

UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

**Análisis de adaptabilidad de algunos híbridos
experimentales de arroz (*Oryza sativa* L.) en la subregión
valle geográfico del río cauca**

Víctor Alfonso Vallejo Serna

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias Agropecuarias
Palmira, Colombia

2025

**Análisis de adaptabilidad de algunos híbridos
experimentales de arroz (*Oryza sativa* L.) en la subregión
valle geográfico del río Cauca**

Víctor Alfonso Vallejo Serna

Tesis presentada como requisito parcial para optar el título de:

Magister en Ciencias Agrarias

Director (a):

Yacenia Morillo Coronado. Ph.D.

Co-Director

Miguel Adolfo Pizo Ossa

Línea de Investigación:

Fitomejoramiento

Grupo de Investigación:

Mejoramiento Genético, Agronómico y Producción de Semillas de Hortalizas

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Palmira, Colombia

2025

Dedicatoria

A Dios principalmente como creador y facilitador de todas las circunstancias y momentos de la vida.

A mis padres por su esfuerzo, buen ejemplo, su rectitud y su educación moral.

A mi esposa e hijas por ser mi mayor motivación y apoyo incondicional en cada uno de los desafíos que emprendo.

A mi familia.

Agradecimientos

A mis esposa e hijas principalmente por el apoyo y paciencia durante el desarrollo de este proceso de formación profesional. A mis padres Gilberto y Libia por apoyarme e impulsarme a seguir a delante y ser cada día mejor en todos los aspectos, pero sobre todo ser una persona integra.

A mi directora la Doctora Yacenia Morillo Coronado, muchas gracias por sus enseñanzas, dedicación paciencia, profesionalismo y todos sus aportes de conocimiento durante el desarrollo de este trabajo.

A los Doctores José Joaquín Marulanda y Anna Camila Nader, muchas gracias por su apoyo y confianza y sobre todo por fomentar en mí el crecimiento profesional.

A mi compañero y amigo Miguel Adolfo Pizo, por su ayuda, sus consejos y acompañamiento en mi proceso de aprendizaje.

A la compañía Semillas Valle S.A. por permitirme desarrollar este trabajo y hacer un aporte a su programa de mejoramiento, y a todo el equipo de investigación de la compañía quienes siempre tuvieron su mejor actitud para obtener los mejores resultados.

Resumen

Análisis de adaptabilidad de algunos híbridos experimentales de arroz (*Oryza sativa* L.) en la subregión valle geográfico del río cauca

Antecedentes. La especie *Oryza sativa* es un alimento fundamental para la alimentación mundial y surte a media población en crecimiento, convirtiéndola en un cultivo fundamental para la seguridad económica, social, política y para la alimentación humana. Además, las condiciones socioeconómicas que genera la siembra de arroz han provocado un cambio en el ámbito mundial, regional y local. En América del sur y la región del Caribe, las áreas sembradas de este cereal incrementaron hasta tres veces durante los periodos de 1975 y 2005 aumentando hasta 680 millones de toneladas. Las áreas sembradas se incrementaron por efecto del uso de variedades mejoradas y buenas prácticas de manejo. Por lo tanto, se produjo para el 2008 más de 25 millones de toneladas de arroz, según reportes del instituto Internacional de Investigación sobre el Arroz (IRRI).

Objetivo. Analizar la adaptabilidad de híbridos experimentales de arroz (*Oryza sativa* L) en la subregión Valle Geográfico del Río Cauca, en cuatro localidades ubicadas en Cauca y Valle del Cauca (Buenos Aires, Cauca; Timba corregimiento de Buenos Aires, Cauca; Guachené, Cauca y Jamundí, Valle del Cauca. Para el estudio (i) Se determinaron las condiciones agroecológicas sobre la producción de los híbridos de arroz evaluados a través de la calidad molinera. (ii) Se estudiaron los híbridos teniendo en cuenta atributos de calidad culinaria y (iii) Finalmente se determinaron características de rendimiento en variables fenológicas, morfoagronómicas y estudios de adaptabilidad genotipos por ambiente con el fin de seleccionar híbridos ideales para cada localidad.

Desarrollo. El presente trabajo desarrolla en el capítulo I una revisión literaria centrada en su origen, taxonomía, botánica, fenología, calidad culinaria, molienda y aspectos genéticos importantes. El capítulo II, comprende estudios realizados en las cuatro localidades que muestran condiciones agroecológicas propias para el cultivo de arroz, con el fin de seleccionar híbridos superiores mediante la evaluación de variables molineras y culinarias. El capítulo III, se estudian variables fenológicas y morfoagronómicas, junto con un análisis de caracterización, además, comprende una evaluación de estabilidad ambiental de híbridos de arroz y la interacción genotipo/ambiente, considerando la importancia de conocer la respuesta variable de importancia económica, que ayudan a priorizar su establecimiento.

Palabras clave: adaptabilidad, arroz, caracterización, interacción genotipo por ambiente.

Abstract

Analysis of adaptability of some experimental rice hybrids (*Oryza sativa* L.) in the geographical valley subregion of the Cauca river

Background. The species *Oryza sativa* is a staple food for global nutrition, supplying a growing half of the world's population and making it a fundamental crop for economic, social, and political security, as well as human nutrition. Additionally, the socioeconomic conditions generated by rice cultivation have driven changes at the global, regional, and local levels. In South America and the Caribbean region, the areas planted with this cereal tripled between 1975 and 2005, reaching up to 680 million tons. This expansion was driven by the use of improved varieties and good management practices. Consequently, by 2008, more than 25 million tons of rice were produced, according to reports from the International Rice Research Institute (IRRI).

Objective. To analyze the adaptability of experimental rice (*Oryza sativa* L.) hybrids in the Valle Geográfico del Río Cauca subregion, across four locations in Cauca and Valle del Cauca (Buenos Aires, Cauca; Timba, a district of Buenos Aires, Cauca; Guachené, Cauca; and Jamundí, Valle del Cauca). For this study: (i) The agroecological conditions influencing the production of the evaluated rice hybrids were determined based on milling quality. (ii) The hybrids were assessed considering culinary quality attributes. (iii) Finally, yield characteristics were analyzed in terms of phenological, morpho-agronomic variables and genotype-by-environment adaptability studies to select the most suitable hybrids for each location.

Development. This study develops in Chapter I a literature review focused on the origin, taxonomy, botany, phenology, culinary quality, milling, and key genetic aspects. Chapter II

includes studies conducted in the four selected locations, which exhibit agroecological conditions suitable for rice cultivation, aiming to identify superior hybrids through the evaluation of milling and culinary quality variables. Chapter III examines phenological and morpho-agronomic variables along with a characterization analysis, and also includes an assessment of the environmental stability of rice hybrids and genotype-by-environment interactions, considering the importance of understanding the variability of economically significant traits to prioritize their establishment.

Keywords: adaptability, characterization, genotype-by-environment interaction, rice.

Contenido

Resumen	v
Lista de ilustraciones	xiii
Lista de tablas	xv
Lista de Símbolos y abreviaturas	xviii
Introducción	1
Definición de problema	5
Hipótesis.....	5
Objetivos.....	5
Objetivo general	5
Objetivos específicos	5
Capítulo 1. Generalidades del arroz	6
1.1 Importancia del cultivo de arroz.....	7
1.2 Clasificación taxonómica.....	8
1.3 Descripción morfológica.....	8
1.3.1 Raíz.....	8
1.3.2 Tallo	9
1.3.3 Hojas.....	10
1.3.4 Flores	11
1.3.5 Semilla	12
1.4 Fenología del cultivo	12
1.5 Condiciones edafoclimáticas	13
1.5.1 Clima.....	13
1.5.2 Suelo.....	14

1.5.3	Agua.....	14
1.5.4	Temperatura	14
1.5.5	Fotoperiodo.....	15
1.6	Mejoramiento genético.....	15
1.7	Molienda de arroz.....	16
1.8	Importancia de la calidad culinaria en el arroz	17
1.9	Interacción genotipo por ambiente	18
Capítulo 2. Evaluación de parámetros de calidad molinera, apariencia de grano y calidad culinaria en siete genotipos de arroz (<i>Oryza sativa</i> L.).....		
Resumen		21
2.1	Introducción.....	24
2.2	Materiales y Métodos	25
2.2.1	Localización.....	25
2.2.2	Material vegetal	25
2.2.3	Diseño experimental.....	26
2.2.4	Labores culturales	26
	Tratamiento de semilla	26
	Prueba de germinación	27
	Selección de semilla y pre-germinación	28
	Preparación de sustrato y siembra de semillas	29
	Trasplante.....	30
	Control de arvenses	30
	Fertilización edáfica y foliar	31
	Manejo de Plagas y enfermedades	32
	Cosecha.....	32
	Calidad molinera.....	33

Apariencia del grano	34
Calidad culinaria	35
2.2.6 Análisis estadístico	36
2.3 Resultados y Discusión.....	37
2.3.1 Variables de calidad molinera y apariencia del grano.....	37
2.3.2 Variables de calidad culinaria	41
Análisis de Componentes Principales.....	45
2.3.3 Proporción de la varianza explicada por cada variable.....	45
2.3.4 Proyección Biplot de genotipos y variables en los componentes principales....	48
Conclusiones	53
Capítulo 3. Estimación de la adaptabilidad y potencial de rendimiento de seis híbridos de arroz en cuatro localidades del Valle Geográfico del río Cauca.....	54
Resumen	54
3.1 Introducción.....	58
3.2 Materiales y Métodos	60
3.2.1 Localización	60
3.2.2 Material vegetal	61
3.2.3 Evaluación del comportamiento agronómico.....	61
Ciclo fenológico	61
Evaluación de caracteres morfológicas	61
Evaluación de componentes del rendimiento	64
3.2.4 Análisis de datos	65
3.3 Resultados y Discusión.....	67
3.3.1 Variables relacionadas con el ciclo fenológico	67
CV (%): Coeficiente de variación	69
3.3.2 Variables relacionadas con característica de la planta	69

3.3.3 Variables relacionadas con características de la semilla	76
3.3.4 Variables relacionadas con rendimiento.....	78
3.3.5 Análisis de Componentes Principales	81
3.3.6 Proporción de la varianza explicada por cada variable.....	82
3.3.7 Proyección biplot de genotipos y variables en los componentes principales	84
3.3.8 Índice de selección.....	86
3.3.9 Análisis AMMI para la variable rendimiento	89
Conclusiones	92
Bibliografía	93

Lista de figuras

Figura 1.1. Forma de la raíz de la especie <i>O. sativa</i> L.	9
Figura 1.2. Forma del tallo de la especie <i>O. sativa</i> L. Fuente. (Holmann y Lascano, 2001)	10
Figura 1.3. Forma de la hoja en la especie <i>O. sativa</i> L.	11
Figura 1.4. Forma de las flores en la especie <i>O. sativa</i> L.	11
Figura 1.5. Forma de la semilla en la especie <i>O. sativa</i> L.	12
Figura 1.6. Etapas fenológicas de la especie <i>O. sativa</i> L.	13
Figura 2.1. Establecimiento de los genotipos de <i>Oryza sativa</i> bajo el diseño experimental utilizado en el estudio de adaptabilidad.	26
Figura 2.2. Tratamiento de semilla de <i>Oryza sativa</i> utilizada en el estudio de adaptabilidad. ...	27
Figura 2.3. Prueba de germinación en híbridos de arroz <i>Oryza sativa</i> utilizados en estudio de adaptabilidad.	28
Figura 2.4. Método de pre-germinación en semillas de arroz <i>Oryza sativa</i> utilizadas en el estudio de adaptabilidad.	29
Figura 2.5. Acondicionamiento de la semilla a través del uso de sustrato para siembra para <i>Oryza sativa</i> utilizadas en el estudio de adaptabilidad.	30
Figura 2.6. Trasplante a campo de los genotipos de <i>Oryza sativa</i>	30
Figura 2.7. Equipo NIRS modelo DA1650 Analizador para harinas.	35
Figura 2.8. Proyección de las variables iniciales de los dos componentes principales.	48
Figura 2.9. Representación de genotipos y variables en el primer plano utilizando un gráfico compuesto biplot. Genotipos de arroz. 1: AR001; 2: AR002; 3: AR003; 4: AR004; 5: AR005; 6: AR006. 7: Fedearroz 67. Variables de calidad molinera: GP: grano partido; IP: índice de pilada; RP: rendimiento de pilada. Variables de apariencia de grano: Y: % yesado; RLA: relación	

Largo/Ancho; CB: centro blanco. Variables de calidad culinaria: A: porcentaje de amilosa; TG: temperatura de gelatinización.	50
Figura 2.10. Contribución de variables fenológicas, morfológicas y agronómicas en dos componentes principales. Variables de calidad molinera: GP: grano partido; IP: índice de pilada; RP: rendimiento de pilada. Variables de apariencia de grano: Y: porcentaje de yesado; RLA: relación largo/ancho; CB: centro blanco. Variables de calidad culinaria: A: porcentaje de amilosa; TG: temperatura de gelatinización.	51
Figura 2.11. Contribución de los genotipos de arroz en los componentes principales. Genotipos de arroz. 1: AR001; 2: AR002; 3: AR003; 4: AR004; 5: AR005; 6: AR006. 7: Fedearroz 67	52
Figura 3.1. Representación de genotipos y variables en el primer plano utilizando un gráfico compuesto Biplot.	86
Figura 3.2. Índice de selección de genotipos de arroz en las localidades de Buenos Aires, Timba, Guachené (Cauca) y Jamundí (Valle del Cauca).	89
Figura 3.3. Representación gráfica del CP1 y CP2 (Biplot) de los seis híbridos y un testigo comercial Fedearroz 67 en los cuatro ambientes para la variable de rendimiento.....	91

Lista de tablas

Tabla 1. 1. Etapas fenológicas del cultivo de arroz.....	13
Tabla 2.1. Dosis y épocas de aplicación de fertilizante edáfica utilizado en genotipos de <i>Oryza sativa</i>	31
Tabla 2.2. Plan de manejo de plagas y enfermedad en genotipos de <i>Oryza sativa</i>	32
Tabla 2.3. Comparación de medias para las variables de calidad molinera y apariencia de grano evaluadas en siete genotipos de arroz.....	37
Tabla 2.4. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para las variables de calidad molinera y apariencia de grano evaluadas en siete genotipos de arroz en el valle geográfico del río Cauca.....	40
Tabla 2.5. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para las variables de calidad culinaria evaluadas en siete genotipos de arroz en cuatro localidades de estudio.....	42
Tabla 2.6. Comparación de medias para las variables de calidad culinaria evaluadas en siete genotipos de arroz en cuatro localidades de estudio.....	42
Tabla 2.7. Dimensiones de componentes principales (Eigenvalores) utilizando variables de calidad molinera, apariencia del grano y calidad culinaria en siete genotipos de arroz.....	45
Tabla 2.8. Contribución de cada variable (vectores propios) a la varianza en los dos primeros componentes principales en siete genotipos de arroz.....	46
Tabla 3.1. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para las variables relacionadas con ciclo fenológico en genotipos de arroz, evaluados en las zonas de Cauca y Valle del Cauca.....	67

Tabla 3.2. Comparación de medias combinado para variables relacionadas con ciclo fenológico en genotipos de arroz, evaluados en las zonas del Cauca y Valle del Cauca.....	69
Tabla 3.3. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para las variables cuantitativas relacionadas con características de la planta en genotipos de arroz evaluados en las zonas del Cauca y Valle del Cauca.	70
Tabla 3.4. Comparación de medias para las variables relacionadas con características de la planta en genotipos de arroz evaluados en las zonas del Cauca y Valle del Cauca.....	73
Tabla 3.5. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para las variables cuantitativas relacionadas con características de la planta en genotipos de arroz evaluados en las zonas de Cauca y Valle del Cauca.	74
Tabla 3.6. Comparación de medias para las variables relacionadas con características de la planta en genotipo de arroz evaluados en las zonas del Cauca y Valle del Cauca.	76
Tabla 3.7. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para las variables relacionadas con características de la semilla en genotipos de arroz evaluados en las zonas de Cauca y Valle del Cauca.....	77
Tabla 3. 8. Comparación de medias para las variables relacionadas con características de la semilla en genotipo de arroz evaluados en las zonas de Cauca y Valle del Cauca.	78
Tabla 3. 9. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para las variables relacionadas con los componentes de rendimiento en genotipo de arroz evaluados en las zonas de Cauca y Valle del Cauca.....	79
Tabla 3. 10. Comparación de medias en componentes de rendimiento en genotipos de arroz evaluados en las zonas del Cauca y Valle del Cauca.	81
Tabla 3. 11. Dimensiones de componentes principales (Eigenvalores) utilizando variables de calidad molinera y apariencia del grano en siete genotipos de arroz.	82
Tabla 3. 12. Contribución de cada variable (vectores propios) a la varianza en los dos primeros componentes principales en siete genotipos de arroz.....	83

Tabla 3. 13. Índice de selección de genotipos de arroz en las localidades de Buenos Aires, Timba, Guachené (Cauca) y Jamundí (Valle del Cauca).	87
Tabla 3. 14. Análisis de varianza para la variable de rendimiento en siete genotipos de arroz evaluados en el Valle Geográfico del río Cauca.....	90

Lista de Símbolos y abreviaturas

Abreviaturas

Abreviatura	Término
DC	Días a cosecha
AP	Altura de la planta
LP	Longitud de las panículas
VO	Volcamiento
GP	Granos por panícula
MP	Macollas por planta
MPM	Macollas por m ²
LS	Longitud de la semilla
AS	Ancho de las semillas
E	Espesor de la Semilla
IS	Índice de Semilla
PM	Panículas por m ²
EP	Espiguillas llenas por m ²
GP	Grano Partido
IP	Índice de pilada
RP	Rendimiento de pilada
Y	Porcentaje de Yesado
RLA	Relación Largo/Ancho
CB	Centro blanco
A	Porcentaje de amilosa
TG	Temperatura de Gelatinización
RLD	Relacion al desgrane
VA	Vaneamiento
EXP	Excursión de panícula
LDL	Longitud de lígula
PM	Población por m ²
CV	Coefficiente de variación

Introducción

La especie *Oryza sativa* es un alimento fundamental para la alimentación mundial y surge a media población en crecimiento, convirtiéndola en un cultivo fundamental para la seguridad económica, social y política para la alimentación humana. Además, las condiciones socioeconómicas que genera la siembra de arroz han provocado un cambio en el ámbito mundial, regional y local, donde la producción incrementó a 680 millones de toneladas (Santa *et al.*, 2021). En América del sur y la región del Caribe, las áreas sembradas de este cereal incrementaron hasta tres veces durante los periodos de 1975 y 2005, debido a la utilización de variedades mejoradas y las buenas prácticas de manejo agronómico. Para el año 2008, según los reportes del Instituto Internacional de Investigación sobre el Arroz (IRRI), se produjo más de 25 millones de toneladas de arroz (Gárgano, 2018).

El arroz presenta cualidades culinarias importantes, donde la textura, el sabor y la temperatura de gelatinización, son aspectos determinantes para tener una buena aceptación y preferencia por parte de los consumidores. La temperatura de gelatinización influye directamente en la consistencia y la capacidad que tiene el arroz en absorber los sabores, lo que puede afectar de forma negativa a la calidad del producto en la preparación de diversos platos culinarios (Zhou *et al.*, 2020). Según Xiao *et al.*, (2022), indican que las propiedades fisicoquímicas del arroz, donde se incluye el porcentaje de amilosa y la estructura del almidón, son cruciales durante la cocción y la percepción sensorial del arroz. Investigaciones recientes han demostrado que las prácticas agronómicas y las condiciones climáticas donde se siembran los cultivares, podrían

alterar las propiedades culinarias, por tal motivo, se busca estrategias para la adaptación de genotipos que presenten cualidades culinarias deseables para el arroz (Gárgano, 2018).

El cultivo de arroz presenta cualidades molineras, donde resalta el rendimiento de grano y la resistencia al rompimiento durante la molienda de los granos, además, estos factores son determinantes en la calidad. Un alto rendimiento del grano entero de arroz es fundamental porque ayuda incrementar el valor comercial, debido a que, los precios son más altos al compararlos con granos partidos (Zhou *et al.*, 2020). Según Xiong *et al.* (2021), indica que el rompimiento está influenciado por la estructura del grano y su contenido de humedad; por lo tanto, el manejo agronómico adecuado y la cosecha son fundamentales para mantener estándares de calidad. El mejoramiento genético, es un pilar fuerte, al seleccionar genotipos promisorios para cualidades molineras, con lo que se podría optimizar las propiedades, desarrollando variedades o híbridos que combinen altos rendimientos con una mejor calidad de grano (Chakraborti *et al.*, 2021).

