efectos de habilidad combinatoria general para la variable relación largo ancho se pudo observar que los genotipos Fedearroz 60 y Oryzica 1 presentan el valor más alto con (0,034) es decir que estos genotipos que tiene la mayor posibilidad de aportar esta condición en sus poblaciones descendientes (tabla 18).

Tabla 18. Estimación de efectos de HCG para cada padre en la variable relación largo ancho.

FED 60	g1	0,034
ORY 1	g2	0,034
FED 70	g3	-0,006
FED 67	g4	-0,017
FNAC 070	g5	-0,022
MAJA 6	g6	-0,022

De acuerdo con los cálculos sobre efectos de habilidad combinatoria específica para la variable relación largo ancho se concluye que el cruce directo y reciproco realizado con los

genotipos (Oryzica1 y Fedearroz 67) presenta el valor más alto con (0,03) es decir que los cruces realizados con estos genotipos son los que mejor heredaron este carácter en las poblaciones F1 obtenidas. (tabla 19).

Tabla 19. Cálculo de efectos de HCE en la variable relación largo ancho para cada cruzamiento

GENOTIPO	HCE
F60 / F60	0,02
F60xOry1 / Ory1xF60	0,02
F60xF70 / F70xF60	0,00
F60xF67/F67xF60	0,02
F60xFnac070 / Fnac070xF60	-0,02
F60xMJ6 / MJ6xF60	0,00
Ory 1 / Ory 1	0,00
Ory1xF70 / F70xOry1	-0,02
Ory1xF67 / F67xOry1	0,03
Ory1xFnac070 / Fnac070xOry1	0,01
OryxMJ6 / MJ6xOry1	-0,03
F70 / F70	-0,05
F70xF67 / F67xF70	-0,01
F70xFnac070 / Fnac070xF70	-0,03
F70xMJ6 / MJ6xF70	-0,04
F67 / F67	-0,11
F67xFnac070 / Fnac070xF67	-0,09
F67xMJ6 / MJ6 x F67	-0,03
Fnac070 / Fnac070	-0,03
Fnac070xMJ6 / MJ6xFnac070	-0,04
MJ6 / MJ6	1,04

A continuación, se presenta la prueba de significancia donde se pudo ver que las poblaciones F1 obtenidas a partir de los cruzamientos realizados con los genotipos Fedearroz 67 x Fnac 070 presentan una mayor significancia en relación a las otras poblaciones analizadas. (tabla 20).

Tabla 20. Prueba de significancia para la variable relación largo ancho. Bajó prueba de Fisher, DMS=0.13169 Error: 0.0065.

Genotipo	Medias											
F67XFNAC70	3,07	A										
FED 67	3,1	A	B									
F60XFNAC70	3,2		B	C								
MJ6XF60	3,2		B	C								
MJ6XF70	3,2		B	C								
FNAC70XF67	3,23			C	D							
MAJA 6	3,23			C	D							
F67XMJ6	3,27			C	D	E						
O1XMJ6	3,27			C	D	E						
FED 70	3,3			C	D	E	F					
MJ6XFNAC70	3,3			C	D	E	F					
FNAC70XMJ6	3,3			C	D	E	F					
FNAC70XF70	3,3			C	D	E	F					
F70XFNAC70	3,33				D	E	F	G				
FNAC 070	3,33				D	E	F	G				
F67XF60	3,33				D	E	F	G				
F70XMJ6	3,37					E	F	G				
MJ6XF67	3,37					E	F	G				
MJ6XO1	3,37					E	F	G				
F70XO1	3,4						F	G	H			
F70XF67	3,4						F	G	H			
O1XF70	3,4						F	G	H			
F67XF70	3,4						F	G	H			
F70XF60	3,4						F	G	H			
O1XFNAC70	3,43							G	H	I		
FNAC70XO1	3,43							G	H	I		
O1XF67	3,5								H	I	J	
FED 60	3,5								H	I	J	
FNAC70XF60	3,53									I	J	K
F60XF70	3,53									I	J	K
F67XO1	3,53									I	J	K
ORY 1	3,57										J	K
O1XF60	3,6										J	K
F60XF67	3,63											K
F60XMJ6	3,63											K
F60XO1	3,63											K

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

4.2. CALIDAD CULINARIA

A continuación, se presentan los resultados de las variables evaluadas en laboratorio en cuanto a la calidad culinaria de los granos de arroz, en la generación F1 obtenidas a partir del programa de cruce dialélico aplicado.