Los estudios multidisciplinarios entornos al arroz, ayudan a que el sector sea más ecoeficiente con buenos rendimientos y competitivo lo cual ha contribuido a la seguridad alimentaria regional y mundial (Rodríguez *et al.*, 2019). En Colombia, en términos de economía, esta especie ocupa el puesto número uno entre las especies de ciclo corto, en tanto que, Colombia se ubica en el segundo puesto en producción de arroz en América Latina y el Caribe, en este sentido, según la cifra del DANE y Fedearroz, se calcula que el área sembrada de arroz en Colombia ha incrementado en un 14% en 2020, comparado con el 2018, donde se ha pasado de 500,922 a 580,120 ha sembradas. Por otra parte, el departamento con mayor producción es Casanare con 176.820 ha, seguido Tolima con 101,815 ha y finalmente Meta con 86,304 ha (Zhou *et al.*, 2020). El arroz mecanizado representa el 98% de la producción Nacional y al menos el 95% del total de área cultivada del país, la cual presentan una producción entre 400 a 500 mil ha por año (Chakraborti *et al.*, 2021).

El arroz puede sembrarse en dos sistemas: seco que abarca un rendimiento promedio de 4,7 ton/ha y con riego que puede alcanzar una producción de 6,5 ton/ha y con una media nacional de 2,2 millones de toneladas (Alava *et al.*, 2018). Los arroceros en la región de Colombia obtienen el grano para el autoconsumo, no hacen exportaciones debido a que la producción no ha podido lograr satisfacer la demanda del país y es cierto que hoy en día Colombia importa arroz de Estados Unidos, Ecuador y Perú (Poveda y Andrade, 2018).

En el departamento del Valle del Cauca, el arroz presentó una participación del 11,5% del total producido en los cereales del departamento. Según informes agropecuarios, en el municipio de Jamundí, durante el año 2022 se sembró un aproximado de 3,821 ha, además, que este municipio cuenta con el 80% del área sembrada con este cultivo en el departamento ya que tiene presencia de una importante empresa molinera (Andrade *et al.*, 2022).

Según Delgado *et al.* (2021), cuando no se hace selección de una variedad adecuada y que no se siembra en una época ideal, los rendimientos finales bajan, además, de que la calidad del grano se ve afectada y la eficiencia de la nutrición es inferior, asimismo, algunas plagas aumentan, lo que genera un incremento en la aplicación de agroquímicos y costos de producción (Leaños, 2021).

El presente trabajo de investigación liderado por la empresa Semillas Valle S.A, evaluó seis híbridos experimentales de arroz identificados como: AR001, AR002, AR003, AR004, AR005, AR006 y la variedad comercial Fedearroz 67, donde se busca identificar genotipos con comportamiento agronómico promisorio, como mayor rendimiento, mejor calidad molinera y calidad culinaria. Al finalizar este trabajo y con los resultados obtenidos, se podrá someter los genotipos seleccionados a pruebas oferta de registro con el propósito de ampliar la semilla

certificada para los productores de la región garantizando mayor productividad y rentabilidad en sus cosechas.

Definición de problema

Hipótesis

H1: Hay diferencias en la adaptación o comportamiento agronómico promedio de plantas de *Oryza sativa* de algunos híbridos experimentales comparados con la variedad comercial Fedearroz 67 en condiciones agroecológicas del Valle del Cauca.

H0: No hay diferencias significativas en la adaptación o comportamiento agronómico promedio de plantas de *Oryza sativa* entre los híbridos experimentales y la variedad comercial Fedearroz 67 en condiciones agroecológicas del Valle del Cauca.

Objetivos

Objetivo general

Evaluar la adaptabilidad de híbridos experimentales de arroz en la subregión natural del Valle Geográfico del río Cauca.

Objetivos específicos

- Evaluar los parámetros de calidad molinera en seis híbridos experimentales de arroz y la variedad testigo.
- Determinar la calidad culinaria de seis híbridos experimentales de arroz y la variedad testigo.
- Estimar la adaptabilidad y potencial de rendimiento de seis híbridos de arroz y la variedad testigo en cuatro localidades del Valle Geográfico del río Cauca, mediante la medición de variables fenológicas y morfoagronómicas.

Capítulo 1. Generalidades del arroz

Origen del arroz (*Oryza sativa* L.)

La especie *Oryza sativa* L. empezó a cultivarse alrededor de hace 10.000 años en diferentes zonas húmedas del continente asiático tropical y subtropical, donde este cultivo presenta beneficios como altas concentraciones de calorías por hectáreas a diferencias de otros cereales sembrados (Hernández *et al.*, 2021).

Según Pincioli *et al.* (2015), este cultivo presenta su origen en zonas ribereñas y deltas de los ríos, sin embargo, fue China la que empezó su siembra en regiones fértiles correspondientes a los valles de los ríos Huang-Ho y Yang-Tse-Kiang, alrededor del siglo XV a.C (Grijalva, 2014). El cultivo del arroz se distribuyó desde China hasta Japón, Filipinas y Corea, llegando a países de las zonas mediterráneas, en tanto que, para el siglo IV a.C, la especie se encontraba distribuida en Mesopotamia con la ayuda de los comerciantes del rey persa, Darío (Tolentino y Tenorio, 2017).

O. sativa, es considerada como una de las especies más antiguas, lo que ha dificultado determinar el momento exacto donde el hombre empezó su propagación. Los relatos chinos hacen referencia del cultivo hace 3000 años a.C donde proponen los inicios de la siembra de arroz como una fiesta religiosa importante que se hacía para el emperador (Gallardo, 2019). De

igual manera a resultado imposible establecer de manera exacta donde vino y como llegó al hemisferio occidental, sin embargo, algunos indican que Cristóbal Colón en su segunda expedición en 1493, trajo semillas, pero no fueron viables (Pincioli *et al.*, 2015).

1.1 Importancia del cultivo de arroz

La especie *O. sativa* es uno de los principales cultivos en el mundo, donde más del 85% de la poblacional mundial dependen de este cereal para la alimentación humana, en la región de América Latina y el Caribe es importante para la dieta de la población como alimento básico de la canasta familiar como fuente de carbohidratos (Gómez *et al.*, 2023).

El arroz es una gramínea anual fundamental para los países asiáticos y algunas zonas del sur de América, siendo la especie con mayor demanda después del trigo y ocupa aproximadamente 151 millones de ha, además, la producción obtenida se estima en unos 562 millones de toneladas métricas, donde el continente asiático produce alrededor 90% a nivel mundial, donde China es considerado el mayor productor, seguido de Brasil siendo esta región la que cultiva el mayor número de hectáreas en el continente americano (Acevedo *et al.*, 2020).

O. sativa, es una planta que presenta adaptación a terrenos inundados, además, de presentar un alto rendimiento y es importante para los sistemas agroalimentarios sostenibles de muchos países (Poveda y Andrade, 2018). Los estudios multidisciplinarios en arroz promueven que el sector sea ecoeficiente y competitivo, además que sostenible para contribuir a la seguridad alimentaria regional y mundial (China y Barreto, 2016).

Colombia cuenta con dos sistemas de producción diferenciados: 1) mecanizado, 2) tradicional (manual), donde el arroz mecanizado se divide en dos formas, en riego y seco. En

riego es aquel que se le suministra agua mediante el bombeo de un distrito de riego, en tanto que, el arroz seco es aquel que solo se le suministra al cultivo el agua que proviene de las lluvias que se recuperan utilizando canales de drenaje (Gárgano, 2018). El arroz mecanizado constituye alrededor del 94% del área sembrada y más del 70% corresponde al arroz de riego (Chavarría, 2022).

1.2 Clasificación taxonómica

Nombre Científico: *Oryza sativa*- Reino; Plantae- Phylum; Tracheophyta - Clase; Liliopsida - Orden; Poales - Familia; Poaceae- Género; *Oryza* - Epíteto Específico, *O. sativa*- Autor Epíteto Específico; Linneo (Díaz et al., 2017).

El arroz presenta naturaleza autógama, de porte alto, y se desarrolla con mejor versatilidad en climas tropicales, además, esta especie es una planta sembrada en seco, sin embargo, debido a las mutaciones adquirió características semiacuáticas, además, de que prospera en zonas muy diversas, no obstante, se desarrolla mejor en regiones tropicales y húmedas, siendo una planta fanerógama (Degiovanni *et al.*, 2010).

1.3 Descripción morfológica

1.3.1 Raíz

Se observan raíces delgadas, fasciculadas y fibrosas, y se distinguen dos formas: las que se originan en la radícula correspondiente a las seminales, de naturaleza temporal y las que se distinguen por su libre ramificación correspondiente a las raíces adventicias secundarias, donde se empiezan a formar nudos en la parte inferior del tallo, además, de que estas últimas reemplazan las raíces seminales (Figura 1.1) (Carreño, 2019).

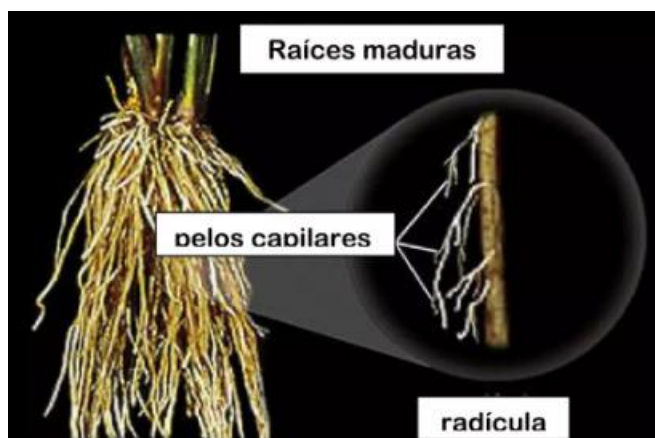


Figura 1.1. Forma de la raíz de la especie *O. sativa* L.

1.3.2 Tallo

Los tallos están originados por una serie de nudos y entrenudos; y estos varían dependiendo del cultivar y la zona agroecológica, presentan una naturaleza larga ubicada en la parte superior de la planta, además, cada nudo superior está integrado por una hoja y una yema dando origen a un macollo, en este sentido, el macollamiento empieza cuando la planta está sembrada y siempre termina cuando crece el primordio floral (inicio de fase reproductiva) (Figura 1.2). La cantidad de macollo dependerá de factores como la distancia de siembra (De La Cruz y Maribel, 2021).

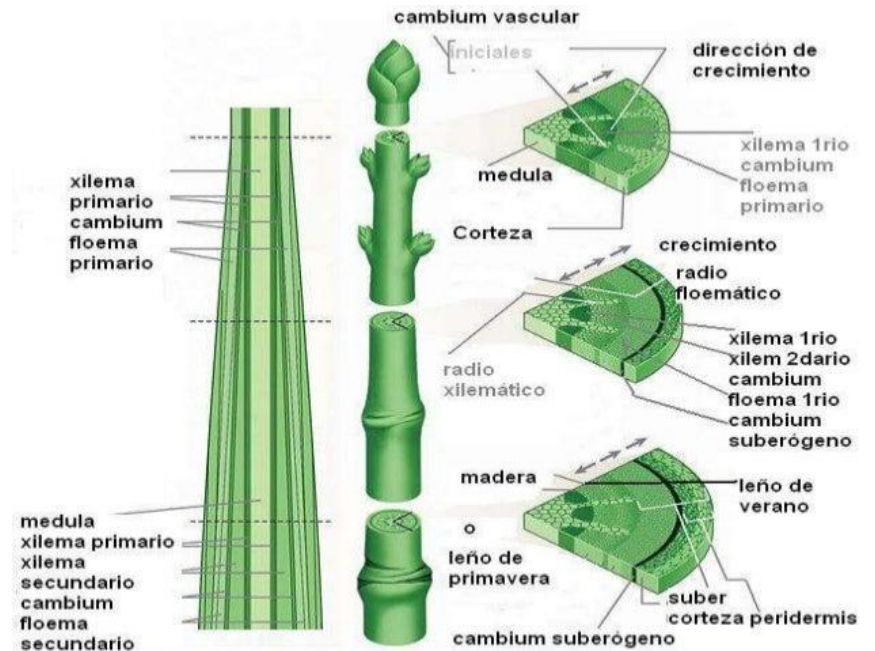


Figura 1.2. Forma del tallo de la especie *O. sativa* L. Fuente. (Holmann y Lascano, 2001)

1.3.3 Hojas

Las hojas de arroz pueden diferenciarse de otras gramíneas debido a que contienen lígula y la aurícula, está integrada de venas paralelas, como todas las gramíneas. El coleóptilo es el primero en salir de la semilla, donde continúa la hoja primaria, posterior la hoja secundaria con la primera lámina y así las demás partes. Las hojas que rodean el tallo se producen una por una, y pueden producir una hoja cada siete días, las hojas son alternas. En una hoja completa se observan las siguientes partes: vaina, cuello y lámina (Figura 1.3) (Gil, 2020).

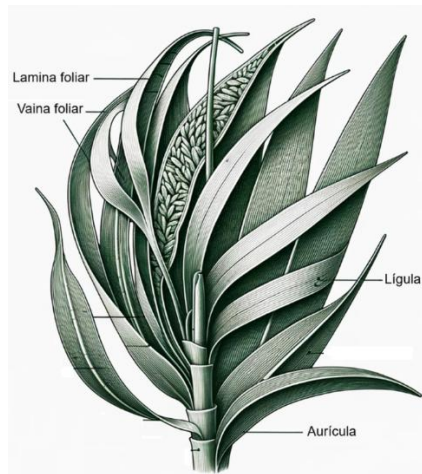


Figura 1.3. Forma de la hoja en la especie *O. sativa L.*

1.3.4 Flores

Presentan tonalidad de color verde blanquecino y están dispuestas en forma de espiguillas, y su conjunto está conformado por una panoja con característica estrecha, terminal y colgante. En tanto que, la inflorescencia es una panícula que se ubica en el vástago terminal (Hernández et al., 2019). Las florecillas la conforman el lema y la palea, arista, los estambres integrados por anteras y filamentos, estigma, apículo, ovario, nervios, glumas estériles y rudimentarias, raquilla y el pedicelo (Figura 1.4) (Carreño, 2019).

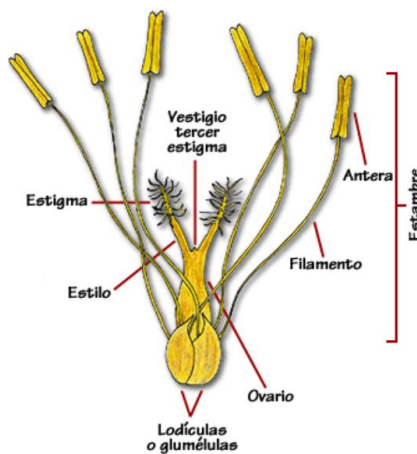


Figura 1.4. Forma de las flores en la especie *O. sativa L.*

1.3.5 Semilla

Las semillas recién cosechadas están constituidas por el cariópse y por cáscara, la cual está conformada por glumas (Figura 1.5). En la industria alimentaria indica que el arroz con cáscara es el cual contiene su cariópse y glumas. Este cariópse está conformado por el endospermo y por capas denominadas aleurona (tejido con alta concentración de proteína), tegumento (cubierta seminal), y pericarpio (cubierta del fruto) (Noche, 2019).

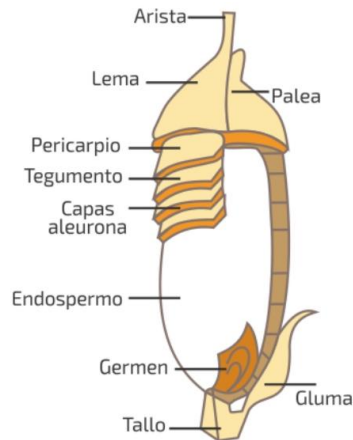


Figura 1.5. Forma de la semilla en la especie *O. sativa L.*

1.4 Fenología del cultivo

Según INTA (2009) el arroz presenta nueve fases fenológicas, las cuales se describen en la Tabla 1.1 y figura 1.6.

Tabla 1. 1. Etapas fenológicas del cultivo de arroz.

Etapas	Estados
Germinación o emergencia	0
Plántula	1
Macollamiento	2
Crecimiento del tallo	3
Embuchamiento iniciación del primordio floral	4
Emergencia de la panícula	5
Floración	6
Estado lechoso del grano	7
Estado pastoso del grano	8
Madurez fisiológica del grano	9

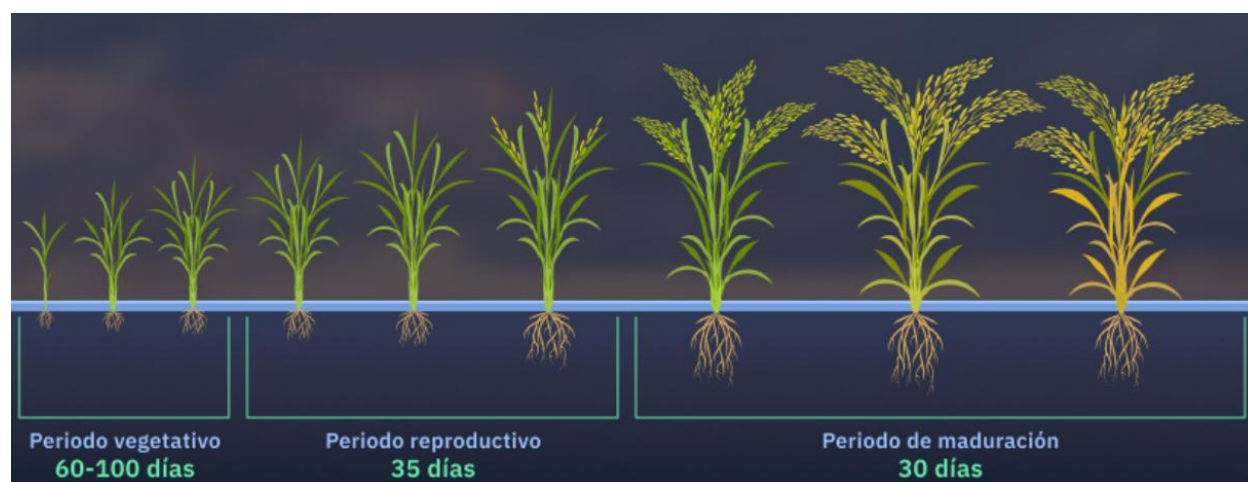


Figura 1.6. Etapas fenológicas de la especie *O. sativa L.*

1.5 Condiciones edafoclimáticas

1.5.1 Clima

El arroz proviene del trópico y subtrópico, sin embargo, las producciones más altas se concentran en zonas de clima húmedos tropicales, no obstante, se puede sembrar en zonas con

humedad correspondiente a las regiones subtropicales y climas templados. Esta especie se distribuye desde los 50 – 51° de latitud norte a los 36° de latitud sur, y se siembra desde el nivel del mar hasta los 2600 ms.n.m. (Jiménez, 2021).

1.5.2 Suelo

Presenta buena adaptación a diferentes condiciones de suelo; sin embargo, las condiciones óptimas son: pH 6,0 – 7,0, con buena cantidad de materia orgánica (>5%), buena concentración de arcillas (>40%), buen intercambio catiónico, topografía plana, profundidad >25% y buen drenaje (Mora *et al.*, 2017).

1.5.3 Agua

Esta especie puede estar varios meses inundado sin morir ahogada, debido a que el arroz tiene un tejido especial que le facilita el transporte de oxígeno desde las hojas hasta las raíces; tiene una buena adaptación a las inundaciones y puede sobrevivir en terrenos inundados como en terrenos sin inundar. El requerimiento hídrico promedio de arroz durante el ciclo fenológico se puede acercar a los 15,000 m³/ha, sin embargo, este dato puede variar dependiendo las condiciones ambientales (Jiménez, 2021).

1.5.4 Temperatura

Es importante tener en cuenta que las temperaturas críticas están por debajo de los 20° y no pueden ser superiores a los 30°, dependiendo del estado fenológico de la planta se pueden sufrir afectaciones como por ejemplo a una temperatura inferior a 20° en la fase de floración que es una etapa de mucha importancia económica, la planta puede presentar esterilidad o aborto floral (De la Cruz y Maribel, 2021).

1.5.5 Fotoperiodo

La planta de arroz es de día corto y presenta un fotoperiodo crítico de 12 a 14 horas y esta sensibilidad depende del genotipo. El fotoperiodo crítico más sensible para los genotipos es de 10 horas (Jiménez, 2021).

1.6 Mejoramiento genético

Según Pérez *et al.* (2019) el mejoramiento genético es importante para la modificación de genotipos que tienen como objetivo la producción, estas modificaciones se logran debido a la selección de caracteres genéticos entre genotipos, que buscan aumentar la frecuencia de múltiples individuos con rasgos deseables. Para la identificación es fundamental tener en cuenta tres elementos: la estrategia de mejoramiento, las cualidades identificadas y metodologías estadísticas para calcular la carga genética de cada genotipo.

Los métodos de mejoramiento genético utilizados en el cultivo de arroz comprenden: selección masal, mejoramiento por retrocruzamiento y genealógico o por pedigrí. Según Díaz *et al.* (2015), otras formas es la producción de genotipos haploides, utilizando el cultivo de anteras de individuos generados por medio de cruzamientos previos. El empleo de líneas haploides aumenta la oportunidad de seleccionar caracteres de origen poligénico y facilita la identificación de mutaciones recesivas. El cultivo *in vitro* ha sido una metodología efectiva para generar líneas mediante el cultivo de anteras que presentan variaciones génicas, los cuales se denominan gametoclonales, permitiendo el desarrollado de nuevas variedades de arroz (Llatas *et al.*, 2021).

En el mejoramiento de arroz se utiliza la variabilidad intraespecífica existente, sin embargo, afrontamos una demanda de nuevos genotipos que presenten cualidades como altos rendimientos, resistencia a factores bióticos y abióticos, además, de presentar buenas cualidades

nutricionales para la industria alimentaria, lo que hace necesario la identificación de genes para ser tenidos en cuenta en los programas de mejoramiento varietal (Morejón y Díaz, 2015). Además, algunos fitomejoradores han utilizado parientes silvestres pertenecientes al mismo genoma de *O. sativa* (AA), con el fin de transferir caracteres deseables pertenecientes a los parientes silvestres y generar nuevos cultivares, no obstante, a pesar de que los cruzamientos de especies de otros genomas distintos son complejos debido a la alta incompatibilidad y esterilidad (Pérez *et al.*, 2019).

1.7 Molienda de arroz

La práctica de molienda sobresale por ser unitaria tradicional que tiene como función reducir el tamaño de la partícula, donde el gran impacto de los molinos ha facilitado la transformación termo-mecánica, que al final da como resultado cambios estructurales en el material (Escalante, 2020).

Este proceso tiene como objetivo la eliminación de la cáscara y salvado que al final se obtiene un arroz blanco pulido, esta práctica es una parte de la cosecha que es necesario para el consumo humano, donde se puede realizar con maquinaria o de forma manual (Escalante, 2020). Ancestralmente estos procesos se han hecho golpeando el arroz con piedras con el fin de eliminar las capas de casco y salvado, actualmente se cuenta con maquinarias modernas que han facilitado todo el proceso de molienda (Narváez *et al.*, 2023).

En la calidad molinera, el proceso de pilado es fundamental y este debe llevar una trazabilidad durante cada fase del proceso, en este punto se determina la calidad para cada muestra y que se procesa, determinando cada aspecto y todas las variables que se necesitan investigar con el fin de obtener los resultados para futuros estudios (Mendoza *et al.*, 2019).

1.8 Importancia de la calidad culinaria en el arroz

Galvis (2020), indica que las investigaciones recientes han demostrado que las propiedades como la textura, el sabor y la apariencia del grano una vez este cocinado son factores determinantes para el consumidor; por lo tanto, estos atributos tienen una relación con la composición del almidón, en especial el equilibrio que se observa entre la amilosa y amilopectina, lo que genera problemas en su viscosidad y firmeza durante la cocción de los granos de arroz.

La calidad culinaria es importante para los procesos industriales, donde se observa la integridad de los granos que al momento de la cocción y el secado es fundamental para mantener atributos de calidad estética, en especial en aquellos mercados donde el arroz se consumió como fuente principal de carbohidratos (Medina. 2022). Según Cadena *et al.* (2021), señalan que los métodos de manejo agronómico, cosecha y almacenamiento podrían alterar las características culinarias e indican la importancia de hacer prácticas agrícolas y de manejo en especial en la postcosecha que ayuden a optimizar y mantener los atributos de calidad en los granos de arroz.

Las investigaciones recientes se han enfocado a entender como las variaciones genéticas afectan la calidad nutricional del arroz el cual se vincula de forma directa con los atributos culinarios. Estudios realizados por Cruz (2022) han demostrado que los factores genéticos y ambientales influyen en la concentración de nutrientes y en la composición del almidón; por lo tanto, este enfoque no solo busca mejorar las cualidades organolépticas del arroz si no también la obtención de una dieta saludable, y donde la calidad culinaria es un campo de estudio fundamental para avanzar en los programas de mejoramiento genético en arroz.

1.9 Interacción genotipo por ambiente

La interacción genotipo por ambiente (GxA) es un factor determinante en la agricultura, donde se describen diferentes genotipos y su respuesta a las variaciones ambientales; por lo tanto, esta interacción se presenta cuando el rendimiento y otras características del cultivo en estudio depende de su composición genética (genotipo) y en el entorno donde se desarrolle (ambiente) y que no sea de manera aditiva, sino interactiva Ceccarelli (2015). Según lo anterior, un genotipo que es superior en un ambiente puede no serlo en otro, debido principalmente a factores de clima, suelo, disponibilidad de agua y nutrientes.

En mejoramiento genético de cultivos permite a los investigadores entender de una mejor manera la selección y desarrollo de los cultivares, que se adapten de manera correcta a las condiciones agroclimáticas de la región (Barona *et al.*, 2019). Los estudios sobre GxA permiten identificar genotipos estables que contengan un buen rendimiento en amplios ambientes, o que se puedan desarrollar genotipos especializados para condiciones ambientales específicas. Las metodologías empleadas en estudios de interacción (GxA), están conformados por ensayos multilocales y análisis estadísticos como la regresión de estabilidad y los modelos mixtos; por lo tanto, nos permiten entender la interacción y evaluar la adaptabilidad y estabilidad de diferentes materiales (Acevedo *et al.*, 2023).

El arroz es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial para la dieta básica en países como Latinoamérica, gracias a su aporte de carbohidratos, los estudios de genotipo por ambiente en arroz no son tan abundantes, como los estudiados en otras especies como el trigo, maíz o cebada (Tirado *et al.*, 2018). Cuando se investiga el comportamiento de genotipos élites de arroz, en múltiples localidades, a través de años, se debe identificar la zona ambiental de estudio no es homogéneo para ser utilizado en el análisis, por lo tanto, es fundamental agrupar

los genotipos que presenten características genéticas, como mayor rendimiento y hábito de crecimiento (Márquez *et al.*, 2020).

Para realizar los estudios de interacción genotipo por ambiente, es necesario descomponer la ecuación: genotipo (G) y el ambiente (A), donde se puede observar, la dependencias o independencias del genotipo en zonas agroecológicas determinadas, es decir, que mide la interacción GxA en las variables de rendimiento en estudio (Barona *et al.*, 2020).

En estudios de interacción GxA y la estabilidad, se utiliza varios modelos estadísticos, donde se encuentra, el de Eberhart & Russell (1966), cuya metodología provocó inconformidades por la violación de las suposiciones de regresión donde emplea como variables independientes las medias obtenidas por los diferentes ambientes de la variable de la respuesta (Márquez *et al.*, 2020). En tanto que, la metodología empleada por Finlay y Wilkinson (1963), se utiliza ampliamente en investigaciones de interacción genotipo por ambiente (GxA), donde describen la estabilidad de los cultivos en diferentes zonas agroecológicas y tienen en cuenta la recopilación de los datos con ensayos multi-ambientales, donde se tienen en cuenta varios genotipos en diferentes ambientes, además de diferentes localidades, años y condiciones de manejo (De Souza *et al.*, 2020). Posteriormente, los componentes de varianza, donde se hace un análisis de varianza para descomponer la variabilidad total que atribuyen a los genotipos, su ambiente e interacción (Marchisone, 2023). Finalmente, la metodología empleada por Finlay y Wilkinson nos permite clasificar a los genotipos mediante su estabilidad y adaptabilidad, siendo útil para la seleccionar materiales, que no solo presentan un buen rendimiento, sino que también muestran una buena estabilidad a diferentes condiciones ambientales.

Las investigaciones de interacción GxA nos sugieren información sobre el comportamiento que se presenta en cada genotipo cuando son sometidas a las variaciones

ambientales, en este sentido, se usan análisis de estabilidad y adaptabilidad de cultivares, que nos permiten identificar individuos con comportamiento previsible (Tirado *et al.*, 2018).

Capítulo 2. Evaluación de parámetros de calidad molinera, apariencia de grano y calidad culinaria en siete genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.)

Resumen

El arroz es un cultivo que se ha estudiado en diferentes partes del mundo. Sin embargo, son pocos los estudios referentes a la variabilidad genética de la especie, en especial en términos de calidad, lo que implica estudios que conlleven un análisis a la calidad molinera y culinaria, que puede servir como una base para la selección de individuos elites que ayuden a mejorar la necesidad de los productores de arroz y la industria de alimentos. El presente ensayo tuvo como objetivo estudiar características molineras y culinarias en genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.) en el departamento del Cauca y Valle del Cauca. Se evaluaron seis híbridos de arroz y un testigo comercial (Fedearroz 67) en cuatro localidades ubicadas en Cauca y Valle del Cauca (Buenos Aires; Timba corregimiento de Buenos Aires; Guachené, Cauca y Jamundí, Valle del Cauca). Los híbridos de arroz fueron sembrados en las localidades bajo un diseño de bloque completamente al azar con cuatro repeticiones. Se evaluaron ocho variables de calidad molinera y culinarias. Los resultados fueron analizados mediante un Análisis de varianza y prueba de promedio Duncan, además de un Análisis de Componentes Principales, utilizando el software R-

Studio. En la variable porcentaje de grano partido, el híbrido AR002 presentó los máximos resultados con 22,2%; en tanto que, en el índice de pilada destacaron AR001 y AR002 con 61,4 y 61,1% respectivamente. Referente al rendimiento de pilada AR001 y AR004 sobresalieron con 67,7 y 67,7% respectivamente. Respecto a la variable porcentaje de yesado se identificó al híbrido AR002 como superior con 7,8%, mientras que, para relación/ancho AR006 con 4,24 sobresalió. En las variables culinarias, porcentaje de amilosa AR006 presentó el máximo valor con 31,05%. La variable centro blanco AR001 y AR004 mostraron los mínimos valores con 0,4% respectivamente. Finalmente, el Análisis de Componentes Principales, se identificaron dos componentes con una varianza acumulada de 68,082%, que permitieron identificar la mayor contribución en las variables índice de pilada, centro blanco, temperatura de Gelatinización y rendimiento pilado, respecto a los genotipos fueron AR004 y AR001. Estas variables son fundamentales para los programas de mejoramiento genético en arroz porque determina la calidad de los granos para la agroindustria de alimentos.

Palabras clave: arroz, híbrido, variabilidad genética, caracterización.

Abstract

Rice is a crop that has been extensively studied worldwide; however, few studies have focused on the genetic variability of the species, particularly in terms of quality, highlighting the need for research analyzing milling and culinary quality as a foundation for selecting elite individuals to meet the needs of rice producers and the food industry. This study aimed to evaluate milling and culinary characteristics in rice (*Oryza sativa* L.) genotypes in the departments of Cauca and Valle del Cauca, assessing six rice hybrids and a commercial control (Fedearroz 67) across four locations (Buenos Aires; Timba, a district of Buenos Aires; Guachené, Cauca; and Jamundí, Valle del Cauca) under a completely randomized block design with four replications. Eight milling and culinary quality variables were analyzed using ANOVA, Duncan's multiple range test, and Principal Component Analysis (PCA) in R-Studio. AR002 exhibited the highest broken grain percentage (22.2%), while AR001 and AR002 had the highest milling index values (61.4% and 61.1%, respectively). AR001 and AR004 achieved the highest milling yields (67.7% each), AR002 was superior in chalkiness percentage (7.8%), and AR006 had the highest length/width ratio (4.24). Regarding culinary quality, AR006 had the highest amylose content (31.05%), while AR001 and AR004 showed the lowest white core values (0.4%). PCA identified two main components with a cumulative variance of 68.08%, highlighting the highest contributions in milling index, white core, gelatinization temperature, and milling yield, with AR004 and AR001 standing out. These findings are crucial for rice breeding programs as they determine grain quality for the food industry.

Keywords: rice, hybrid, genetic variability, characterization.

2.1 Introducción

En Colombia la producción de arroz no satisface la demanda interna, siendo uno de los principales importadores de arroz en el mundo. Los arroceros colombianos tienen el propósito de llegar a abastecer la demanda interna y, posteriormente, exportar el grano a los mercados internacionales, debido a lo anterior el gremio de arroceros se encuentra en la constante búsqueda de mejorar sus condiciones de cultivo e incrementar la productividad mediante el uso de materiales mejorados y el uso de nuevas tecnologías en las prácticas de cultivo (Burgos, 2021).

En la actualidad, la mayor parte del área sembrada en cultivos de arroz en el Valle del Cauca corresponde a variedades que, si bien, han avanzado en mejoramiento genético e incorporación de eventos tecnológicos que permitan facilitar las prácticas de manejo agronómico, sigue siendo necesario la búsqueda constante de acciones de mejora que permitan aumentar la producción, calidad y rentabilidad hasta lograr una cadena de producción eficiente en la región en donde se vea beneficiado cada uno de los actores involucrados en la producción, industrialización y consumo del cereal (Montenegro *et al.*, 2023).

Surge entonces, la necesidad de investigación, en tecnologías eficientes que aporten una posible solución al problema, una de estas alternativas, consiste en reemplazar la siembra de variedades por híbridos de alto rendimiento. Por tal razón, el objetivo del presente estudio consistió en identificar híbridos de arroz de alto rendimiento y calidad de grano en el valle geográfico del río Cauca. De manera particular también se busca disponer materiales promisorios para ser registrados, así como incrementar la oferta de semilla de materiales mejorados para la región del valle geográfico del río Cauca.

2.2 Materiales y Métodos

2.2.1 Localización

El estudio se llevó a cabo en cuatro localidades de la subregión natural del Valle Geográfico del río Cauca. La primera localidad se ubica en Buenos Aires (Cauca), localizada a 3°00'59" latitud N y 76°38'28" longitud O, a una altitud de 1400 ms.n.m, en tanto que, valores medios de temperatura y precipitación son 22°C y 2.271 mm anuales. La segunda localidad se ubica en Timba corregimiento de Buenos Aires (Cauca), localizada a 3°06'53" latitud N y 76°37'35" longitud O, a una altitud de 1200 msnm, valores promedios de temperatura y precipitación de 24°C y 2.024 mm anuales. La tercera localidad ubicada en el municipio de Guachené (Cauca), localizada a 3°08'10" latitud N y 76°23'19" longitud O, a una altitud de 996.28 ms.n.m., los valores medios de temperatura y precipitación son 26°C y 2300 mm anuales. La cuarta localidad se ubica en el municipio de Jamundí (Valle del Cauca), localizada a 3°15'41" latitud N y 76°32'15" longitud O, a una altitud de 975 m.s.n.m. y valores medios de temperatura y precipitación de 23°C y 1200 mm anuales.

2.2.2 Material vegetal

Se evaluaron seis híbridos experimentales de arroz identificados como: AR001, AR002, AR003, AR004, AR005 y AR006 pertenecientes al Programa de Mejoramiento Genético de Semillas Valle S.A., así como también la variedad Fedearroz 67 como testigo comercial.

2.2.3 Diseño experimental

Los ensayos se establecieron bajo un diseño experimental en bloques completos al azar con cuatro repeticiones para cada una de las cuatro localidades. La unidad experimental consistió en una parcela de 10 metros de largo por 5 metros de ancho, y la siembra se realizó por medio de trasplante de forma manual. Las evaluaciones se realizaron en un área de 20 m² (5m x 4m). El rendimiento obtenido en las parcelas de 20 m² se expresó en kilogramos por hectárea.



Figura 2.1. Establecimiento de los genotipos de *Oryza sativa* bajo el diseño experimental utilizado en el estudio de adaptabilidad.

2.2.4 Labores culturales

Las labores culturales que se llevaron a cabo en el cultivo de arroz en cada una de las cuatro localidades se detallan a continuación.

Tratamiento de semilla

Para el tratamiento de semilla se utilizó el producto Vitavax el cual está compuesto por los ingredientes activos (Carboxin 200 g/kg + Captan 200 g/kg) el cual como fungicida

protectante, ofrece protección contra agentes causales de la pudrición de las plántulas, siendo altamente efectivo contra los principales patógenos que atacan las semillas.

Se utilizó una dosis de 2 g/kg de semilla la cual se aplicó por vía humedad mediante la preparación de pasta acuosa en donde se disolvió los 2 g de producto en 10 ml de agua (Figura 2.2). Posteriormente se procedió a la aplicación sobre la semilla de manera uniforme con un atomizador.



Figura 2.2. Tratamiento de semilla de *Oryza sativa* utilizada en el estudio de adaptabilidad.

Prueba de germinación

Antes de distribuir la semilla de los híbridos y la variedad testigo a las diferentes localidades, se realizó la prueba de germinación en papel absorbente en el Centro Experimental de Semillas Valle.

Las semillas una vez tratadas se distribuyeron de forma ordenada sobre una hoja de papel absorbente húmedo debidamente rotulado con el nombre del genotipo y fecha, luego se cubrieron las semillas con otra hoja del mismo papel humedecido sin encharcarse y se enrolló. Se realizó el mismo procedimiento para cada uno de los genotipos, finalmente los rollos de papel húmedo con las semillas en su interior se depositaron dentro de un recipiente plástico tipo

bandeja con su respectiva tapa y totalmente limpio y desinfectado, el cual se dejó en el laboratorio de control de calidad de Semillas Valle en un lugar cálido y con buena iluminación, donde no le llegaban directamente los rayos del sol y seis días después se realizó la lectura del resultado.



Figura 2.3. Prueba de germinación en híbridos de arroz *Oryza sativa* utilizados en estudio de adaptabilidad.

Selección de semilla y pre-germinación

Una vez se obtuvo el porcentaje de germinación para cada material, se procedió a seleccionar la semilla por encima del 90% de germinación. Con las semillas que cumplieron con este requisito, se realizó una pre-germinación del material, empleándose 6000 semillas de cada híbrido para cada parcela experimental, estas se depositaron en fundas de tela de 7 pulgadas x 12 pulgadas y se rotularon, adicionalmente se suministró agua y se mantuvieron a una temperatura ambiente. Posteriormente, las semillas fueron trasladadas a bandejas de germinación en el invernadero.



Figura 2.4. Método de pre-germinación en semillas de *Oryza sativa* utilizadas en el estudio de adaptabilidad.

Preparación de sustrato y siembra de semillas

Como sustrato se utilizó una muestra de suelo con cascarilla quemada de arroz, el cual se distribuyó en las respectivas bandejas de germinación, luego se procedió a la siembra en bandejas con la semilla pregerminada y las bandejas fueron colocadas en el invernadero donde permanecieron por 25 días hasta el trasplante.

Luego de que se sembraron las semillas, se realizó un riego uniforme en todas las bandejas empleando un sistema de riego por aspersión de gota fina de poca presión, aplicando una lámina de riego de 2 litros/bandeja, para estimular la germinación.



Figura 2.5. Acondicionamiento de la semilla a través del uso de sustrato para siembra para *Oryza sativa* utilizadas en el estudio de adaptabilidad.

Trasplante

Transcurrido 25 días se procedió hacer el respectivo trasplante, la población ideal para los materiales que participaron en esta prueba es de 100 a 120 plantas/m² (equivalentes a 35 kilos de semilla/ha). Se realizó arreglos poblacionales de 15 a 17 cm entre surcos. En el caso de la variedad testigo la densidad de siembra fue del doble respecto a los híbridos.



Figura 2.6. Trasplante a campo de los genotipos de *Oryza sativa*.

Control de arvenses

El control de arvenses se realizó de forma manual y con herbicidas selectivos, se erradicó cualquier arvense que emergió dentro de cada bloque y alrededores.

Los ingredientes activos de los herbicidas utilizados y épocas de aplicación fueron:

- Pre-siembra: aplicación total de glifosato y/o paraquat entre 2,5 a 4 lt y 1,5 a 2 lt litros por hectárea respectivamente.

- Preemergencia: oxadiazon (dosis máxima 3 lt/ha) y butaclor (dosis máxima 4 lt/ha)
- Postemergencia: Pendimetalia (dosis de 3,5 a 4 lt/ha).

Fertilización edáfica y foliar

La fertilización edáfica se realizó teniendo en cuenta el requerimiento del cultivo según el estado fenológico y se calculó la dosis a aplicar teniendo en cuenta la disponibilidad de nutrientes de acuerdo con los resultados del análisis de suelos de cada una de las localidades (Tabla 2.1).