4.2.1 Contenido de amilosa

Una vez analizados los resultados obtenidos en el análisis de varianza para la variable de contenido de amilosa, se presenta un coeficiente de variación de 0,77 es decir que el ensayo fue establecido de manera homogénea y los datos arrojados no tuvieron una variación significativa ya que esta es una variable analizada en laboratorio (tabla 21)

Tabla 21. Cuadro de Análisis de la Varianza COMPLETA contenido amilosa (SC tipo III).

CUADRO DE ANÁLISIS DE LA VARIANZA COMPLETA CONTENIDO AMILOSA (SC TIPO III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
GEN	250,24	35	61,12	988,1	<0.0001
REP	1,41	2	79,45	1284,35	<0.0001
HCG	21,33	5	4,27	71,0862	<0.0001
HCE	49,54	15	3,30	55,0461	<0.0001
RECIPROCOS	11,032	15	0,74	12,2580	<0.0001
ERROR	4,33	70	0,06		
R ² AJ	0,98				
CV	0,77				

*HCG: Habilidad Combinatoria General. HCE: Habilidad Combinatoria Específica

Después de revisar los cálculos de los efectos de habilidad combinatoria general para la variable índice de pilada podemos observar que el genotipo Oryzica1 presenta el valor más alto con (0,297) es decir que este es el genotipo que tiene la mayor posibilidad de aportar esta condición en sus poblaciones descendientes (tabla 22).

Tabla 22. Estimación de HCG para cada padre en la variable contenido de amilosa.

FED 60	g1	0,102
ORY 1	g2	0,297
FED 70	g3	0,051
FED 67	g4	-0,012
FNAC 070	g5	-0,208
MAJA 6	g6	-0,230

En la tabla 23 se presentan los cálculos para habilidad combinatoria específica sobre el contenido de amilosa. Se observa que el genotipo del cruce directo y recíproco Oryzica 1 y Fnac070 presenta el valor más alto, es decir los cruces realizados con estos genotipos son los que mejor heredaron este carácter en las poblaciones F1 analizadas.

Tabla 23. Estimación de efectos de HCE para la variable contenido de amilosa en cada cruzamiento realizado.

GENOTIPO	HCE
F60 / F60	0,20
F60xOry1 / Ory1xF60	0,01
F60xF70 / F70xF60	-0,22
F60xF67/F67xF60	-0,02
F60xFnac070 / Fnac070xF60	-0,18
F60xMJ6 / MJ6xF60	0,46
Ory 1 / Ory 1	0,02
Ory1xF70 / F70xOry1	0,27
Ory1xF67 / F67xOry1	0,22
Ory1xFnac070 / Fnac070xOry1	0,51
OryxMJ6 / MJ6xOry1	-0,05
F70 / F70	-0,18
F70xF67 / F67xF70	0,01
F70xFnac070 / Fnac070xF70	-0,16
F70xMJ6 / MJ6xF70	0,28
F67 / F67	-0,79
F67xFnac070 / Fnac070xF67	0,44
F67xMJ6 / MJ6 x F67	-0,05
Fnac070 / Fnac070	-1,43
Fnac070xMJ6 / MJ6xFnac070	0,24
MJ6 / MJ6	8,85

En la tabla 24 se presentan los resultados de la prueba de significancia para la variable contenido de amilosa donde se pudo ver que las poblaciones F1 obtenidas de los cruzamientos realizados con los genotipos FNAC 070 x Fedearroz 70 y Maja 6 x Oryzica 1 y Fedearroz 60 x Fedearroz 70 son los presentan una mayor significancia con relación a las otras poblaciones analizadas y superando a los parentales.

4.2.2. Breakdown

A continuación, se observan los resultados obtenidos en el análisis de varianza para la variable de Breakdown, se presenta un coeficiente de variación de 1,05 es decir que el ensayo fue establecido de manera homogénea y los datos arrojados no tuvieron una variación significativa ya que esta es una variable analizada en laboratorio.