Tabla 2.1. Dosis y épocas de aplicación de fertilizante edáfica utilizado en genotipos de *Oryza sativa*.

Época de aplicación	Nombre químico	Nombre comercial	Kg/ha	% aplicado/requerimiento total
Siembra	Ácido Carbamídico	Urea	20	10
	Fosfato diamónico	DAP	80	100
	Cloruro de potasio	KCL	60	50
	Elementos menores	Microsem	46	100
10 - 12 días después de siembra	Ácido Carbamídico	Urea	140	70
	Cloruro de potasio	KCL	60	50
20 - 25 días después de siembra	Ácido Carbamídico	Urea	40	20

Manejo de Plagas y enfermedades

Para la prevención y el control de plagas y enfermedades se realizó el continuo monitoreo de las parcelas y se realizó la aplicación de agroquímicos en las épocas y dosis descritas en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Plan de manejo de plagas y enfermedad en genotipos de *Oryza sativa*.

Días después de siembra	Insecticidas			Fungicidas		
	Ingrediente activo	Dosis	Control	Ingrediente activo	Dosis	Control
25	Fipronil	0,3 Lt/ha	lepidópteros y hemípteros Lepidóptera,	difeconazol	0,4 Lt/ha	Pyricularia Oryzae
55	Cipermetrina	0,4 Lt/ha	Coleóptera, Díptera, Hemíptera	carbendazim	0,4 Lt/ha	Rhizoctonia solani
100				Mefentrifluconazole	0,5 Lt/ha	Manchado de grano

Cosecha

La cosecha de los híbridos y de la variedad testigo se realizó cuando estos llegaron a madurez fisiológica y el grano haya alcanzó entre 22% y 24% de humedad (90 a 100 días después de siembra). Se tuvo que suspender el riego 24 horas antes de la recolección. Se cosecharon de forma individual cada genotipo en cada repetición y se registraron los datos de peso y humedad.

Posteriormente, se tomó una muestra de 1 kg de cada genotipo por repetición y el grano fue llevado al laboratorio, donde se realizó la evaluación de las variables de post cosecha.

2.2.5 Variables de calidad molinera, apariencia de grano y calidad culinaria

Calidad molinera

Rendimiento de pilada (%): luego de quitar la cascara de arroz, se obtuvo el arroz integral y luego de moler se llegó al arroz blanco, este proceso incluyó la eliminación de las capas de salvado y germen. El cálculo se hizo utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ rendimiento de pilada} = \left(\frac{P_f}{P_i} \right) \times 100$$

Donde:

P_f: es el peso del arroz blanco.

P_i: es el peso del arroz con cascara.

Índice de pilada (%): Es la cantidad de arroz pilado entero que se obtiene a partir de la muestra de ensayo sin impurezas y se expresa en porcentaje. se calculó utilizando la fórmula:

$$\text{Índice de pilada} = \left(\frac{P_e}{P_t} \right) \times 100$$

Donde:

P_e: es el peso del grano entero.

P_t: es el peso del total de la muestra.

Grano partido (%): se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de grano partido} = \left(\frac{P_p}{P_t} \right) \times 100$$

Donde:

Pp: es el peso del grano partido.

Pt: es el peso del total de la muestra

Apariencia del grano

Grano yesado (%): El grano yesado es aquel que presenta un aspecto opaco, con apariencia de yeso o tiza en más del 50% del grano. Para determinar el porcentaje de granos que presentó yeso se tomó una muestra de 100 gramos después de la pilada, en buenas condiciones de luminosidad se inspeccionó cada grano permitiendo separar los granos translúcidos de los granos con opacidad y se obtuvo el peso de los últimos, para así determinar la proporción porcentual de la variable.

$$\% \text{centro yesado} = \left(\frac{\text{peso de granos yesados}}{\text{peso total de granos inspeccionados}} \right) \times 100$$

Relación largo ancho: se empleó una regla milimétrica donde la longitud se midió desde la base hasta la punta del grano, y el ancho desde la parte más ancha del grano. Para calcular el valor de esta variable se utilizó la fórmula:

$$\text{Relación largo/ancho} = \frac{\text{longitud del grano}}{\text{ancho del grano}}$$

Promedio de la relación: posteriormente se calculó el promedio de todos los granos medidos por genotipos y se obtuvieron los valores de los materiales:

$$\text{Promedio de relación largo/ancho} = \frac{\sum(\text{Relación largo/ancho})}{\text{Número total de granos.}}$$

Calidad culinaria

Centro blanco: se seleccionó una muestra representativa por cada genotipo. Se limpió la muestra y se dejó libre de impurezas para obtener resultados precisos. Para el cálculo, se tuvo en cuenta el número total de granos escaneados y el número de granos con centro blanco y se calculó el porcentaje de granos con centro blanco usando la siguiente formula:

$$\% \text{centro blanco} = \left(\frac{\text{número de granos con centro blanco}}{\text{número total de granos analizados}} \right) \times 100$$

Contenido de amilosa: Es la cantidad de amilosa en porcentaje, contenida en el grano blanco pulido, se determinó en un laboratorio del CIAT-FLAR, a través de la lectura en un equipo NIRS que mide el espectro del infrarojo cercano y permite a través de la estandarización de este la lectura del contenido de almidones tipo amilosa en harina de grano de arroz.



Figura 2.7. Equipo NIRS modelo DA1650 Analizador para harinas.

Temperatura de gelatinización: Se refiere a la temperatura a la cual el granulo de almidón comienza a absorber agua y a aumentar de tamaño en forma irreversible, perdiendo su estado cristalino en forma definitiva. se calculó la curva de Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) que determino Inicio de la absorción de calor y agua (T_0), máxima absorción de calor, punto clave del proceso (T_p) y finalización de la absorción de calor y del proceso de gelatinización (T_c).

- Temperatura (T_0): comienza la absorción de calor.
- Temperatura (T_p): es la absorción de calor máximo y esta referida como temperatura de gelatinización.
- Temperatura final (T_c): es la cual se completa la absorción de calor.

2.2.6 Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza combinado para las variables de la calidad molinera y apariencia del grano. Posteriormente, se realizó la prueba de promedios Duncan ($p < 0,05$) para identificar diferencias entre genotipos, mediante un diseño de bloques completamente al azar.

Se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) (Kaiser y Meyer, 1974), con las variables calidad molinera, culinaria y apariencia del grano descritas anteriormente. Las variables se manejaron con la siguiente nomenclatura: GP: grano partido; IP: Índice de pilada; RP: rendimiento de pilada; Y: % yesado; RLA: Relación Largo/ancho; CB: Centro blanco; A: % Amilosa; TG: Temperatura de Gelatinización. Finalmente, para la obtención de los resultados, se utilizó el paquete estadístico R-Studio versión 4.3 2023.

2.3 Resultados y Discusión

2.3.1 Variables de calidad molinera y apariencia del grano

En el análisis de varianza combinado ($p \leq 0,05$), se presentaron diferencias estadísticamente significativas para todas las variables de calidad molinera y apariencia del grano. Por otra parte, los resultados encontrados en la prueba de promedios de Duncan ($p \leq 0,05$), permitió identificar genotipos superiores (Tabla 2.3).

Tabla 2.3. Comparación de medias para las variables de calidad molinera y apariencia de grano evaluadas en siete genotipos de arroz.

Genotipo	% grano partido	% índice de pilada	Rendimiento de pilada	% de yesado	Relación largo/ancho
AR001	13.3 ab	61.4 a	67.7 a	4.9 ab	3.81 b
AR002	22.2 a	51.7 b	65.9 ab	7.8 a	3.70 b
AR003	7.2 b	55.9 ab	66.1 ab	3.1 b	3.95 ab
AR004	10.3 ab	61.1 a	67.6 a	5.0 ab	3.93 ab
AR005	17.9 ab	49.1 b	62.6 b	3.2 b	4.05 ab
AR006	12.3 ab	54.9 ab	66.5 ab	4.6 b	4.24 a
Fedearroz 67	10.5 ab	56.1 ab	65.8 ab	3.1 b	3.95 ab
Media	13.39	55.74	66.03	4.53	3.95

Para la variable porcentaje de grano partido, el promedio general fue de 13.39%, siendo el híbrido AR002 el que presentó el máximo valor con 22.2%. Seguidos de los híbridos AR005, AR001, AR006, AR004 y la variedad Fedearroz 67 con 17.9, 13.3, 12.3, 10.3 y 10.5% respectivamente y siendo similares estadísticamente, en tanto que, el híbrido AR003 con 7.2% fue el que presentó el valor más bajo (Tabla 2.3). Valores que coinciden con lo reportado por Borja *et al.* (2020), quienes registraron valores entre 15 a 24% en el estudio de calidad molinera

realizado a 40 líneas avanzadas de arroz. Se puede observar que los híbridos AR003 y AR004 presentaron valores por debajo de la media general por lo que podrían considerarse como materiales promisorios ya que los consumidores prefieren granos enteros debido a su apariencia y textura uniforme a la cocción, donde los valores altos podría reducir la calidad obtenida por parte de los híbridos, afectando la calidad final (Galvis, 2020). El híbrido AR003 presenta un bajo porcentaje de grano partido, resultado importante para el mercado debido a que representa mayor calidad y preferencias por los consumidores. Según Medina (2022), durante el proceso de molienda los granos podrían romperse, debido a una calibración incorrecta de las máquinas o prácticas de manejo inapropiadas, lo que podría afectar el producto final.

En la variable porcentaje de Índice de pilada con valores de 61.4 y 61.1% sobresalieron los híbridos AR001 y AR004 respectivamente, al presentar los máximos valores y sobrepasaron el 60%. Otros genotipos identificados como AR003, AR006, AR002 y Fedearroz 67 presentaron valores de 55.9, 54.9, 51.7 y 56.1 %, respectivamente, en tanto que el híbrido AR005 con 49.1 % obtuvo el mínimo resultado (Tabla 2.3). Estos valores son similares a los reportados por Medina (2022) quien registro índices de pilada entre 63 a 68%. De acuerdo con Ali *et al.* (2023), indica que esta variable está asociada con mayor calidad del arroz; por lo tanto, es mayor el precio en el mercado, donde los consumidores prefieren granos enteros por su apariencia y consistencia al cocinarse, cualidad que se pudo observar en los híbridos AR001 y AR004. Según Alvarado (2020), temperaturas altas al momento del llenado del grano pueden inferir de manera negativa el índice de pilada, ocasionada principalmente por la mayor fragilidad del grano y la susceptibilidad a una ruptura durante el proceso de molienda; además, que este estrés térmico presenta una relación con el aumento de la granosidad.

Los híbridos AR001 y AR004 son los que tuvieron mejor rendimiento de pilada con 67.7 y 67.6 % respectivamente, lo que indica una calidad superior de molino. Seguido los híbridos

AR006, AR003, AR002 y el testigo Fedearroz 67 con 66.5, 66.1, 65.9 y 65.8 %, respectivamente. En tanto que el genotipo AR005 con 62.6 %, fue el que presentó el menor valor (Tabla 2.3), estos resultados que coinciden con lo reportado por Rangel *et al.* (2018) con valores entre 68 a 66 %. Los híbridos AR001 y AR004 presentan una calidad molinera superior, que influye positivamente en la calidad y el valor del producto, además, de la eficiencia del procesamiento del arroz. Identificar genotipos con altos porcentajes en rendimiento de pilada es importante para desarrollar variedades de arroz que mejoren la producción de granos enteros, lo que podría asegurar la sustentabilidad y rentabilidad de la producción arrocera del departamento del Valle y Cauca en un entorno que se expone directamente a los cambios climáticos y la demanda de alimentos de alta calidad (Rangel *et al.*, 2018).

Para la variable porcentaje de yesado se identificó que el híbrido AR002 presentó el máximo valor con 7.8%, seguido de los híbridos AR004 y AR001 con 5 y 4.9% respectivamente, finalmente los genotipos AR006, AR005, AR003 y Fedearroz 67 con 4.6, 3.2 y 3.1% respectivamente, obtuvieron el mínimo valor. Se pudo evidenciar que el híbrido AR003 presentó un valor bajo de yesado, siendo valores ideales para esta característica en comparación con los demás genotipos; por lo cual, confiere mejor calidad, debido a que su porcentaje de harina es bajo, similar estadísticamente al testigo Fedearroz 67 (Tabla 2.3).

Los valores coincidieron con lo reportado por Monar (2022) quien encontró valores entre 4.1 a 8.2%. Autores como Ali *et al.* (2023), mencionan que esta variable es importante para determinar la calidad de los granos y el valor económico; además, de la eficiencia del procesamiento; asimismo, porcentajes altos es un indicador de áreas opacas y blanquecinas, que afectan de forma negativa la apariencia del grano pulido. Según Medina *et al.* (2022), sugieren que valores altos en el porcentaje de yesado como es el caso del híbrido AR002, podría presentar textura menos deseable a la cocción. Borja *et al.* (2020), afirma que los granos con

altos porcentaje de yesado se envían a las industrias para la producción de harina de arroz utilizada en la alimentación pecuaria, debido a que son menos apetecidos al arroz utilizado para el consumo humano.

En lo que respecta a la variable relación largo/ancho el genotipo AR006 fue el que obtuvo el valor máximo de 4.24, seguido de los genotipos AR005, AR003, AR004 y el testigo Fedearroz 67 con 4.05, 3.95, 3.93 y 3.95 respectivamente, finalmente los híbridos que presentaron el menor valor fueron AR001 y AR002 con 3.81 y 3.70 (Tabla 2.3). Estos resultados coinciden con lo reportado por Borja *et al.*, (2020), quienes reportaron valores entre 3.52 a 4.5. Además, Galvis (2020), indica que la relación largo/ancho influyen en la calidad del arroz, donde los granos más largos con es el caso de AR006 tienden a ser más esponjados y se separan después de la cocción, en tanto que, los granos más cortos tienen una tendencia hacer más pegajosos como se observa en AR001 y AR002 influyendo en la calidad. Según Hernández *et al.*, (2021), esta variable, está relacionada directamente a la composición nutricional del grano, donde varían el contenido de almidón y proteínas.

Tabla 2.4. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para las variables de calidad molinera y apariencia de grano evaluadas en siete genotipos de arroz en el valle geográfico del río Cauca.

Fuente de variación	gl	% grano partido	% índice de pilada	Rendimiento de pilada	% de yesado	Relación largo/ancho
Localidad	3	1664.10 ***	229.93 **	194.32 ***	45.670 ns	41.35 ***
Bloques	3	292.60 ns	187.65 *	23.78 ns	12.596 ns	0.69 ns
Genotipos	6	415.10 *	323.81 ***	47.45 **	44.25 *	1.37 ***
Localidad x Genotipo	17	132.27 ns	120.75 **	17.41 ns	22.16 ns	0.50 ns
Residual	82	147.03	49.54	14.97	18.58	0.32

gl: Grados de libertad.

Para la variable porcentaje de grano partido, se pudo observar diferencias estadísticamente significativas entre localidad y genotipo, a diferencia de bloque y la interacción entre localidad y genotipo ya que no existe diferencia significativa entre ellos (Tabla 2.4). Para la variable índice de pilada existe diferencia altamente significativa entre todas las fuentes de variación (Tabla 2.4).

Posteriormente, luego de aplicar el análisis combinado para la variable rendimiento de pilada, se pudo observar diferencia altamente significativa en localidad y genotipo, sin embargo, para bloque y la interacción de localidad por genotipo, no hay diferencia significativa (Tabla 2.4).

Finalmente, el análisis combinado para la variable porcentaje de yesado, permitió identificar que no se evidencia diferencias estadísticas significativas entre localidad, bloque y localidad por genotipo, sin embargo, se puede observar que para la fuente de variación del genotipo si se presentaron diferencias significativas (Tabla 2.4).

En lo que respecta a la variable relación largo/ancho el análisis combinado, indica que para localidad y genotipo se evidenciaron diferencias significativas, sin embargo, en los bloques y localidad x genotipo no se evidenciaron diferencias significativas (Tabla 2.4).

2.3.2 Variables de calidad culinaria

Para el porcentaje de amilosa y temperatura de gelatinización no se evidenció diferencias significativas para la localidad y para los genotipos, sin embargo, el centro blanco si existen diferencias estadísticas entre localidades (Tabla 2.5).

Tabla 2.5. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para las variables de calidad culinaria evaluadas en siete genotipos de arroz en cuatro localidades de estudio.

Fuente de variación	gl	Centro blanco	% Amilosa	Temperatura Gelatinización
Localidad	3	0,57 ***	11,20 ns	2,98 ns
Genotipo	6	0,14 ns	18,32 ns	6,03 ns
Residual	18	0,06	11,07	4,54

En la tabla 2.6 se presenta los resultados para las variables de la calidad culinaria, en las cuales se encuentran centro blanco, contenido de amilosa (%) y temperatura de gelatinización. Se puede observar que no se evidencian diferencias estadísticamente significativas entre ninguna de las variables analizadas.

Tabla 2.6. Comparación de medias para las variables de calidad culinaria evaluadas en siete genotipos de arroz en cuatro localidades de estudio.

Híbridos	Centro Blanco	% Amilosa	Clasificación	Temperatura Gelatinización	Clasificación	Rango temperatura
AR001	0,4 a	25,525 a	alta	3,25 a	alta	74-80
AR002	0,75 a	28,175 a	alta	4,25 a	alta	74-80
AR003	0,7 a	27,525 a	alta	3,0 a	intermedia	69-73
AR004	0,4 a	28,35 a	alta	4,75 a	alta	74-80
AR005	0,9 a	27,275 a	alta	2,75 a	baja	63-68
AR006	0,65 a	31,05 a	alta	4,25 a	alta	74-80
Fedearroz 67	0,5 a	24,375 a	intermedia	3,5 a	alta	74-80

En la Tabla 2.6, se pudo observar los resultados obtenidos en los híbridos evaluados y la variedad Fedearroz 67, donde el porcentaje de amilosa (%) se encuentra en clasificación alta para todos los híbridos evaluados e intermedia para la variedad testigo, lo que me indica la buena calidad de los materiales evaluados, teniendo en cuenta que estos valores presentaron un rango

entre 24.375 a 31.05% correspondiente al testigo Fedearroz 67 y AR006 respectivamente. Según John y Raman., (2023), sugieren que rangos entre 22 y 27% o superiores, son clasificados con alta calidad culinaria, siendo la más aceptada y demandada por el consumidor, puesto que, permiten que los arroces queden sueltos y secos después de cocinarse. Según Srinang *et al.* (2023), esta variable es importante porque tiene una relación con la textura del arroz cocinado, donde genotipos que presenten altos porcentajes de amilosa tienden a ser más firmes y sueltos después de cocinarse, mientras que, materiales con bajos porcentajes son más pegajosos y suaves, lo que dificulta los preparativos culinarios.

Por otra parte, porcentajes bajos son arroces más preferidos para culturas asiáticas para preparar Sushi, en tanto que, platos con amilosas altas, los granos se vuelven duros cuando se enfrían y se afecta la calidad, principalmente para platos que se consumen fríos. Finalmente, altos contenidos de amilosa tienden a tener un índice glucémico más bajo, siendo un factor que beneficia a las personas que sufren diabetes (Wang *et al.* 2022).

Para la variable centro blanco (CB) que hace referencia a la presencia de zonas opacas en el endospermo que afectan la apariencia del grano de arroz, se observó que no existe diferencia estadísticamente significativa entre ninguno de los materiales evaluados ni la variedad testigo (Tabla 2.6). Según Parrales (2020), la aparición de centro blanco, a excepción de genotipos con ciertos genes fijados, está altamente influida por el ambiente. Aun cuando no está claro el modo de herencia de la característica la presencia de la interacción genotipo por ambiente sugiere la acción de un sistema multigénico. Los híbridos AR001 y AR004 presentan el menor valor respecto a la variable centro blanco con 0.4 %. Los autores Chivenge *et al.* (2021), mencionan que el centro blanco afecta la apariencia y calidad del arroz, por lo cual es ideal mantener bajos porcentajes ya que en valores elevados los granos tienden a cocinarse de

manera dispereja al absorber el agua de manera diferente afectando la textura y la calidad culinaria.

Además, autores como Changjie *et al.* (2023), sugieren que las estructuras internas son más frágiles en los granos cuando el porcentaje de centro blanco es mayor y son propensos a romperse durante el proceso de molienda, reduciendo el rendimiento del arroz entero, bajando su valor económico. Por otro lado, Jiang *et al.* (2021), señalan que la presencia del centro blanco se ve influenciado por factores genéticos y ambientales y entender como interactúan estos factores podrían ayudar a desarrollar variedades de arroz que sean menos propensa al desarrollo del centro blanco, mejorando así la calidad general, además, que los granos con centro blanco podrían presentar una vida útil más corta y sufrir más daños durante el almacenamiento debido a sus estructuras internas más débiles.