Una vez revisados los cálculos de los efectos de habilidad combinatoria general para la variable breakdown se observó que el genotipo Fedearroz 60 presenta el valor más alto con (26,954) es decir que este es el genotipo que tiene la mayor posibilidad de aportar esta condición en los cruzamientos realizados (tabla 26).

Después de revisar la tabla con los cálculos sobre efectos de habilidad combinatoria específica para la variable rendimiento molino se pudo determinar que el genotipo que el cruce directo y recíproco realizado con los genotipos (Fedearroz 60 y Fnac 070) presenta el valor más alto con (11,71) es decir que el cruce realizado con estos genotipos el que mejor hereda esta característica en las poblaciones F1 obtenidas. (tabla 27).

Tabla 24. Prueba de significancia bajo el modelo de Fisher para la variable contenido de amilosa DMS=0.39750 ERROR: 0.0596.

Genotipos	Medias							
FNAC70XF70	0,1	A						
MJ6XO1	0,1	A						
F60XF70	0,13	A						
F60XFNAC70	0,2	A	B					
O1XMJ6	0,2	A	B					
F70XF60	0,2	A	B					
MJ6XF70	0,2	A	B					
FNAC70XMJ6	0,2	A	B					
MJ6XF67	0,2	A	B					
FNAC70XO1	0,3		B	C				
O1XF70	0,3		B	C				
F70XFNAC70	0,3		B	C				
FED 67	0,4			C	D			
F70XMJ6	0,4			C	D			
FNAC70XF60	0,4			C	D			
FED 60	0,5				D	E		
F67XO1	0,5				D	E		
MAJA 6	0,5				D	E		
F67XFNAC70	0,53					E		
F60XF67	0,57					E		
MJ6XF60	0,57					E		
F67XF70	0,6					E	F	
F67XMJ6	0,6					E	F	
F70XF67	0,6					E	F	
MJ6XFNAC70	0,7						F	G
F67XF60	0,8							G
ORY 1	1							H
F60XO1	1,2							I
O1XF67	1,2							I
O1XFNAC70	1,2							I
F70XO1	1,3						I	J
O1XF60	1,4							J
FNAC70XF67	1,6							K
FED 70	1,6							K
FNAC 070	1,9							L
F60XMJ6	2,07							M

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Tabla 25. Cuadro de Análisis de la Varianza COMPLETA breakdown (SC tipo III).

CUADRO DE ANÁLISIS DE LA VARIANZA COMPLETA BREAKDOWN (SC TIPO III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
GEN	2923,19	35	61,12	988,1	<0.0001
REP	918128,1	2	79,45	1284,35	<0.0001
HCG	172477,70	5	34495,54	574925,7	
HCE	66802,88	15	4453,53	74225,4218	
RECIPROCOS	66204,833	15	4413,66	73560,9259	
ERROR	4,33	70	0,06		
R² AJ	1				
CV	1,05				

*HCG: Habilidad Combinatoria General. HCE: Habilidad Combinatoria Específica

Tabla 26. Estimación de efectos de HCG para padre en la variable breakdown.

FED 60	g1	26,954
ORY 1	g2	5,407
FED 70	g3	-20,796
FED 67	g4	-15,861
FNAC 070	g5	-6,454
MAJA 6	g6	10,750

Tabla 27. Cálculo de efectos de HCE para la variable Breakdown en cada cruzamiento realizado.

GENOTIPO	HCE
F60 / F60	-37,58
F60xOry1 / Ory1xF60	-16,04
F60xF70 / F70xF60	1,44
F60xF67/F67xF60	-25,44
F60xFnac070 / Fnac070xF60	11,71
F60xMJ6 / MJ6xF60	4,34
Ory 1 / Ory 1	2,96
Ory1xF70 / F70xOry1	-8,11
Ory1xF67 / F67xOry1	-18,10
Ory1xFnac070 / Fnac070xOry1	-41,01
OryxMJ6 / MJ6xOry1	-27,44
F70 / F70	-24,39
F70xF67 / F67xF70	-56,60
F70xFnac070 / Fnac070xF70	-68,40
F70xMJ6 / MJ6xF70	-56,49
F67 / F67	-16,10
F67xFnac070 / Fnac070xF67	-34,45
F67xMJ6 / MJ6 x F67	-47,05
Fnac070 / Fnac070	-22,06
Fnac070xMJ6 / MJ6xFnac070	-24,71
MJ6 / MJ6	146,27

Después de revisar los resultados arrojados por la prueba de significancia para la variable *breakdown* se observa que la población F1 obtenida del cruzamiento realizado con los genotipos FNAC 070 x Fedearroz 70 y Fedearroz 67 X Fedearroz 70 presentan una mayor significancia con relación a las otras poblaciones analizadas (tabla 28).

4.2.3. Seetback

A continuación, se presenta la tabla de análisis de varianza para la variable *Seetback*, el coeficiente de variación obtenido fue de 1,07. por lo tanto, se puede concluir que, en la fuente de repeticiones no existe diferencia estadística significativa, debido a que el medio ambiente del área experimental no influyó en la variable estudiada (Tabla 29).

Tabla 29. Cuadro de Análisis de la Varianza COMPLETA variable seetback (SC tipo III)

CUADRO DE ANÁLISIS DE LA VARIANZA COMPLETA SEETBACK (SC TIPO III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
GEN	6394,13	35	61,12	988,1	<0.0001
REP	2116811,88	2	79,45	1284,35	<0.0001
HCG	216778,04	5	43355,61	722593,5	
HCE	414212,74	15	27614,18	460236,3786	
RECIPROCOS	72703,111	15	4846,87	80781,2346	
ERROR	4,33	70	0,06		
R² AJ	1				
CV	1.07				

*HCG: Habilidad Combinatoria General. HCE: Habilidad Combinatoria Específica

Una vez analizados los cálculos de los efectos de habilidad combinatoria general para la variable *seetback* podemos observar que el genotipo Fedearroz 60 presenta el valor más alto con (36,769) es decir que este es el genotipo que tiene la mayor posibilidad de aportar esta condición en sus poblaciones descendientes (Tabla 30).

Tabla 30. Estimación de HCG para cada padre para la variable Seetback

FED 60	g1	36,769
ORY 1	g2	-13,713
FED 70	g3	-21,491
FED 67	g4	-1,343
FNAC 070	g5	1,222
MAJA 6	g6	-1,444

En la Tabla mostrada a continuación encontramos los cálculos sobre efectos de habilidad combinatoria específica para la variable *seetback* allí se pudo ver que las poblaciones F1 obtenidas a partir de los cruzamientos realizados no heredaron esta característica por parte de ninguno de los progenitores (tabla 31).

Tabla 31. Cálculo de HCE para la variable *seetback* para cada cruzamiento.

GENOTIPO	HCE
F60 / F60	-66,31
F60xOry1 / Ory1xF60	-15,83
F60xF70 / F70xF60	-7,94
F60xF67/F67xF60	-53,93
F60xFnac070 / Fnac070xF60	-34,21
F60xMJ6 / MJ6xF60	-18,16
Ory 1 / Ory 1	25,33
Ory1xF70 / F70xOry1	-73,67
Ory1xF67 / F67xOry1	-42,59
Ory1xFnac070 / Fnac070xOry1	-93,32
OryxMJ6 / MJ6xOry1	-52,32
F70 / F70	-11,44
F70xF67 / F67xF70	-50,76
F70xFnac070 / Fnac070xF70	-63,21
F70xMJ6 / MJ6xF70	-76,49
F67 / F67	-0,26
F67xFnac070 / Fnac070xF67	-32,05
F67xMJ6 / MJ6 x F67	-43,49
Fnac070 / Fnac070	19,95
Fnac070xMJ6 / MJ6xFnac070	-15,10
MJ6 / MJ6	234,23

Después de observar el resultado de la prueba de significancia para la variable *seetback* se pudo observar que los cruzamientos realizados presentan una baja significancia es decir que tienen baja probabilidad de heredar este carácter. (tabla 32).