Respecto a la variable de temperatura de gelatinización se observa como los híbridos presentan un rango de temperaturas que van desde los 63 a 80 °C, según la clasificación de Al Mamun *et al.* (2021), la cual puede ser baja o alta. En tanto que, la temperatura de gelatinización alta casi siempre está asociada con un contenido bajo de amilosa, sin embargo los resultados muestran lo contrario, esto puede deberse a condiciones de campo como señala Bhati *et al.* (2022), cuando se presentan temperaturas altas durante la floración, llenado y maduración del grano, los valores de su dispersión alcalina pueden aumentar al igual que la temperatura de gelatinización, evidenciando que las características medioambientales de las zonas de producción en donde se llevaron a cabo los estudios, tienen una condición de altas temperaturas. En la tabla 2.4 podemos ver los híbridos AR001, AR002, AR004, AR006 y la variedad testigo presentan un rango alto, por otro lado, el híbrido AR003 es intermedio y para el híbrido AR005 es baja.

Análisis de Componentes Principales

Los resultados presentados en el Análisis de Componentes Principales (ACP) permitieron reducir la dimensionalidad de un conjunto de ocho variables que se correlacionan en seis híbridos y el testigo comercial denominado Fedearroz67, donde se conformaron dos componentes principales con significancia.

En Tabla 2.7, se puede observar dos componentes principales considerados como significativos, con una explicación del primer componente del 40.595%. En tanto que, el segundo aporta el 27.487%, para un total de varianza acumulada de 68.082%.

Tabla 2.7. Dimensiones de componentes principales (Eigenvalores) utilizando variables de calidad molinera, apariencia del grano y calidad culinaria en siete genotipos de arroz.

Componente principal	Eigenvalor (Valor propio)	% varianza total	% varianza acumulada
1	8.578	40.595	40.595
2	2.373	27.487	68.082
3	1.626	21.784	89.866
4	1.229	7.350	97.216
5	0.973	2.269	99.486
6	0.797	5.138	100
7	0.569	1.829	100
8	0.274	00000	100

2.3.3 Proporción de la varianza explicada por cada variable

En la obtención de los componentes principales y selección se determinaron los que presentaron significancia (dos para el estudio), observándose una contribución de la varianza

total, se mostró la contribución en las ocho variables iniciales correspondientes a calidad molinera, apariencia de grano y calidad culinaria que se correlacionan en cada uno de los componentes principales, además, que se registraron los valores propios y las correlaciones obtenidas de las variables iniciales en los dos componentes con mayor aporte (Tabla 2.8).

Según Salazar et al. (2019), los valores propios se encargan de medir los aportes que se obtienen para cada uno de los componentes principales para determinar la varianza total, en tanto que, cada uno de los coeficientes muestran el grado de contribución para las variables iniciales (calidad molinera, apariencia del grano y calidad culinaria), y se puede observar cómo interactúan cada componente principal. Es importante entender los valores propios presentados en el estudio y sus respectivas correlaciones entre las variables seleccionadas, que se enfocan principalmente a los coeficientes; por otro lado, entre más alto se observen, más eficientes serán para reducir y discriminar los genotipos y las variables (Sánchez et al., 2023).

En la Tabla 2.8, se puede observar la interpretación de los valores para los dos primeros componentes principales.

Tabla 2.8. Contribución de cada variable (vectores propios) a la varianza en los dos primeros componentes principales en siete genotipos de arroz.

	CP1	CP2
GP	12.50	0.13
IP	27.84	1.76
RP	26.85	0.06
Y	0.02	1.26
RLA	0.03	16.87
CB	26.28	2.48
A	0.06	31.26

TG	3.18	29.09
Σ^2	100	100

VARIABLES DE CALIDAD MOLINERA: GP: grano partido; IP: índice de pilada; RP: rendimiento de pilada. VARIABLES DE APARIENCIA DE GRANO: Y: porcentaje de yesado; RLA: relación Largo/Ancho; CB: centro blanco. VARIABLES DE CALIDAD CULINARIA: A: porcentaje de amilosa; TG: temperatura de gelatinización.

El primer componente principal obtuvo una contribución del 40.59% de la varianza total explicada (Ilustración 14), el cual estuvo representado por tres variables de calidad molinera (RP, IP y GP) y una variable de apariencia de grano (CB), evidenciando una asociación entre las variables RP y IP, al igual que se asocian las variables GP y CB. Igualmente se puede evidenciar una correlación entre GP y CB con respecto a las variables RP y IP.

El segundo componente principal obtuvo una contribución del 27.48% de la varianza total explicada (Figura 2.8), el cual estuvo representado por dos variables de apariencia de grano (RLA & Y) y dos variables de calidad culinaria (A & TG), en donde se pudo observar que las cuatro variables presentan un alto grado de asociación.

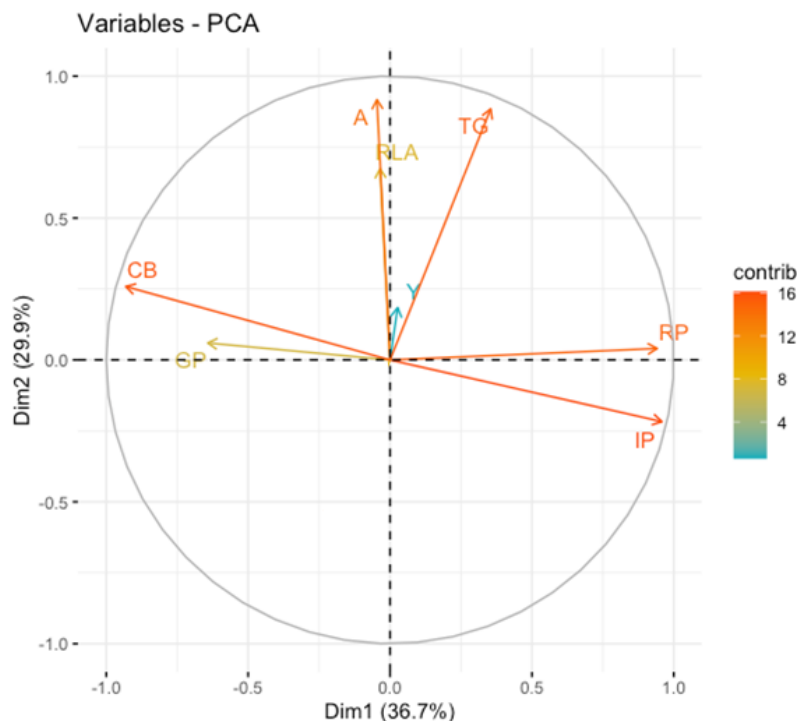


Figura 2.8. Proyección de las variables iniciales de los dos componentes principales. Variables de calidad molinera: GP: grano partido; IP: índice de pilada; RP: rendimiento de pilada. Variables de apariencia de grano: Y: % yesado; RLA: relación largo/ancho; CB: centro blanco. Variables de calidad culinaria: A: porcentaje de amilosa; TG: temperatura de gelatinización.

2.3.4 Proyección Biplot de genotipos y variables en los componentes principales

Para entender mejor el análisis multivariado, se procedió hacer la interacción gráfica Biplot con el fin de proyectar resultados paralelos entre las variables (vectores) como de los genotipos presentes en los componentes, dando una idea de la interacción o dependencia de las variables, con el objetivo de identificar la variabilidad genética de los seis híbridos evaluados y la variedad testigo, igualmente determinar su comportamiento respecto a la medición de cada una de las variables estudiadas.

En la Figura 2.9, se puede observar las dimensiones del primero y segundo componente principal, donde los genotipos AR003 y Fedearroz, se proyectan con una distancia menor y cerca

al centro del plano, asimismo, lo que indicaría que no se presenta variabilidad entre ellos independientemente de su origen con las variables yesado y Relación largo/ancho.

Los genotipos AR006, AR004 y AR005 contribuyen a obtener la mayor varianza al estar más alejados del eje principal. En el primer cuadrante se ubica el híbrido AR006 y definido por las variables Y y TG, presentando la mayor temperatura de gelatinización y porcentaje de yesado. Además, se puede observar una correlación positiva con las variables RLA, A, GP y CB (Figura 2.9).

En el cuadrante dos, se ubica el híbrido AR002, representado por la variable CB y GP, sin embargo, se puede observar que presenta una correlación negativa con la variable IP ubicado en el cuadrante cuatro y RP en el cuadrante uno, definiendo a este genotipo por obtener los valores más bajos para el índice de pilada y rendimiento de pilada, sin embargo, los valores encontrados en las variables de centro blanco y grano partido fueron superiores identificando a este genotipo de características no muy apetecidas (Figura 2.9).

En el cuadrante tres, está definido por el híbrido AR005, donde alcanza valores altos para centro blanco, siendo esta una característica indeseable y presenta una correlación negativa con las variables IP y RP, mostrando mínimos valores (Figura 2.9). Finalmente, en el cuadrante 4, se ubicaron cuatro genotipos identificados como AR003, AR001, AR004 y el testigo Fedearroz 67, se puede observar que las variables RP y IP se ubican más cerca del híbrido AR004, seguido del AR001 y se evidencia una correlación negativa con las variables CB y GP, proyectando estos genotipos como promisorios. En tanto que, AR003 se ubica muy cerca del eje central y presenta valores altos en porcentaje de yesado, el testigo Fedearroz, presenta una correlación negativa con las variables A y RLA ubicada en el cuadrante dos, presentando los mínimos valores (Figura 2.9).

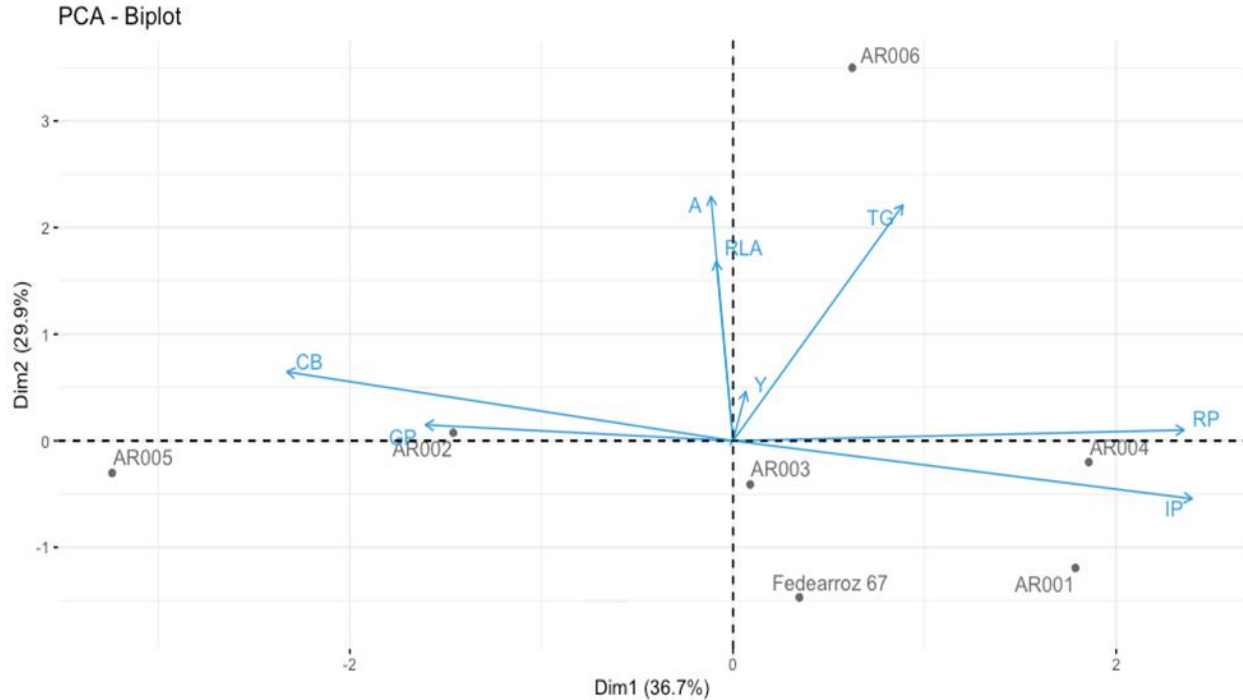


Figura 2.9. Representación de genotipos y variables en el primer plano utilizando un gráfico compuesto biplot. Genotipos de arroz. 1: AR001; 2: AR002; 3: AR003; 4: AR004; 5: AR005; 6: AR006. 7: Fedearroz 67. Variables de calidad molinera: GP: grano partido; IP: índice de pilada; RP: rendimiento de pilada. Variables de apariencia de grano: Y: % yesado; RLA: relación Largo/Ancho; CB: centro blanco. Variables de calidad culinaria: A: porcentaje de amilosa; TG: temperatura de gelatinización.

Según los resultados obtenidos la variable que presentó la mayor contribución a la varianza fue índice de pilada, seguido de centro blanco, temperatura de gelatinización, rendimiento de pilada y amilosa. Lo anterior es de gran relevancia para un programa de mejoramiento de arroz ya que estas variables podrían ser utilizadas para la identificación de genotipos promisorios con buenas cualidades culinarias y de grano (Figura 2.10).

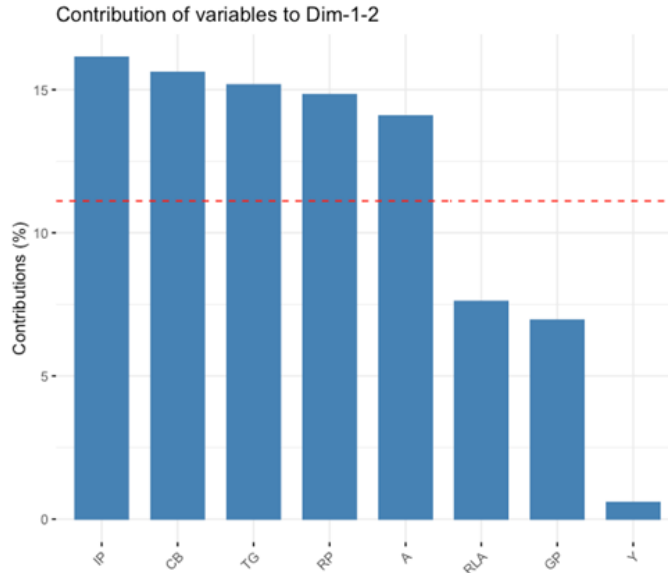


Figura 2.10. Contribución de variables fenológicas, morfológicas y agronómicas en dos componentes principales. Variables de calidad molinera: GP: grano partido; IP: índice de pilada; RP: rendimiento de pilada. Variables de apariencia de grano: Y: porcentaje de yesado; RLA: relación largo/ancho; CB: centro blanco. Variables de calidad culinaria: A: porcentaje de amilosa; TG: temperatura de gelatinización.

La mayor contribución de los dos componentes principales está representada por dos genotipos AR004 y AR001, los cuales sobresalen al presentar los valores más altos en porcentaje de rendimiento de pilada y índice de pilada, características de gran importancia e igualmente presentaron los valores más bajos respecto a las variables porcentaje de grano partido y centro blanco las cuales son características indeseables, convirtiéndose en materiales promisorios y superando al resto de materiales incluyendo el testigo Fedearroz 67 (Figura 2.11). Estos genotipos podrían ser tenidos en cuenta en procesos de selección y recombinación, ya que estos van a aportar un suministro de variantes alélicas que pueden generar nuevas combinaciones favorables para las características de importancia económica en arroz.

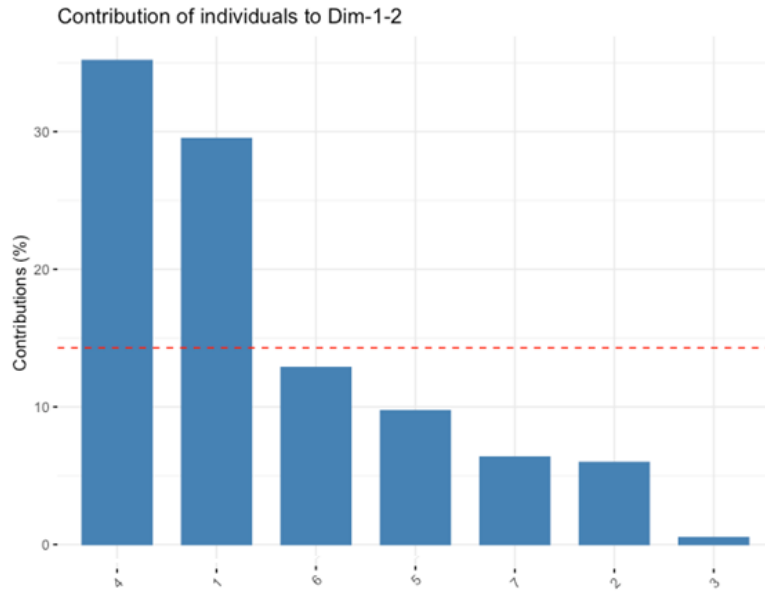


Figura 2.11. Contribución de los genotipos de arroz en los componentes principales. Genotipos de arroz. 1: AR001; 2: AR002; 3: AR003; 4: AR004; 5: AR005; 6: AR006. 7: Fedearroz 67

Conclusiones

1. Se logró identificar genotipos de arroz con alto potencial para calidad molinera y comercial, particularmente de los híbridos AR001, AR003 y AR004 mostraron características que los posicionan como materiales promisorios para el valle geográfico del río Cauca, al combinar alta recuperación industrial con bajo porcentaje de grano partido, atributos clave para su aceptación en el mercado.
2. En la calidad culinaria, los híbridos AR001 y AR004 cumplen con los estándares deseables, evidenciando estabilidad en la cocción y buena textura. Estos materiales presentan características compatibles con las preferencias del consumidor, lo que los hace viables para su inclusión en programas de mejoramiento enfocados en la calidad del grano.
3. El análisis de componentes principales confirmó la contribución de variables como rendimiento de pilada, centro blanco, temperatura de gelatinización y porcentaje de amilosa en la discriminación entre genotipos. Asimismo, permitió identificar que AR004 y AR001 son los genotipos con mayor aporte general, lo cual refuerza su potencial como candidatos para la implementación de evaluaciones en etapas posteriores de selección y registro varietal.

Capítulo 3. Estimación de la adaptabilidad y potencial de rendimiento de seis híbridos de arroz en cuatro localidades del Valle Geográfico del río Cauca

Resumen

El mejoramiento genético del cultivo de arroz (*Oriza sativa* L.), se ha orientado principalmente a desarrollar híbridos de alto rendimiento comercial y buena estabilidad ambiental, aun cuando los factores bióticos y abióticos son una limitante de la producción, lo que ha permitido mejorar el comercio de los agricultores, en especial para el consumo en fresco y la transformación agroindustrial. El rendimiento de los genotipos se ve influenciada por factores ambientales y genéticos, además, del manejo agronómico y la interacción de estos factores. En el presente estudio se evaluaron 25 variables, tanto fenológicas, morfológicas y de rendimiento en seis híbridos de arroz y un testigo comercial Fedearroz67, en cuatro localidades, Jamundí, Guachené, Buenos Aires y Timba corregimiento de Buenos Aires, utilizando un diseño de bloques completamente al azar. Para determinar diferencias significativas se utilizó un análisis de varianza combinado y pruebas de medias Duncan. Para los análisis de estabilidad se utilizó el índice de selección y para la interacción genotipo por ambiente el modelo AMMI. Para el

procesamiento de la información se utilizó el paquete estadístico R-Studio versión 4.32023. En la variable días a cosecha el híbrido AR001 con 119.91 días fue el más precoz para el ciclo fenológico. El híbrido AR001 presentó cualidades importantes respecto a las variables altura de la planta (83.75 cm), vaneamiento (2.41), volcamiento (2.75) y relación al desgrame (6.62). Por otra parte, en las variables longitud de las panículas y longitud de la hoja AR003 y AR001 con 20.32 a 21.59 cm y 23.60 y 28.19 cm respectivamente, fueron superiores. Los híbridos AR004 sobresalió en la variable granos por panículas con 159,60. Respecto a la longitud de lígula, macollas por planta, macolla por m² y población por m² con 9.75 cm, 15.77, 1881.27 y 127.72 respectivamente. Respecto a las variables de características de las semillas, se presentaron resultados diferenciados, en la longitud de la semilla AR003 (10.03 mm), ancho de la semilla AR005 (3.30 mm) y espesor de la semilla AR002 (1.79 mm). En tanto que, en las variables de rendimiento AR003 fue superiores en panículas por m² con 1725.4, espiguillas llenas por panícula con 11.29, peso de 1000 granos con 26.85 g y peso de panícula con 3.72 g. El Análisis de Componentes Principales permitió identificar que las variables que presentaron el mayor aporte fueron panículas por m², índice de semilla, espesor de semilla, granos por panícula, macollas por planta, peso de 1000 granos y espiguillas por panícula, mientras que respecto a los genotipos AR003, Fedearroz67 y AR005 presentaron la mayor contribución. En el índice de selección de los híbridos AR003 y AR001 fueron superiores en tres variables espesor de grano, peso de 1000 granos y peso panícula, presentando una mejor estabilidad en las localidades y rendimientos en el estudio. Finalmente, en modelo AMMI identificó al genotipo AR001 más cerca del eje central y se considera el más estable respecto al rendimiento.