4.2.4. Viscosidad final

Con el análisis de varianza para la variable viscosidad final se observa que, en la fuente de repeticiones no existe diferencia estadística significativa, debido a que el medio ambiente del área experimental no influyo en la variable en estudio, el coeficiente de variación obtenido fue de 0,83 el cual es considerado bajo lo que indica que los datos obtenidos fueron homogéneos. (tabla 33)

Tabla 33. Cuadro de Análisis de la Varianza COMPLETA viscosidad final (SC tipo III)

F.V.	SC	GL	CM	F	P-VALOR
GEN	61398,69	35	61,12	988,1	<0.0001
REP	6767299,85	2	79,45	1284,35	<0.0001
HCG	1197600,42	5	239520,08	3992001,4	0,005
HCE	749179,70	15	49945,31	832421,8861	0,005
RECIPROCOS	292314,833	15	19487,66	324794,2593	0,005
ERROR	4,33	70	0,06		
R ² AJ	0,99				
CV	0,83				

*HCG: Habilidad Combinatoria General. HCE: Habilidad Combinatoria Específica

Después de obtener los cálculos de los efectos de habilidad combinatoria general para la variable viscosidad final se pudo ver que el genotipo Fedearroz 60 presenta el valor más alto con (65,799) es decir que este es el genotipo que tiene la mayor probabilidad de aportar esta condición en su descendencia. (tabla 34)

Tabla 34. Cálculo de HCG para cada padre en la variable viscosidad final

FED 60	g1	65,799
ORY 1	g2	46,392
FED 70	g3	-36,802
FED 67	g4	-42,312
FNAC 070	g5	-37,932
MAJA 6	g6	4,855

Una vez analizados los cálculos sobre efectos de habilidad combinatoria específica para la variable viscosidad final podemos concluir que el genotipo que el cruce directo y reciproco

realizado con los genotipos (Fedearroz 60 y Maja 6) presenta el valor más alto con (9,80) es decir que los cruces realizados entre estos genotipos son los que mejor heredaron este carácter en las poblaciones F1 observadas. (tabla 35).

Tabla 35. Cálculo de HCE para la variable viscosidad final en cada cruzamiento realizado.

GENOTIPO	HCE
F60 / F60	-73,59
F60xOry1 / Ory1xF60	-54,18
F60xF70 / F70xF60	-37,04
F60xF67/F67xF60	-55,25
F60xFnac070 / Fnac070xF60	-34,69
F60xMJ6 / MJ6xF60	9,80
Ory 1 / Ory 1	69,10
Ory1xF70 / F70xOry1	-17,15
Ory1xF67 / F67xOry1	-7,53
Ory1xFnac070 / Fnac070xOry1	-58,41
OryxMJ6 / MJ6xOry1	-28,86
F70 / F70	-33,71
F70xF67 / F67xF70	-112,64
F70xFnac070 / Fnac070xF70	-127,41
F70xMJ6 / MJ6xF70	-101,86
F67 / F67	-13,86
F67xFnac070 / Fnac070xF67	-118,02
F67xMJ6 / MJ6 x F67	-139,03
Fnac070 / Fnac070	-23,24
Fnac070xMJ6 / MJ6xFnac070	-75,81
MJ6 / MJ6	977,31

En la tabla 36 se presenta el cuadro de significancia bajo el modelo de Fisher en el que se pudo observar la prueba de significancia para la variable viscosidad final observamos que los cruzamientos realizados presentan una baja significancia es decir que tienen baja probabilidad de heredar este carácter.

4.3. ANÁLISIS GLOBAL

Un sistema de cruce dialéctico ofrece la posibilidad de conocer habilidad combinatoria general de los genotipos utilizados como parentales y la habilidad combinatoria específica de las poblaciones obtenidas a partir de cruzamientos directos y recíprocos realizados con los parentales, también se pudo evaluar variables a través del modelo 1 de Griffing que permite evaluar efectos fijos ya que las características a evaluar son conocidas previamente en los genotipos utilizados como parentales (Ceballos, 1995).

El primer método utilizado es el denominado del ANOVA, en el cual se derivan las esperanzas de los cuadrados medios de las fuentes de variación de acuerdo con el modelo, luego se igualaron los valores numéricos de los cuadrados medios a sus esperanzas y se resuelven las ecuaciones para obtener cada componente; este método es útil para datos balanceados (Falconer, 1986).

En los resultados obtenidos de los análisis a las variables a evaluar de calidad molinera y culinaria se encontró que los genotipos y las poblaciones obtenidas no presentan coeficientes de variación altos esto quiere decir que el diseño experimental realizado no tuvo afectaciones de interacción genotipo – ambiente y que los datos obtenidos fueron normales y no influyeron en las variables utilizadas como objeto de estudio.