Palabras clave: híbrido, estabilidad, ambiente, mejoramiento.

Abstract

The genetic improvement of rice (*Oriza sativa* L) has been mainly oriented to develop hybrids with high commercial yield and good environmental stability, even when biotic and abiotic factors are a limiting factor for production, which has allowed farmers to improve their trade, especially for fresh consumption and agro-industrial processing. The yield of genotypes is influenced by environmental and genetic factors, in addition to agronomic management and the interaction of these factors. In the present study, 25 phenological, morphological and yield variables were evaluated in six rice hybrids and a commercial control Fedearroz67 in four locations, Jamundí, Guachené, Buenos Aires and Buenos Aires corregimiento de Timba, using a completely randomized block design. A combined analysis of variance and Duncan mean tests were used to determine significant differences. For the stability analysis, the selection index was used and for the genotype-by-environment interaction, the AMMI model was used. The statistical package R-Studio version 4.32023 was used for data processing. In the variable days to harvest, hybrid AR001 with 119.91 days was the earliest for the phenological cycle. Hybrid AR001 presented important qualities with respect to the variables plant height (83.75 cm), lodging (2.41), tipping (2.75) and shatter ratio (6.62). On the other hand, AR003 and AR001 with 20.32 to 21.59 cm and 23.60 and 28.19 cm, respectively, were superior in the variables panicle length and leaf length. Hybrids AR004 stood out in the variable grains per panicle with 159.60. Regarding ligule length, tillers per plant, tillers per m² and population per m² with 9.75 cm, 15.77, 1881.27 and 127.72 respectively. Regarding the variables of seed characteristics, there were differentiated results in the length of seed AR003 (10.03 mm), width of seed AR005 (3.30 mm) and thickness of seed AR002 (1.79 mm). Meanwhile, in the yield variables AR003 was superior in panicles per m² with 1725.4, full spikelets per panicle with 11.29, weight of 1000 grains with 26.85 g and panicle weight with 3.72 g. In the Principal Component Analysis it was identified that the variables with the highest contribution were panicles per m², seed index, seed thickness, grains per panicle,

tillers per plant, 1000 grains weight and spikelets per panicle, while the genotypes AR003, Fedearroz67 and AR005 had the highest contribution. In the selection index, the hybrids AR003 and AR001 were superior in three variables: grain thickness, 1000-grain weight and panicle weight, showing better stability in the locations and yields in the study. Finally, the AMMI model identified the genotype AR001 closer to the central axis and it is considered the most stable with respect to yield.

Key words: hybrid, stability, environment, breeding.

3.1 Introducción

El cultivo de arroz es un grano alimenticio básico e importante para cerca de la mitad de la población mundial; por lo tanto, es un componente importante para la política establecida, economía y en el ámbito social de la humanidad y en cierta medida para la supervivencia (Cadena *et al.*, 2021). Las condiciones socioeconómicas que rodean la producción de arroz han estado en constante cambios, no sólo en el mundo sino a nivel regional y local; por lo tanto, en el año 1966, se producían 257 millones de toneladas de arroz en el mundo; en tanto que, en el 2022 la producción creció a 680 millones de toneladas (Seminario *et al.*, 2021). En América Latina y la región del Caribe, la producción de arroz se triplicó entre los periodos comprendidos entre 1975 y 2005, aumento que se dio debido a la selección de variedades mejoradas por los productores y el manejo agronómico más adecuado. En el año 2008 (últimos registros del Instituto Internacional de Investigación sobre el Arroz, IRRI), se obtienen más de 25 millones de toneladas de arroz 'paddy' (arroz de cáscara).

Los estudios multidisciplinarios en arroz favorecen al sector arrocero de la región, que sea más ecoeficiente, productivo y competitivo, para que contribuya a la seguridad alimentaria y mundial (Andrade *et al.*, 2022). En Colombia hay dos sistemas de producción marcados: mecanizado y tradicional (manual), por lo tanto, el arroz mecanizado presenta dos categorías, arroz con riego y arroz seco (Seminario *et al.*, 2021). El arroz donde se utiliza riego es aquel cultivo que se le debe suministrar bombeo de aguas provenientes de distritos de riego, en tanto que, el arroz seco, es aquel que necesita de aguas provenientes de lluvias que se recuperan utilizando canales de drenajes; por lo anterior, el arroz mecanizado representa casi el 94% de la zona de cultivo y más del 70% de la producción corresponde al arroz de riego (Parra-Peña *et al.*, 2022).

El arroz es un cultivo importante para las regiones del Cauca y Valle del Cauca, debido a su impacto socioeconómico y alimentario, ya que en estas zonas el arroz no sólo constituye una base fundamental en la dieta diaria de la población, sino que también contribuye a mejorar los ingresos económicos para miles de agricultores y sus familias (Andrade *et al.*, 2022). La producción ha permitido el desarrollo de economías locales, generando empleos y fortaleciendo el crecimiento de la agroindustria, con el procesamiento y comercialización del grano; además, las condiciones climáticas predominantes de estas zonas son ideales para su siembra contribuyendo en altos rendimientos y calidad de grano (Cadena *et al.*, 2021).

El cultivo de arroz es un alimento básico en la alimentación y de alto consumo, el cual es sembrado en diferentes zonas agroecológicas y con tecnologías variables, la oferta ambiental juega un papel fundamental en el desarrollo de los cultivares; por lo tanto, los genotipos deben presentar adaptabilidad al medio donde se siembra para que la planta responda positivamente a los cambios ambientales; este resultado es la interacción genotipo x ambiente y que es controlada por genes mayores y menores, razón por la cual, permite aprovechar mejor las condiciones climáticas de la zona; sin embargo, el ambiente es muy errático y se relaciona con variables meteorológicas como temperatura, precipitación, calidad del suelo y el manejo agronómico al cultivo.

Los estudios de adaptabilidad y estabilidad fenotípica permiten caracterizar un grupo de genotipos con respuesta a su comportamiento con el ambiente, donde la adaptabilidad se define por la manera en que los genotipos muestran su desarrollo previsible frente a las condiciones climáticas de la zona; por lo tanto, desde el punto de vista estadístico de acuerdo a Peña *et al.* (2022) se presentan tres conceptos: 1) genotipo estable donde la interacción con el ambiente es menor, 2) genotipo estable, donde la respuesta al ambiente es paralela entorno a todos los

genotipos que se someten al estudio y 3) genotipo estable si los desvíos de la regresión son pequeñas.

La presente investigación consistió en evaluar seis híbridos y una variedad testigo de arroz, con el fin de evaluar el desempeño agronómico de algunos materiales del programa de mejoramiento de Semillas Valle y caracterizar dichos materiales en condiciones del valle geográfico del río Cauca

3.2 Materiales y Métodos

3.2.1 Localización

El estudio se llevó a cabo en cuatro localidades de la subregión natural del Valle Geográfico del río Cauca. La primera localidad se ubica en Buenos Aires (Cauca), localizada a 3°00'59" latitud N y 76°38'28" longitud O, a una altitud de 1400 ms.n.m, en tanto que, valores medios de temperatura y precipitación son 22°C y 2.271 mm anuales. La segunda localidad se ubica en Timba corregimiento de Buenos Aires (Cauca), localizada a 3°06'53" latitud N y 76°37'35" longitud O, a una altitud de 1200 msnm, valores promedios de temperatura y precipitación de 24°C y 2.024 mm anuales. La tercera localidad ubicada en el municipio de Guachené (Cauca), localizada a 3°08'10" latitud N y 76°23'19" longitud O, a una altitud de 996.28 ms.n.m., los valores medios de temperatura y precipitación son 26°C y 2300 mm anuales. La cuarta localidad se ubica en el municipio de Jamundí (Valle del Cauca), localizada a 3°15'41" latitud N y 76°32'15" longitud O, a una altitud de 975 m.s.n.m. y valores medios de temperatura y precipitación de 23°C y 1200 mm anuales.

3.2.2 Material vegetal

Se evaluaron seis híbridos experimentales de arroz identificados como: AR001, AR002, AR003, AR004, AR005 y AR006 pertenecientes al Programa de Mejoramiento Genético de Semillas Valle S.A., así como también la variedad Fedearroz 67 como testigo comercial.

3.2.3 Evaluación del comportamiento agronómico

Ciclo fenológico

El ciclo fenológico en el cultivo de arroz se evaluó mediante la observación y registro de las diferentes etapas de desarrollo que se presentan en la planta desde la germinación hasta la cosecha. Para ello se realizó el registro cuando las plantas alcanzaron el 50% de dichas características a partir del primer día que se sembraron. Las etapas consideradas fueron las siguientes:

- Siembra a emergencia (días).
- Emergencia a floración (días).
- Emergencia a madurez fisiológica (días).
- Emergencia a cosecha (días).

Evaluación de caracteres morfológicas

- Altura de la planta (cm): se midió desde la base de la planta hasta la punta de la panícula más alta, se utilizó una cinta métrica donde se tomó una muestra representativa por unidad experimental.

- Volcamiento (%): la medición de esta variable es importante debido a que permitió evaluar la resistencia de los genotipos y su impacto con el rendimiento, el porcentaje de volcamiento se calculó utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ volcamiento} = \left(\frac{\text{número de plantas volcadas}}{\text{número total de plantas}} \right) \times 100$$

- Vaneamiento (%): para el cálculo de esta variable se recolectaron las espigas y se hizo un conteo de los granos. Para obtener el porcentaje de vaneamiento se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ vaneamiento} = \left(\frac{\text{número de granos vaneados}}{\text{número total de granos}} \right) \times 100$$

- Reacción a desgrane (%): esta variable permitió calcular la tendencia de los granos al desprenderse de la panícula antes de ser cosechadas y es importante debido a que podría afectar el rendimiento final. Para el cálculo se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ desgrane} = \left(\frac{\text{número de granos desprendidos}}{\text{número total de granos en la espiga}} \right) \times 100$$

- Relación grano/paja: es un indicador que nos permitió medir la eficiencia del cultivo en la producción de grano, una relación alta nos permitió determinar una mayor proporción de la biomasa de las plantas que se está convirtiendo en grano, se recolectaron y secaron las muestras por unidad experimental y se calculó utilizando la siguiente fórmula.

$$\text{Relación grano/paja} = \frac{\text{peso grano}}{\text{peso de la paja}}$$

- Longitud de las panículas (cm): se midieron desde la base del inicio de la panícula hasta la parte superior de esta.
- Excursión de panícula (cm): se midió cuando la panícula emergió del tallo principal, debido a que una buena excursión es importante para determinar una adecuada exposición de la panícula, lo que facilitó la polinización y podría reducir la incidencia de enfermedades.
- Longitud de la hoja bandera (cm): se midió la longitud de la hoja desde la base hasta la punta utilizando una regla métrica.
- Granos llenos por panícula: se realizó el conteo en cinco panículas de los granos llenos y se procedió a sacar promedio.
- Ancho de la hoja bandera (cm): se midió la anchura desde el punto más ancho de la hoja utilizando una regla métrica.
- Longitud de lígula (mm): se utilizó una regla métrica, se midió desde el punto más bajo de la base de la lígula hasta el punto más alto de su extremo.
- Macollas por planta: se contaron el número de tallos secundarios que emergieron de la base de la planta, el conteo se realizó en plantas seleccionadas al azar para obtener un promedio.

- Macollas por m²: se delimitó un área de un metro cuadrado m² en cada parcela experimental utilizando un marco de 1 m x 1 m con estacas y cuerdas, y se registró el número de macollas contadas en cada área de muestreo.
- Población (m²): se delimitó un área de un metro cuadrado m² en cada parcela experimental utilizando un marco de 1 m x 1 m con estacas y cuerdas, y se realizó el conteo de plantas dentro del m² tres veces en cada parcela experimental y se registró el promedio de los tres datos.

Las variables correspondientes a las características de la semilla se midieron con la ayuda de un calibrador pie de rey y se menciona a continuación:

- Longitud de la semilla (mm).
- Ancho de la semilla (mm).
- Espesor de la semilla (mm).
- Índice de semilla (número de semillas /Kg)

Evaluación de componentes del rendimiento

- Rendimiento Experimental (Kg. Ha-1): Para obtener esta variable, se cosecharon las plantas de arroz dentro del área delimitada, se recolectaron todos los granos para obtener una medida más precisa del rendimiento.

- Número de panículas/m²: se midieron las panículas por m², esta variable permitió medir la densidad de inflorescencias y el potencial productivo del grano.
- Número de espiguillas llenas por panícula: para la medición de las espiguillas se contaron el número total en cada panícula, tanto las llenas como las vacías.
- Peso de 1000 granos (gramos): se limpiaron los granos por unidad experimental de cualquier material extraño, paja, polvo y granos dañados, luego se hizo el conteo de los granos para asegurar la precisión.

3.2.4 Análisis de datos

Se realizó análisis de varianza combinado en las variables de la calidad molinera y apariencia del grano. Posteriormente, se realizó la prueba de promedios Duncan ($p < 0,05$) para identificar diferencias entre genotipos, mediante un bloque completamente al azar.

Se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) (Kaiser y Meyer, 1974) con la variables fenológicas, morfológicas y agronómicas descritas anteriormente, utilizando el paquete estadístico *R-Studio* versión 4.3 2023.

Posteriormente, se realizó la estimación del índice de selección (IS) utilizando las variables rendimiento kg/ha, peso de mil semillas y diámetro de grano.

$$IS = \text{Rendimiento kg/ha (0.50)} - \text{peso de mil semillas (0.20)} - \text{diámetro de grano (0.30)}.$$

Donde: IS, índice de selección; rendimiento, expresado en kg/ha; peso de mil semillas en gramos y diámetro de grano en milímetros y se buscan los genotipos que presenten los máximos valores para estas características de importancia económica y selección de genotipos promisorios.

Finalmente, se realizó el método AMMI (Método de los Efectos Aditivos Principales e Interacciones Multiplicativas) combina el análisis de varianza para los componentes principales del genotipo y ambientes con el análisis de componentes principales de la interacción genotipo-ambiente. Permite estimar la estabilidad de los genotipos y evaluar las localidades. Se usa en ensayos multilocales donde participan numerosos y diversos ambientes, dado que su efectividad aumenta con el número de datos (Vallejo *et al.*, 2010).

Para el procesamiento de la información se utilizó el paquete estadístico *R-Studio* versión 4.3 2023. El modelo AMMI está representado por la ecuación (Vallejo & Estrada, 2013):

$$Y_{ger} = \alpha_g + \beta_e + \sum_n \lambda B\gamma_{gn} \delta_{en} + p_{ge} + \varepsilon_{ger}$$

Donde:

Y_{ger} = rendimiento del $i^{\text{ésimo}}$ genotipo “g” en el $j^{\text{ésimo}}$ ambiente “a” y para la repetición r.

Los parámetros aditivos son:

μ = gran media.

α_g = desviación del genotipo g de la gran media.

β_e = desviación del ambiente a.

Los parámetros multiplicativos son:

$B\lambda_n$ = valor singular para el eje n del componente principal de interacción (CPI).

$B\gamma_{gn}$ = eigenvector del genotipo g para el eje n.

δ_{en} = eigenvector del ambiente e para el eje n.

p_{ge} = Sumatoria de los ejes que no están explicado por los vectores (residuo de IGA).

ε_{ger} = desviación del genotipo g en ambiente e la repetición r.

3.3 Resultados y Discusión

3.3.1 Variables relacionadas con el ciclo fenológico

El análisis de varianza correspondiente a las variables días de siembra a emergencia, días emergencia a floración, días de emergencia a madurez fisiológica y días de emergencia a cosecha se presentan en la Tabla 3.1. Como se puede observar las variables de inicio de emergencia, floración, madurez fisiológica y días a cosecha presentaron diferencias altamente significativas entre localidades, genotipos, e interacción localidad por genotipo. Sin embargo, los días a emergencia y días a floración y días a madurez fisiológica, no presentaron significancia para los bloques, pero sí para los días a cosecha.

Tabla 3.1. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para las variables relacionadas con ciclo fenológico en genotipos de arroz, evaluados en las zonas de Cauca y Valle del Cauca.

Fuente de variación	gl	Días a emergencia	Días a floración	Días a madurez fisiológica	Días a cosecha
Localidad	3	0.30 *	1266.60 ***	1276.13 ***	2085.58 ***
Bloques	3	0.07 ns	3.51 ns	0.39 ns	6.37 ***
Genotipos	6	0.05 ns	266.05 ***	294.85 ***	187.98 ***
Localidad x Genotipo	17	0.05 ns	29.95 ***	49.64 ***	56.34 ***
Residual	82	0.10	1.63	2.17	0.53

gl: Grados de Libertad; '****' p<0.001; '***' p<0.01; '*' p<0.05; 0.1;1: ns: No Significativo.

Se pudo evidenciar que para las variables de emergencia los híbridos y el testigo fueron similares estadísticamente porque se obtuvieron valores homogéneos que se llevaron a los tres días (Tabla 3.2). En tanto que, para la variable floración, se presentó un promedio de 90.4, donde los mínimos valores lo presentaron AR001 y AR006 con 85.4 y 87.4 días respectivamente, el valor máximo lo obtuvo AR003 con 97.6 días lo que indicaría que es el material más tardío para floración. Por otra parte, para la variable madurez fisiológica se presentó un promedio de 115.01

días, los mínimos valores lo presentaron AR005 y AR001 con 110.81 y 114.88 días, respectivamente, el valor máximo lo obtuvo AR002 con 119.31 siendo el híbrido más tardío. Finalmente, en la variable cosecha, se obtuvo un promedio de 122.84 días, el valor máximo correspondió a AR003 con 129.63 días, el valor mínimo lo presentó AR001 con 119.81 días, siendo el material con el ciclo fenológica más precoz (Tabla 3.2).

Estos resultados coinciden con lo reportado por Velázquez *et al.* (2015), quienes encontraron días a cosecha promedio de 125 días en estudios de determinación de etapas de inicio de macollamiento y madurez de la planta y resalta la importancia de realizar un buen manejo agronómico para que las plantas puedan expresar todo su potencial genético, además, de conocer la relación que existe entre los genotipos y el entorno, permite planificar controles fitosanitarios, control de la floración, planificación de siembra; por lo tanto, el híbrido AR001 presenta buenas características de precocidad y podría ser importante para la obtención de cosechas más rápidas durante el transcurso del año. Según Salazar *et al.* (2019), indica que estos valores permitirán conocer los tiempos de cada etapa fenológica para asegurar el manejo como el riego y fertilización en las etapas de floración y llenado de granos; además de predecir el momento de la cosecha, permitiendo planificar la toma de datos y el uso de maquinarias. De acuerdo con Rodríguez *et al.* (2019), al seleccionar genotipos precoces se podría planificar un mayor número de siembras al año, además, de materiales que respondan a las variaciones de temperatura en las diferentes etapas fenológicas y que se puedan hacer prácticas culturales para mitigar el estrés térmico.

Tabla 3.2. Comparación de medias combinado para variables relacionadas con ciclo fenológico en genotipos de arroz, evaluados en las zonas del Cauca y Valle del Cauca.

Genotipo	Días a emergencia	Días a floración	Días a madurez fisiológica	Días a cosecha
AR001	3 a	85.4 e	114.88 d	119.71 e
AR002	3 a	92.4 b	119.31 b	121.75 d
AR003	3 a	97.6 a	117.56 a	129.63 a
AR004	3 a	88.1 cd	117.44 c	121.06 d
AR005	3 a	92.4 b	110.81 b	124.50 b
AR006	3 a	87.4 d	115.44 d	120.00 e
Fedearroz 67	3 a	89.3 c	117.69 c	119.81 c
Media	3	90.4	115.01	122.84
CV (%)	1.48e-13	1.4	1.14	0.5

CV (%): Coeficiente de variación

3.3.2 Variables relacionadas con característica de la planta

Para la variable altura de la planta se evidenciaron diferencias altamente significativas entre localidad, genotipo y la interacción entre estos dos, sin embargo, no se presentaron diferencias estadísticas entre bloques (Tabla 3.3). En el vaneamiento, se evidenciaron diferencias estadísticas para genotipos y localidad por genotipo. En tanto que, para el volcamiento fueron los bloques y los genotipos donde se evidenciaron diferencias estadísticas. Mientras que, para relación al desgrane se obtuvieron diferencias significativas para bloques y localidad por genotipo, en la variable relación grano/panoja se evidenciaron diferencias significativas para genotipos y localidad por genotipos. Por otra parte, para longitud de la panículas y longitud de la hoja se evidenciaron diferencias significativas para localidad, bloque, genotipos y genotipos por localidad. Finalmente, para la excursión de panícula no se presentaron diferencias estadísticas para bloques (Tabla 3.3).