Las variables de calidad molinera están relacionadas con el grano de arroz procesado la cantidad de grano entero obtenido y la apariencia de grano de este. El genotipo que presentó el mejor valor en habilidad combinatoria general, en calidad molinera fue Fedearroz 70 con una alta probabilidad en la variable índice de pilada y una baja probabilidad en la variable rendimiento de molino los genotipos Fedearroz 60 y Oryzica1 no presentaron ninguna probabilidad y los genotipos Fedearroz 67 Fnac 070 y Maja 6 presentan una baja probabilidad para aportar calidad molinera a sus poblaciones descendientes.

En las variables relación largo ancho, contenido de centro blanco y contenido de yesado ningún genotipo tiene alta probabilidad de heredar estos caracteres en su descendencia.

El genotipo que presentó el mejor valor en habilidad combinatoria específica, en calidad molinera fueron cruces directos y recíprocos realizados con Fedearroz 70 con valores menores a 1 o valores negativos en todas las variables de calidad molinera es decir que las poblaciones F1 obtenidas heredaron los caracteres con baja probabilidad o no heredaron el carácter. (Ceballos, 1995).

Los genotipos que presentaron el mejor valor en habilidad combinatoria general en calidad culinaria fueron Fedearroz 60 y Orizyca 1 en las variables breakdown y viscosidad final estos dos genotipos tienen una alta probabilidad de aportar este carácter a sus poblaciones descendientes ya que sus valores fueron mayores a 1 los otros genotipos presentan baja probabilidad.

Para la variable setback los genotipos que presentaron mejor valor en habilidad combinatoria general fueron Fedearroz 60 Fnac 070 estos genotipos tienen una alta probabilidad de aportar esta condición a su descendencia y en la variable contenido de amilosa todos los genotipos tienen baja probabilidad de aportar esta condición a su descendencia.

El genotipo que presentó el mejor valor en habilidad combinatoria específica, en calidad culinaria fueron cruces directos y recíprocos realizados con Fedearroz 60 y Maja 6 con valores mayores a 1 en la variable breakdown y viscosidad final y en la variable contenido de amilosa presentaron baja probabilidad (Ceballos, 1995; Ávila *et al.*, 2014),

Los análisis dialélicos constituyen una herramienta útil para estimar los parámetros genéticos de los progenitores y sus cruces mediante HCG y HCE que permiten definir el método de mejoramiento genético más adecuado y a su vez poder identificar líneas promisorias con potencial en calidad molinera y culinaria en este caso.

5. CONCLUSIONES

La habilidad combinatoria específica es menor que la habilidad combinatoria general para las variables estudiadas en calidad molinera y culinaria por lo cual se pudo observar que las poblaciones F1 obtenidas no heredaron el carácter de los genotipos utilizados como parentales o heredaron algún carácter en con baja probabilidad.

No se encontró ninguna población F1 que heredara todas las variables al mismo tiempo es decir que algunas heredaron buenas características en calidad molinera y otras en calidad culinaria esto porque los genotipos no presentaban buena probabilidad en las variables analizadas.

La habilidad combinatoria general de los genotipos Fedearroz 60 y Oryzica 1 presentaron alta probabilidad en variables de calidad culinaria (breakdown y viscosidad final) las cuales están correlacionadas con la adhesividad y firmeza del grano de arroz cocido características que pueden ser heredadas a sus poblaciones descendientes.

Las poblaciones F1 obtenidas presentan buena heredabilidad de algunos caracteres por lo cual es importante seguir con la línea de investigación para poder identificar líneas con algún potencial en las generaciones siguientes.

Los cruzamientos realizados entre los genotipos Fedearroz 60 X Maja 6 presentaron una alta probabilidad en la habilidad combinatoria específica de las variables (breakdown y viscosidad final) de calidad culinaria.

Los genotipos Fedearroz 60 y Oryzica 1 presentan buenas características de calidad culinaria, pero mediante el programa de cruce dialélico se pudo observar que resulta complicado que estos genotipos puedan heredar estas características a sus poblaciones descendientes.

6. RECOMENDACIONES

Para utilizar un sistema de cruzamiento dialélico es importante conocer las características de los genotipos utilizados, se debe tener claro las variables a evaluar ya que este sistema requiere pocos genotipos por la cantidad de cruzas que se pueden realizar para obtener resultados deseables.

Es de gran importancia tener en cuenta la calidad culinaria del grano de arroz ya que esta es una cualidad que resulta un desafío en los programas de fitomejoramiento para encontrar variedades con buen potencial en calidad culinaria.

7. BIBLIOGRAFÍA

Alvarado, R. & Hernaiz, S. (2007). Calidad industrial del grano. En Alvarado R. (Ed) Arroz: Manejo Tecnológico (pp. 39 – 48). Chillán, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Recuperado de <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR34405.pdf>.

Amézquita Varón, N. F. (2012). Estimación de parámetros genéticos para rendimiento y calidad de grano en una población de Líneas Recombinantes Endogámicas de Arroz (*Oryza sativa* L.) a través de varios ambientes. Trabajo de grado Maestría Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia. Recuperado de <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/21755>

Ávila, M., Uribe, J., Jayaro, Y., Alezones, J., Romero, M., Alejos, Y., Clisanchez, N., & López, W. (2014). Comparación de variables físicas, culinarias y amilográficas del cultivar de arroz (*Oryza sativa* L.) MD248 y dos cultivares comerciales en Venezuela. Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos (RVCTA), 5(2), 70-88. Recuperado de <https://sites.google.com/site/1rvcta/v5-n2-2014/h1?tmpl=%2Fsystem%2Fapp%2Ftemplates%2Fprint%2F&showPrintDialog=1>

Ávila, M (2002). Incorporación del Rapid Visco Analyser (RVA) para la determinación de la calidad culinaria de arroz. Boletín informativo. Fundación Polar para la Investigación Agrícola. (3): 1 - 4. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/275275256_Incorporacion_del_Rapid_Visco_Analizer_RVA_para_la_determinacion_de_la_calidad_culinaria_de_arroz.

Bassinello P.Z., de Castro A.P., & de Oliveira Borba T.C. (2020) Conventional Breeding for Rice Grain Quality. In: Costa de Oliveira A., Pegoraro C., Ebeling Viana V. (eds) The

Future of Rice Demand: Quality Beyond Productivity. Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-37510-2_14.

Bhattacharya, K. (2009). Physicochemical basis of eating quality of rice. Cereal Foods World 54 (1): 18 – 28. Recuperado de <http://www.cerealsgrains.org/publications/plexus/cfw/pastissues/2009/Documents/CFW-54-1-0018.pdf>

Boluga (2010) El Proceso De Trilla Del Arroz. Recuperado de <http://informepracticaboluga.blogspot.com/2010/12/normal-0-21-false-false-false-es-co-x.html>

Bouchard, J.D., Acevedo B.A, Díaz, S.F, & Maiocchi, M.G. (2020). Análisis multivariante en propiedades culinarias de arroz lago fino. Revista de Ciencia y Tecnología 33 (1): 33 – 37. Recuperado de <https://www.fceqyn.unam.edu.ar/recyt/index.php/recyt/article/view/269/591>

Castillo, A. (2007). Molinería (Pilado) de arroz. Molinería en los trópicos. Castillo A. (Ed.) Ediagro Ltda. Tomo II. Colombia. 308p.

Ceballos, H. (1995). Principios Básicos de Genética Cuantitativa. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira.

Cuevas, A. (2018). El arroz, un gran alimento que debemos consumir más. Revista Arroz 66 (535): 4 – 11. Recuperado de <http://www.fedearroz.com.co/revistanew/arroz535.pdf>

Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., González L., Tablada M. & Robledo C.W. InfoStat versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

Echeverri, J., Amézquita, N. & Puentes, O. (2018). Embajador japonés recorre infraestructura de investigación de Fedearroz. Revista Arroz 66 (533): 35 – 38. Recuperado de <http://www.fedearroz.com.co/revistanew/arroz533.pdf>

Falconer, D. S. (1986). Introducción a la genética cuantitativa. Compañía Editorial Continental S.A.

Gaviria, J. & Castillo, Á., 1999. Molinería de Arroz en los Trópicos, Tomo 2. Castillo A. (Ed.). Ediagro. Ltda, Bogotá, Colombia.