Tabla 3.3. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para las variables cuantitativas relacionadas con características de la planta en genotipos de arroz evaluados en las zonas del Cauca y Valle del Cauca.

Fuente de variación	gl	AP	VA	VO	RLD	RPG	LP	EXP	LH
Localidad	3	1014.15 ***	0.55 ns	0.13 ns	5.48 **	0.05 ns	45.023 ***	2.72 ***	287.74 ***
Bloques	3	12.06 ns	2.77 ns	4.61 *	3.10 ns	0.03 ns	9.029 *	0.10 ns	37.35 **
Genotipos	6	570.39 ***	11.73 ***	10.48 ***	42.50 ***	0.34 **	34.229 ***	1.67 ***	219.02 ***
Localidad x Genotipo	18	159.22 ***	3.05 **	2.05 ns	1.42 ns	0.31 ***	15.231 ***	0.94 ***	33.25 ***
Residual	305	24.11	1.62	1.35	1.47	0.06	3.044	0.23	9.67

gl: Grados de Libertad; '****' p<0.001; '***' p<0.01; '**' p<0.05; '0.1'; '1': ns: No Significativo. AP: Altura de la planta; VA: Vaneamiento; VO: Volcamiento; RLD: Relación al desgrane; RPG: Relación grano/panoja; LP: Longitud de las panículas; EXP: Excursión de panícula; LH: Longitud de la hoja.

En la variable altura se obtuvo un promedio de 81.94 cm, el valor máximo corresponde AR003 con 86.95 cm, el mínimo valor lo presentó AR005, AR004 y AR006 con 77.31, 78.72 y 79.71 cm, respectivamente, se pudo observar que tanto los híbridos como la variedad testigo evaluada son similares respecto a su altura (Tabla 3.4), estos valores son similares a lo reportado por Gil Borja *et al.* (2017), quienes encontraron alturas entre 75 a 90 cm, además, indican la importancia de la altura debido a que plantas de menor tamaño podrían ser afectadas por la competencia de luz solar, debido a que individuos con un porte alto, pueden generar sombra e pueden influir sobre los genotipos de menor altura en su crecimiento, desarrollo y rendimiento, asimismo, sugieren que las plantas con porte alto son más susceptibles al acame, especialmente en zonas con condiciones de viento fuerte y lluvia intensa, lo que puede influir en la calidad y cantidad de la cosecha.

En la variable vaneamiento se presentó un promedio de 2.07%, los valores máximos lo presentaron tres híbridos AR001, AR005 y AR004 con 2.41 y 2.62%, respectivamente, en tanto que, AR003 obtuvo el mínimo valor con 1.25 % (Tabla 3.4), estos resultados son similares a lo reportado por Cordero y Manzaneda (2021) quienes reportaron valores para vaneamiento de

2.01 a 2.97% y afirmaron que al encontrar espigas vanas que no producen granos, se disminuye los niveles de rendimiento al final de la cosecha, siendo esta variable un indicador de la salud de la planta, donde un alto porcentaje de vaneamiento es consecuencia de un problema de salud de las plantas, como enfermedades, estrés hídrico, deficiencia de nutrientes e intolerancia a climas adversos. En la variable volcamiento se presentó un promedio de 2.66%, los valores máximos lo mostraron dos híbridos y el testigo comercial correspondiente a AR005, AR006 y Fedearroz 67 con 3.62 y 3.25%, respectivamente (Tabla 3.4). Estos resultados son similares a lo reportado por Munive y Ortiz (2022) con valores para volcamiento entre 2.2 a 3.7%, y sugieren que altos porcentajes en el volcamiento bajan significadamente el rendimiento del cultivo, debido a que las plantas que se caen al suelo pierden los granos por el daño mecánico de la planta, además, de su calidad al contaminarse con hongos o patógenos, lo que los vuelve más susceptibles a la podredumbre. Por otra parte, también indican que el volcamiento dificulta la mecanización en la cosecha, donde la maquinaria funciona de una mejor manera en plantas erectas, lo que podría aumentar el costo de la cosecha y comprometer la calidad del grano.

Para la variable porcentaje relación al desgrane se obtuvo un promedio de 5.75%, los máximos valores se presentaron en el testigo Fedearroz y AR005 con 7.50%, respectivamente, el mínimo valor los obtuvo AR003 con 3.25%, los valores concuerdan con lo citado por Sánchez *et al.* (2018), donde se registran valores de 6.02 a 7.92%, respectivamente (Tabla 3.4), e indican que la susceptibilidad al desgrane pueden presentar pérdidas en los granos antes de empezar la cosecha al caerse al suelo, contaminarse y dañar la calidad, lo que reduce de forma directa el rendimiento, además, que un porcentaje alto al desgrane puede dificultar la cosecha mecanizada, debido a que los granos pueden desprenderse fácilmente al momento de manipularlos y transportarlos, aumentando las pérdidas post-cosecha, asimismo, indican que la resistencia al desgrane es un carácter importante para los programas de mejoramiento genético, donde los

genotipos con menor tendencia al desgrane son seleccionados para asegurar los rendimientos y minimizar pérdidas.

Para relación grano/panoja se encontró un promedio de 1.10, el máximo valor lo presentó AR004 con 1.38, mientras que los demás materiales no se evidenciaron diferencias estadísticas (Tabla 3.4), estos resultados son inferiores a lo reportado por Cordero y Manzaneda (2021) con valores entre 1.42 y 1.53. Dichos autores señalan que esta variable es importante, debido que al mostrar una relación alta es de preferencia por los productores, debido a que se presentan mayores rendimientos y eficiencia en la cosecha, asimismo, es un indicador de calidad en el grano, debido a que las espiguillas llenas con un buen desarrollo producen granos de mejor calidad y que es muy demandado por el mercado y consumo. Igualmente, esta variable mide la cantidad de granos llenos respecto a las espiguillas que se ubican en la panoja, una alta relación señala buena eficiencia reproductiva y mayor capacidad para las plantas en convertir flores en granos viables.

En la variable longitud de las panículas se presentó un promedio de 20 cm, el valor máximo lo presentó AR003 con 21.59 cm, mientras el valor mínimo lo obtuvo AR006 con 19.06 cm, los resultados coinciden con lo reportado por Granados (2021), con valores entre 18.72 y 20.12 cm, respetivamente (Tabla 3.4), asimismo, indican que esta variable está relacionada directamente con la capacidad de la planta para desarrollar la espiguillas y por consiguiente un mayor número de granos, además, que panículas largas es un indicador de reproductividad de la planta, debido a que puede dar un mayor soporte al número de espiguillas, lo que resulta en una mayor cantidad de flores que se forman los granos.

Para la variable excursión de panícula se mostró un promedio de 1.46 cm, el máximo valor lo presentó AR006 con 1.71 cm, para el mínimo valor se evidencio en AR005 con 1.19 cm.

Finalmente, para la variable longitud de la hoja bandera se presentó un promedio de 23.77 cm, el valor máximo lo evidenció AR003 con 28.18 cm, mientras que, para el mínimo valor se presentó en AR005 con 21.65 cm (Tabla 3.4), los resultados coinciden con lo reportado por Sánchez et al. (2023), donde registran valores entre 20.02 y 29.35 e indican que la hoja bandera es la hoja más alta y generalmente la última en emerger antes de la floración, una hoja bandera más larga tiene mayor capacidad de captar luz solar, incrementando la capacidad fotosintética y por lo tanto la producción de carbohidratos que son fundamentales para el crecimiento y llenado de los granos (Tabla 3.4).

Tabla 3.4. Comparación de medias para las variables relacionadas con características de la planta en genotipos de arroz evaluados en las zonas del Cauca y Valle del Cauca.

Genotipo	AP	Va	Vo	RLD	RPG	LP	EXP	LH
AR001	83.75 b	2.41 a	2.75 ab	6.62 ab	0.90 b	20.32 b	1.40 bcd	23.60 b
AR002	84.20 ab	1.58 bc	1.87 bc	4.12 cd	1.12 ab	19.96 bcd	1.44 abcd	24.55 b
AR003	86.95 a	1.25 c	1.37 c	3.25 d	1.11 ab	21.59 a	1.53 abc	28.18 a
AR004	78.72 c	2.62 a	2.50 abc	5.37 bc	1.38 a	20.19 bc	1.29 cd	22.86 bc
AR005	77.31 c	2.41 a	3.62 a	7.50 a	1.00 b	19.70 bcd	1.19 d	21.65 c
AR006	79.71 c	2.16 ab	3.25 a	5.87 b	1.08 b	19.06d	1.71 a	22.88 bc
Fedearroz 67	82.95 b	2.08 ab	3.25 a	7.50 a	1.13 ab	19.20 cd	1.66 ab	22.69 bc
Media	81.94	2.07	2.66	5.75	1.10	20	1.46	23.77
C.V (%)	5.99	61.30	43.63	21.05	23.78	8.71	32.78	13.08

CV (%): Coeficiente de variación; AP: Altura de la planta; Va: Vaneamiento; Vo: Volcamiento; RLD: Relación al desgrane; RPG: Relación grano/panoja; LP: Longitud de las panículas; EXP: Excursión de panícula; LH: Longitud de la hoja.

En la Tabla 3.5 se puede observar que las fuentes de variación localidad, genotipo y la interacción entre estas presentan diferencias altamente significativas en las variables ancho de hoja bandera, granos por panícula, longitud de lígula, macollas por planta, macollas por m² y población en m², lo cual nos indica que estas variables están altamente influenciadas por el

ambiente. Sin embargo, para la fuente de variación bloques vemos que solo se presentó diferencia significativa en ancho de hoja bandera y población por metro cuadrado, para las demás variables no hubo diferencia significativa.

Tabla 3.5. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para las variables cuantitativas relacionadas con características de la planta en genotipos de arroz evaluados en las zonas de Cauca y Valle del Cauca.

Fuente de variación	gl	AB (cm)	GP	LDL (cm)	MP	MPM (m ²)	PM (m ²)
Localidad	3	1.39 ***	95058.60 ***	21.47 ***	677.62 ***	41411608.3 ***	408504.59 ***
Bloques	3	0.16 ***	1121.12 ns	0.17 ns	10.55 ns	799568.17 ns	5555.46 **
Genotipos	6	0.44 ***	14193.90 ***	110.44 ***	98.08 ***	5258356.79 ***	68756.74 ***
Localidad x Genotipo	17	0.10 ***	3110.37 **	6.94 ***	18.51 *	1667929.52 ***	12217.11 ***
Residual	82	0.03	1529.31	1.80	10.90	363495.97	1249.44

gl: Grados de libertad; '****' p<0.001; '***' p<0.01; '*' p<0.05; 0.1;1: ns: No Significativo. AB: Ancho de hoja bandera; GP: Granos por panícula; LDL: Longitud de lígula; MP: Macollas por planta; MPM: Macollas por m²; PM: Población por m².

En la variable ancho de la hoja bandera se presentó un promedio de 1.31 cm, cuyo valor máximo fue se evidencio en AR004 con 1.49 cm, mientras que los valores mínimos lo obtuvieron AR006 y Fedearroz 67 con 1.20 y 1.23 cm, respectivamente (Tabla 3.6). Los resultados coinciden con lo reportado por Fernández (2017) quien encontró valores entre 1.52 y 1.32 cm, además, menciona que esta variable determina la superficie foliar disponible para la fotosíntesis, donde una hoja bandera más ancha podría realizar una mejor captura de luz solar que es crucial para la producción de carbohidratos y llenado de los granos, asimismo, los genotipos con hojas más anchas son tenidas en cuenta porque esta se relaciona con un mayor potencial productivo. Para la variable granos por panícula se evidenció un promedio de 142.2, se pudo observar que el mínimo valor lo presentó Fedearroz 67 con 106.81, los híbridos son similares estadísticamente (Tabla 3.6). Los resultados coinciden con lo reportado por Gil (2017) indicando valores entre 102 y 109, y señalan la importancia de esta variable porque está relacionada directamente con el

rendimiento y un mayor número de granos lo que indicaría también una mayor eficiencia reproductiva y beneficia a la obtención de mayor producción por unidad de área.

La variable longitud de lígula alcanzó un promedio de 8.01 mm, con un valor máximo de 10.08 mm, correspondiente al híbrido AR005, en tanto que, el valor mínimo lo obtuvo AR001 con 6.25 mm (Tabla 3.6). Los resultados coinciden con lo reportado por Parra *et al.* (2023) con valores de 9 a 11.52 mm, además, esta variable es fundamental para identificar y clasificar genotipos, siendo esencial para los programas de mejoramiento genético, asimismo, está relacionado con la adaptabilidad de la planta a diferentes zonas agroecológicas, como humedad, donde lígulas más largas permiten bajar el riesgo de enfermedades fúngicas al tener una mejor ventilación.

En la variable macollas por planta, se evidenció un promedio de 13.34, cuyo valor máximo correspondió al híbrido AR003 con 15.77, mientras que, el valor mínimo lo presentó Fedearroz 67 con 10.91 (Tabla 3.6). Los resultados coinciden con lo reportado por Gil (2017) con valores entre 11.52 a 11.92, además, señalan que esta variable tiene un impacto directo con el rendimiento del cultivo, donde un mayor número de macollas podría suponer un incremento en el número de granos, de igual manera, esta variable permite ajustar la densidad de siembra y asegura uso adecuado del espacio y recursos como nutrientes y agua.

Para la variable macollas por metro cuadrado se obtuvo un promedio de 1461.65, los valores máximos lo presentaron Fedearroz 67 y AR003 con 1839.39 y 1881.27, respectivamente, mientras que, los valores mínimos lo mostraron los híbridos AR005 y AR001 con 1001.12 y 1242.95, respectivamente (Tabla 3.6). Los valores coinciden con lo reportado por León *et al.* (2017) con valores entre 1245 a 1932 m². De igual manera, son similares a lo reportado por Cordero y Manzaneda (2021) con un promedio de 128.32 plantas en un metro cuadrado, además, indican una buena densidad de siembra para que las plantas puedan desarrollarse de manera

correcta lo que podría asegurar que cada planta puede tener un mejor desarrollo y presentar una mejor eficiencia de recursos como agua, nutrientes y luz solar (Tabla 3.6).

Tabla 3.6. Comparación de medias para las variables relacionadas con características de la planta en genotipo de arroz evaluados en las zonas del Cauca y Valle del Cauca.

Genotipo	AB (cm)	GP	LDL (cm)	MP	MPM (m²)	PM (m²)
AR001	1.29 bc	153.35 a	6.25 c	13.25 b	1242.95 c	101.5 cd
AR002	1.27 bc	143.68 a	8.33 b	13.95 ab	1643.04 ab	127.18 b
AR003	1.36 b	151.35 a	9.75 a	15.77 a	1881.27 a	127.72 b
AR004	1.49 a	159.60 a	6.70 c	13.12 b	1291.27 bc	106.83 bc
AR005	1.3 bc	139.29 a	10.08 a	13.14 b	1001.12 c	85.16 d
AR006	1.20 c	141.75 a	6.77 c	13.27 b	1332.50 bc	112.66 bc
Fedearroz 67	1.23 c	106.81 b	8.22 b	10.91 c	1839.39 a	202.33 a
Media	1.31	142.2	8.01	13.34	1461.65	123.34
C.V (%)	14.94	27.48	16.73	24.73	41.24	28.65

CV (%): Coeficiente de variación; AB: Ancho de hoja bandera; GP: Granos por panícula; LDL: Longitud de lígula; MP: Macollas por planta; MPM: Macollas por m²; PM: Población por m².

3.3.3 Variables relacionadas con características de la semilla

En la tabla 3.7 para el análisis de varianza se puede observar que para la variable longitud de semilla existe diferencia altamente significativa entre localidad, genotipo y la interacción entre estas, sin embargo, para bloques no existe diferencia significativa. Para la variable ancho de semilla podemos observar que no existe diferencia significativa en las fuentes de variación de bloques, genotipos e interacción entre localidad y genotipo, para espesor de semilla observamos que no existe diferencia significativa entre localidad, bloques, genotipo y localidad por genotipo, en cuanto a índice de semilla observamos que existe diferencia significativa para localidad, genotipo e interacción entre estas dos, sin embargo, no existe para bloques.

Tabla 3.7. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para las variables relacionadas con características de la semilla en genotipos de arroz evaluados en las zonas de Cauca y Valle del Cauca.

Fuente de variación	gl	Longitud de la semilla (mm)	Ancho de la semilla (mm)	Espesor de la semilla (mm)	Índice de la semilla
Localidad	3	11.47 ***	56.55 ***	2.47 ***	48720415.2 ***
Bloques	3	1.12 ns	7.15 ns	0.14 **	4568306.47 ns
Genotipos	6	1.68 **	3.71 ns	0.23 ***	72353143.3 ***
Localidad x Genotipo	18	1.248 ***	3.71 ns	0.11 ***	25555248.1 ***
Residual	305	0.49	4.08	0.04	5439867.53

gl: Grados de libertad; '***' p<0.001; '**' p<0.01; '*' p<0.05; 0.1;1: ns: No Significativo.

En la variable longitud de la semilla se presentó un promedio de 7.19 mm, el máximo valor lo presentó dos híbridos AR003 y AR005 con 10.03 y 10.01 mm, respectivamente (Tabla 3.8), el mínimo valor lo obtuvo Fedearroz 67 con 9.55 mm, estos resultados coinciden con lo reportado por Cadena *et al.* (2021) con valores de 9.21 y 11.2 mm, además, indican que longitudes grandes es un indicador de eficiencia en la germinación y buen desarrollo en las plántulas, asimismo, pueden mejorar la uniformidad del cultivo, otro factor a tener en cuenta, es que puede influir en la calidad del grano. Para la variable ancho de la semilla, se evidencio un promedio de 2.70 mm y no evidenciaron diferencias estadísticas entre genotipos (Tabla 3.8).

Para la variable espesor de la semilla se presentó un promedio de 1.69 mm, el máximo valor lo obtuvo AR002 con 1.79 mm, mientras que el mínimo valor correspondió AR004 con 1.60 mm (Tabla 3.8), los resultados concuerdan con lo reportado por Martínez *et al.* (2022) con valores entre 1.52 a 1.72 mm, asimismo, señalan que al encontrar granos con altos espesores son un indicador de buena apariencia y textura, donde pueden presentar mayor contenido de nutrientes

y mejor valor nutricional. Finalmente, en la variable Índice de la semilla, se presentó un promedio de 39208.13, el máximo valor corresponde a Fedearroz 67 con 41404.21, el mínimo valor lo mostró AR003 con 37498.75 (Tabla 3.8), los valores coinciden con lo reportado por Bonilla y Singaña (2019) con valores entre 36512.22 a 42340.72, e indican la importancia de esta variable porque mide la viabilidad y vigor de las semillas, que puede afectar directamente la tasa de germinación y el crecimiento de las plántulas, donde un índice alto, refleja la adaptación de las semillas a las condiciones agroecológicas donde se siembran para producir plantas robustas y de alta calidad lo que mejora el valor comercial de los genotipos (Tabla 3.8).

Tabla 3. 8. Comparación de medias para las variables relacionadas con características de la semilla en genotipo de arroz evaluados en las zonas de Cauca y Valle del Cauca.

Genotipo	Longitud de la semilla (mm)	Ancho de la semilla (mm)	Espesor de la semilla (mm)	Índice de la semilla
AR001	9.90 ab	2.72 a	1.72 abc	38683.68 bc
AR002	9.72 ab	2.69 a	1.79 a	39063.87 b
AR003	10.03 a	2.65 a	1.75 ab	37498.75 c
AR004	9.62 ab	2.56 a	1.60 c	39663.16 b
AR005	10.01 a	3.30 a	1.72 abc	38455.49 bc
AR006	9.84 ab	2.46 a	1.63 bc	39687.75 b
Fedearroz 67	9.55 b	2.53 a	1.65 bc	41404.21 a
Media	9.81	2.70	1.69	39208.13
C.V (%)	7.19	74.70	12.04	5.94
MSD	0.42	1.22	0.12	1413.09

C.V (%): Coeficiente de variación.