Gaviria, J. (1998). Laboratorio central de muestras de arroz. Revista Induarroz. Federación Nacional de Industriales del Arroz (1): 25-34.

Iftekharuddaula, K., Newaz, M., Salam, M., & Akter, K. (2008). Genetic analysis for panicle characters in diallel cross of rice. Bangladesh Journal of Agricultural Research, 33(4): 631-638. <https://doi.org/10.3329/bjar.v33i4.2307>

Irri (2013) Standard Evaluation System for Rice. Manila Filipinas. INGER.

IRRI (2002). Standard Evaluation System for Rice (SES). International Rice Research Institute IRRI. 56 p. Recuperado de <http://www.knowledgebank.irri.org/images/docs/rice-standard-evaluation-system.pdf>

Legarda Burbano, T., & Criollo Escobar, H. (1997). ALGUNOS ASPECTOS DE LOS DISEÑOS GENETICOS. Revista De Ciencias Agrícolas, 15(1 y 2). Recuperado de <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/1119>

Loaiza, K. (2016). El NIRS DS 2500 amplia capacidades en el laboratorio de calidad de arroz. Recuperado de <https://flar.org/nirs-ds2500-el-equipo-mas-esperado-del-2016-ya-esta-aqui/>

Loaiza, K. & Larrahondo, J.E. (2017). Evaluación del contenido de amilosa en arroz mediante espectroscopia de infrarrojo cercano-NIRS. Archivos Latinoamericanos de Nutrición, 67(1): 56-61. Recuperado de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222017000100008&lng=es&tlng=es

Maciel, N.S. (2020). Evaluación de la calidad molinera de arroz Fortuna mediante el analizador estadístico de imágenes S21. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/338805179_Evaluacion_de_la_calidad_molinera_de_arroz_Fortuna_mediante_el_analizador_estadistico_de_imagenes_S21

Martinez C. & Cuevas F. (1989). Evaluacion de la calidad molinera y culinaria de arroz. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. Cali, Colombia. 75 p. Recuperado de <https://books.google.com.co/books?id=wC9yMXQwAbwC&lpg=PP1&pg=PP1&hl=es#v=onepage&q&f=false>

Nakwilai, P., Cheabu, S., Narumon, P., Saensuk, C., Arikrit, S., & Malumpong, C. (2020). Evaluation of japonica rice (*Oryzasativa* L.) varieties and their improvement in terms of stability, yield and cooking quality by pure-line selection in Thailand. Scienceasia, 46(2), 157- 168. DOI: [10.2306/scienceasia1513-1874.2020.029](https://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2020.029)

Olivares C. (2010). Diseño de bloques al azar. Recuperado de:
<http://www.dpye.iimas.unam.mx/patricia/indexer/bloques.pdf>

Pérez, S.E. (2005). El cultivo de Arroz seco Manual o a chuzo en el Caribe Húmedo. Fedearroz Fondo Nacional del Arroz. 246 p.

Poehlman J. M., A. D., Mejoramiento Genético de las Cosechas. Mexico, 2003.

Rex - Novero, B. (2002). Breeding for Quantitative Traits in Plants. Stemma Press (Eds). Woodbury, Minnesota.

Searle, S. R., Casella, G. & McCulloch C.E. (1992). Variance Components. Wiley Interscience Eds. New York.

Secretaría de Agricultura y Ganadería – SAG. (2003). Manual técnico para el cultivo de arroz. (*Oryza sativa*). Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria – DICTA, Comayagua, Honduras. Recuperado de
<https://curlacavunah.files.wordpress.com/2010/04/el-cultivo-del-arroz.pdf>

Singh, R. & Chaudary, B.D. (1977). Biometrical methods in quantitative genetic analysis. Kalyani,Eds, Ludniana, India.

Torres, E. Jennings, P. (2002). análisis de estabilidad de centro blanco en arroz. Recuperado de: http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_CIAT/flar/analisis.pdf.

Valencia Molina, C. A. (1994). evaluacion de la calidad del arroz. Recuperado de https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/684/80955_67121.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Vallejo, F.A. & Estrada E.I. (2002): Mejoramiento Genético de Plantas. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. 404 p. Recuperado de <http://www.uneditorial.net/uflip/Mejoramiento-genetico-de-plantas/pubData/source/Mejoramiento-genetico-de-plantas.PDF>