3.3.4 Variables relacionadas con rendimiento

En la tabla 3.9 se puede observar las características Panículas por metro cuadrado, número de espiguillas llenas por panícula, peso de 1000 semillas y rendimiento experimental

(Kg-Ha-1), en las cuales existe diferencia significativa entre localidad, genotipo e interacción entre estas, además de bloque para la variable rendimiento experimental. Para las variables panículas por metro cuadrado, espiguillas llenas por panícula y peso de 1000 granos no existe diferencia significativa en bloques. Estas variables son cuantitativas, gobernadas por muchos genes y por ende con una alta influencia del ambiente.

En la tabla 3.9 podemos observar que no existe diferencia significativa entre localidades y localidad por genotipo para ninguna de las variables. Sin embargo, para la fuente de variación de bloques solo existe diferencia significativa para la variable peso de panícula, para las demás variables no existe diferencia significativa.

Tabla 3. 9. Cuadrados medios del análisis de varianza combinado para las variables relacionadas con los componentes de rendimiento en genotipo de arroz evaluados en las zonas de Cauca y Valle del Cauca.

Fuente de variación	gl	PM (m ²)	EP	PMG (g)	PDP (g)	GLP (g)	GVP (g)	GPE (g)
Localidad	3	33376418.3 ***	125.84 ***	22.33 ***	52.81 ***	74985.75 ***	1334.44 ***	1334.44 ***
Bloques	3	595852.368 ns	5.24 ns	2.06 ns	2.16 *	1000.45 ns	473.56 ns	473.56 ns
Genotipos	6	4488788.46 ***	22.89 ***	31.15 ***	7.47 ***	7357.17 ***	2469.92 ***	2469.92 ***
Localidad x Genotipo	18	1404940.39 ***	11.63 ***	11.17 ***	3.72 ***	3861.30 ***	558.99 **	558.99 ***
Residual	81	288174.243	3.07	2.17	0.73	1234.69	259.88	259.88

gl: Grados de libertad; '****' p<0.001; '***' p<0.01; '**' p<0.05; '0.1;1: ns: No Significativo. PM: Panículas por metro cuadrado; EP: Espiguillas llenas por panícula; PMG: Peso de 1000 granos; PDP: Peso de panícula; GLP: Granos llenos por panícula; GVP: granos vanos por panícula; GPE: granos por espiguilla.

De igual manera se pudo observar que en la prueba de comparación de medias (Tabla 3.10), para la variable panículas por metro cuadrado se presentó un promedio de 1324.5 m²,

donde el valor mínimo lo obtuvieron los híbridos AR006, AR004, AR001 y AR005 con 1207.7, 1166.9, 1121.1 y 890.8 m², respectivamente (Tabla 3.10), en tanto que, los máximos valores lo mostraron AR002, Fedearroz 67 y AR003 con 1550.6, 1609.6 y 1725.4 m², respectivamente, estos valores concuerdan con lo reportado por Calero *et al.* (2021), con valores entre 1850.23 y 1002 m², e indican que esta variable se relación con el número de espiguillas y el aumento de la cantidad de los granos lo que puede incrementar los rendimientos por unidad de área. En tanto que, para la variable peso de 1000 granos, donde se obtuvo un promedio de 25.63 g, el máximo valor lo presento AR003 con 26.85 g, mientras que el mínimo valor lo obtuvo el testigo Fedearroz 67 con 24.27 g, evidenciándose que todos los híbridos superaron la respuesta obtenida por el testigo (Tabla 3.10), los resultados son similares a los obtenidos por Bouchard *et al.*, (2020), con valores entre 28.79 y 22.35 g, e indican que granos con mayor peso pueden tener un mejor contenido de almidón, además, de una mejor textura, lo que podría incrementar el valor comercial y aceptación en el mercado, otro factor, es facilita el procesamiento del arroz y la eficiencia al descascarado y el pulido.

Para el peso de panícula el híbrido AR003 fue el que mayor peso con 3.72 g, teniendo en cuenta que todos los híbridos a excepción del AR006 con 2.58 g quedaron por encima del testigo Fedearroz 67 con 2.70 g (Tabla 3.10), los resultados coinciden con lo reportado por Herrera *et al.*, (2017), con valores entre 3.5 y 3.1 g e indican que esta variable está relacionada directamente con el rendimiento, donde panículas más pesadas suelen tener más espiguillas y granos, aumentado la producción por planta y unidad de área, además, de mejorar la calidad del arroz al producir granos más grandes. En granos llenos por panícula el máximo valor lo presentó el híbrido AR004 con 136.02, teniendo en cuenta que todos los híbridos evaluados superaron la variedad testigo Fedearroz con 95.66 g. En granos por espiguilla se presentó que el híbrido AR002 con 25.27 y AR003 29 son los híbridos que mayor número presentaron superando la variedad testigo Fedearroz 67 con 11.14 g (Tabla 3.10).

Tabla 3. 10. Comparación de medias en componentes de rendimiento en genotipos de arroz evaluados en las zonas del Cauca y Valle del Cauca.

Genotipo	PM (m²)	EP	PMG (g)	PDP (g)	GLP (g)	GVP (g)	GPE (g)
AR001	1121.1 b	11.10 a	25.95 b	3.43 ab	122.06 ab	31.29 a	15.77 bcd
AR002	1550.6 a	10.35 abc	25.66 b	3.14 bc	118.41 ab	25.27 ab	17.91 a
AR003	1725.4 a	11.29 a	26.85 a	3.72 a	122.35 ab	29.0 ab	17.08 ab
AR004	1166.9 b	10.70 ab	25.31 b	3.12 bc	136.02 a	23.58 ab	16.43 abc
AR005	890.8 b	10.60 ab	26.10 ab	3.18 bc	118.31 ab	20.97 b	14.60 cd
AR006	1207.7 b	9.83 bc	25.29 b	2.58 d	110.14 bc	31.60 a	16.45 abc
Fedearroz 67	1609.6 a	9.33 c	24.27 c	2.70 cd	95.66 c	11.14 c	14.29 d
Media	1324.5	10.46	25.63	3.13	117.5	25.69	16.08
CV (%)	40.52	16.75	5.74	25.46	29.88	65.27	21.17

C.V (%): Coeficiente de variación; PM: Panículas por metro cuadrado; EP: Espiguillas llenas por panícula; PMG: Peso de 1000 granos; PDP: Peso de panícula; GLP: Granos llenos por panícula; GVP: granos vanos por panícula; GPE: granos por espiguilla.

3.3.5 Análisis de Componentes Principales

Los resultados presentados en el Análisis de Componentes Principales (ACP) permitieron reducir la dimensionalidad de un conjunto de 18 variables que se correlacionan en seis híbridos y el testigo comercial denominado Fedearroz67, donde se conformaron dos componentes principales con significancia.

En Tabla 3.11, se puede observar dos componentes principales considerados como significativos, con una explicación del primer componente del 51.37%. En tanto que, el segundo aporta el 23.53%, para un total de varianza acumulada de 74.91%.

Tabla 3. 11. Dimensiones de componentes principales (Eigenvalores) utilizando variables de calidad molinera y apariencia del grano en siete genotipos de arroz.

Componente principal	Eigenvalor (Valor propio)	% varianza total	% varianza acumulada
1	9.24	51.37	51.37
2	4.23	23.53	74.91
3	2.24	12.49	87.40
4	1.04	5.82	93.23
5	0.67	3.73	96.97
6	0.54	3.02	100
7	0.00	0.00	100
8	0.00	0.00	100
9	0.00	0.00	100
10	0.00	0.00	100
11	0.00	0.00	100
12	0.00	0.00	100
13	0.00	0.00	100
14	0.00	0.00	100
15	0.00	0.00	100
16	0.00	0.00	100
17	0.00	0.00	100
18	0.00	0.00	100

3.3.6 Proporción de la varianza explicada por cada variable

Según Rodríguez *et al.* (2022), indica que los valores propios se encargan de medir los aportes que se obtienen para cada uno de los componentes principales para determinar la varianza total, en tanto que, cada uno de los coeficientes muestran el grado de contribución para las variables iniciales (morfológicas y de rendimiento), y se puede observar cómo interactúan cada componente principal. Es importante entender los valores propios presentados en el estudio y sus respectivas correlaciones entre las variables seleccionadas, que se enfocan principalmente

a los coeficientes; por otro lado, entre más alto se observen, más eficientes serán para reducir y discriminar los genotipos y las variables (Carrillo et al., 2016).

En la Tabla 3.12, este componente se relaciona con características de calidad culinaria y sensorial, donde destacan las siguientes variables destacadas: PM (47.72) y MPM (47.72), ambas con la contribución más alta, lo que sugiere que CP2 representa una dimensión asociada al peso medio del grano molido y otras propiedades ligadas a cocción o textura; AP (38.80): Alta influencia, posiblemente ligada a apariencia o atributos físicos aceptables para el consumidor; IS (11.79) y E (10.27), también aportan significativamente, reforzando que CP2 integra aspectos sensoriales o mecánicos del grano (como elasticidad, suavidad, etc.) Por otra parte, las variables AS (-31.56) y VO (-29.17) contribuyen negativamente, mostrando un comportamiento opuesto respecto a las anteriores (Tabla 3.12).

Tabla 3. 12. Contribución de cada variable (vectores propios) a la varianza en los dos primeros componentes principales en siete genotipos de arroz.

Variables	CP1	CP2
DC	24.70	6.77
AP	15.21	38.80
LP	29.60	11.02
VO	-24.45	-29.17
GP	24.56	-18.10
MP	31.30	3.65
MPM	1.89	47.72
LS	23.34	-18.75
AS	7,10	-31.56
E	20.03	10.27
IS	-31.22	11.79

PM	4.47	47.72
EP	30.15	-11.87
PMG	31.36	-9.74
PDP	29.62	0.8
GLP	21.59	-19.01
GVP	21.62	-10.56
GPE	20.01	16.58

DC: días cosecha; AP: altura de la planta; LP: longitud de las panículas; VO: volcamiento; GP: granos por panícula; MP: macollas por planta; MPM: macollas por m²; LS: longitud de la semilla; AS: ancho de la semilla; E: espesor de la semilla; IS: índice de semilla; PM: panículas por m²; EP: espiguillas llenas por panícula; PMG: peso de 1000 granos; PDP: peso de panícula; GLP: granos llenos por panícula; GVP: granos vanos por panícula; GPE: granos por espiguilla.

3.3.7 Proyección biplot de genotipos y variables en los componentes principales

En la Figura 3.1, se muestra la proyección biplot de los genotipos de arroz evaluados en los dos componentes principales. Como se puede observar el primer cuadrante está representado por los híbridos AR003 y AR002, representados por las variables E, GPE, LP, DC, MP, PDP, AP, PM, MPM, genotipos que mostraron los máximos valores para altura de la planta y presentan una correlación positiva con longitud de panícula, peso de panícula, espesor de grano, granos por espiguillas, además, de un mayor número de macollas por planta, factor que contribuyó a la obtención de mayor macollas por m², sin embargo, fueron los híbridos que obtuvieron el mayor tiempo a días de cosecha, este factor podría estar representado por el tamaño de las plantas, al presentar la mayor altura y desarrollo de sus partes reproductivas como es la panícula y la obtención de los granos pudieron presentar un tiempo más tardío para desarrollar estas partes de la planta. No obstante, se pudo evidenciar una correlación negativa con volcamiento, lo cual es una característica deseable ya que la planta al terminar su ciclo de

cultivo erecta facilita la cosecha mecánica, disminuyendo también la pérdida de granos viéndose reflejado positivamente en el rendimiento.

En el cuadrante dos se ubica el testigo comercial Fedearroz 67 representado por la variable IS: índice de semilla al presentar los máximos valores, se observa una correlación negativa en el cuadrante tres con las variables AS, GLP, LS, GP, GVP, EP y PMG, donde se pudo evidenciar valores bajos ancho de la semilla, granos llenos por panícula, espesor de grano y peso de 1000 granos, es decir que las variables de rendimiento el testigo no destacó en contraste con los valores presentado por los híbridos, sin embargo, se presenta una correlación positiva con el cuadrante uno, en especial con las variables altura de la planta, panículas por m² y macollas por m².

En el cuadrante tres, se ubican los híbridos AR006, AR004 y AR005, evidenciando volcamiento, lo cual es una característica desfavorable, que puede indicar que son genotipos que presentan mayor susceptibilidad a las condiciones de adversas de clima como lluvia excesiva o fuertes vientos, sin embargo, se observa también una correlación negativa con las variables del cuadrante uno, al presentar valores bajos en espesor de grano, altura de la planta, granos por espiguillas, longitud de las panículas y días a cosecha.

Finalmente, en el cuadrante cuatro se ubica el híbrido AR001 y se encuentra representado por las variables ancho de la semilla, granos llenos por panícula, longitud de la semilla, granos por panícula, granos vanos por panícula, espiguillas llenas por panícula y peso de 1000 granos, como se pudo observar es un genotipo que sobresalió en variables que describen el comportamiento productivo de las semillas; además, se evidencia una correlación positiva con las variables del cuadrante uno, con variables espesor de la semilla, longitud de las panículas, granos por espiguillas, panículas por m² y altura de la planta, es importante mencionar que es un

híbrido con características deseables para variables de rendimiento, no obstante presentaron el mínimo valor en índice de la semillas al evidenciarse una correlación negativa con el cuadrante dos.

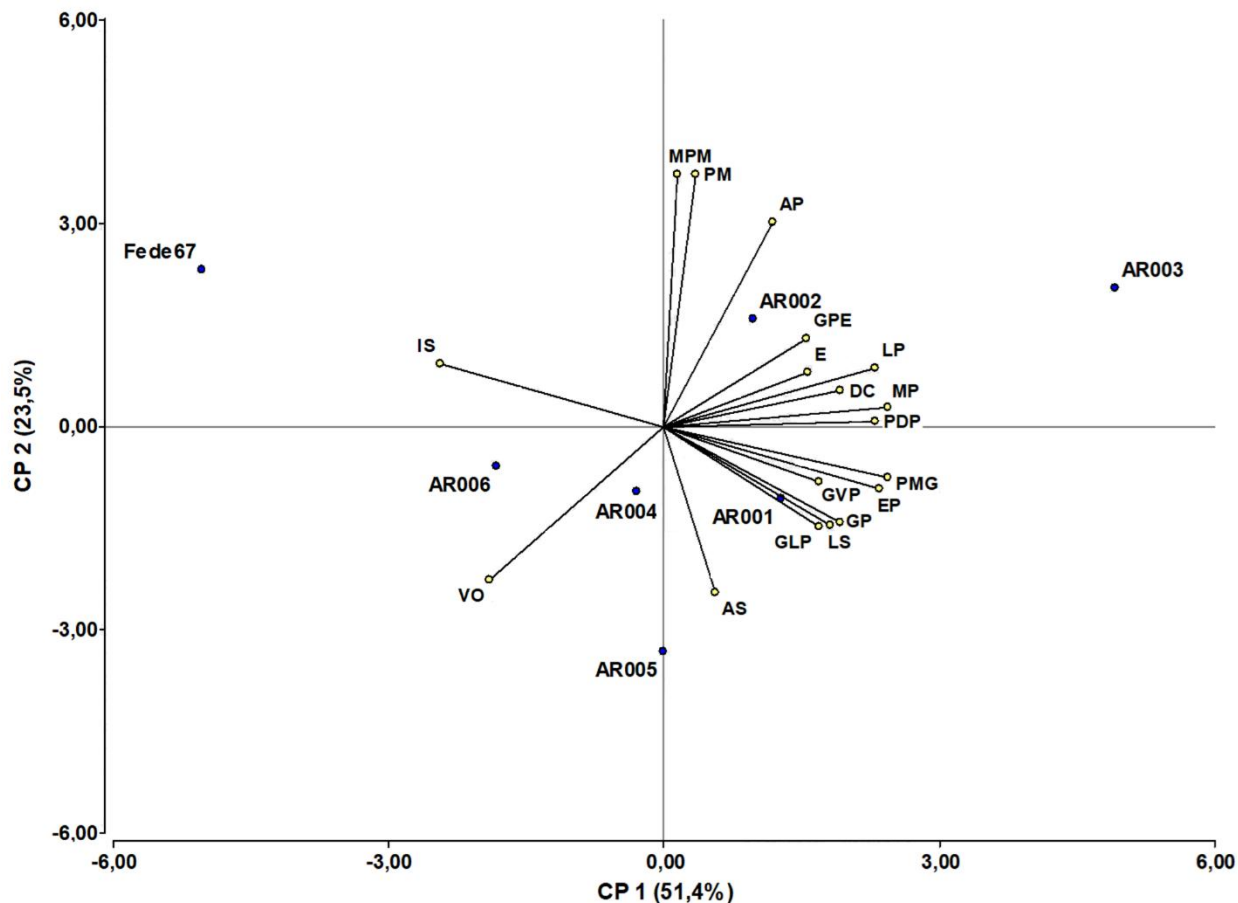


Figura 3.1. Representación de genotipos y variables en el primer plano utilizando un gráfico compuesto Biplot.

3.3.8 Índice de selección

El valor índice fue calculado teniendo en cuenta los resultados de las cuatro localidades, de esta manera permitió separar los genotipos con base a un resultado de evaluación simultánea de tres características como espesor de grano, peso de 1000 granos y peso de panícula. El ranking permitió establecer categorías a los híbridos y el testigo Fedearroz 67 para determinar la superioridad entre los genotipos evaluados (Tabla 3.13).

Tabla 3. 13. Índice de selección de genotipos de arroz en las localidades de Buenos Aires, Timba, Guachené (Cauca) y Jamundí (Valle del Cauca).

Genotipo	Índice de selección	Espesor de grano (mm)	Peso de 1000 granos (g)	Peso panícula (g)
AR003	3.16	1.75	26.85	3.72
AR001	1.21	1.72	25.95	3.43
AR005	0.83	1.72	26.1	3.18
AR002	0.39	1.79	25.66	3.14
AR004	-0.74	1.6	25.31	3.12
AR006	-1.93	1.63	25.29	2.58
Fedearroz 67	-2.92	1.65	24.27	2.7
Promedio general		1.69	26.63	3.12
Desviación estándar		0.15	0.153	0.129
Coefficiente de variación		1.26	1.01	2.45

En la tabla 3.13, se pudo observar el índice de selección en donde el híbrido AR003 fue el superior al resto de genotipos con el mayor índice de selección el cual presento las siguientes características: espesor de grano de 1.75 g, peso de 1000 granos 26.85 g y peso panícula 3.72 g; seguido de AR001 obtuvo las siguientes características: espesor de grano 1.72 g, peso de 1000 grano 25.95 g y peso panícula 3.42 g. En tanto que, AR005 mostró las siguientes características: espesor de grano 1.72 g, peso de 1000 granos 26.1 g y peso panícula de 3.18 g, seguido de AR002 con: espesor de grano 1.79 g, peso de 1000 granos 25.66 g y peso panícula con 3.14 g, finalmente la variedad Fedearroz ocupó el último lugar y presento las siguientes características: espesor de grano 1.65 g, peso de 1000 granos 24.27 g y peso panícula 2.7 g.

Se tuvieron en cuenta tres variables agronómicas fundamentales para la selección de genotipos, donde se pudo evidenciar que las condiciones ambientales en las localidades evaluadas presentaron interacción con los genotipos estudiados. En este sentido, la selección

de genotipos que presentaron los mayores valores para estas variables es fundamental para ser tenidas en cuenta en programas de mejoramiento genético en arroz que busca identificar genotipos con componentes de espesor de grano, peso de 1000 granos y peso panícula, que buscan aumentar la productividad del cultivo de arroz (Serrano *et al.*, 2018). Respecto al índice de selección se pudo observar que el híbrido AR003 presento mejor estabilidad (Bustamante *et al.*, 2017), por lo que, se evidenciaron híbridos en los cuales el efecto del índice de selección es menor al promedio general encontrado en el análisis. Los índices de selección mostrados por los genotipos evaluados en las cuatro localidades fueron inferiores a los referenciados por Perdomo (2014), quienes presentaron índices de selección entre 1.78 y 0.96, lo que indica que los genotipos estudiados en la presente investigación presentan baja adaptabilidad a las diferentes condiciones ambientales (Treminio y Loáisiga, 2016), sin embargo, se podría identificar algunos genotipos que puedan responder de forma positiva en cualquier ambiente.

Los híbridos que destacaron debido a su alta influencia con los ambientes fueron AR003, AR001 y AR005 que presentaron interacción en cuanto a su comportamiento particular a cada una de las localidades estudiadas (Figura 3.2). Estos híbridos podrían ser útiles como parentales en programas de mejoramiento genético en arroz.

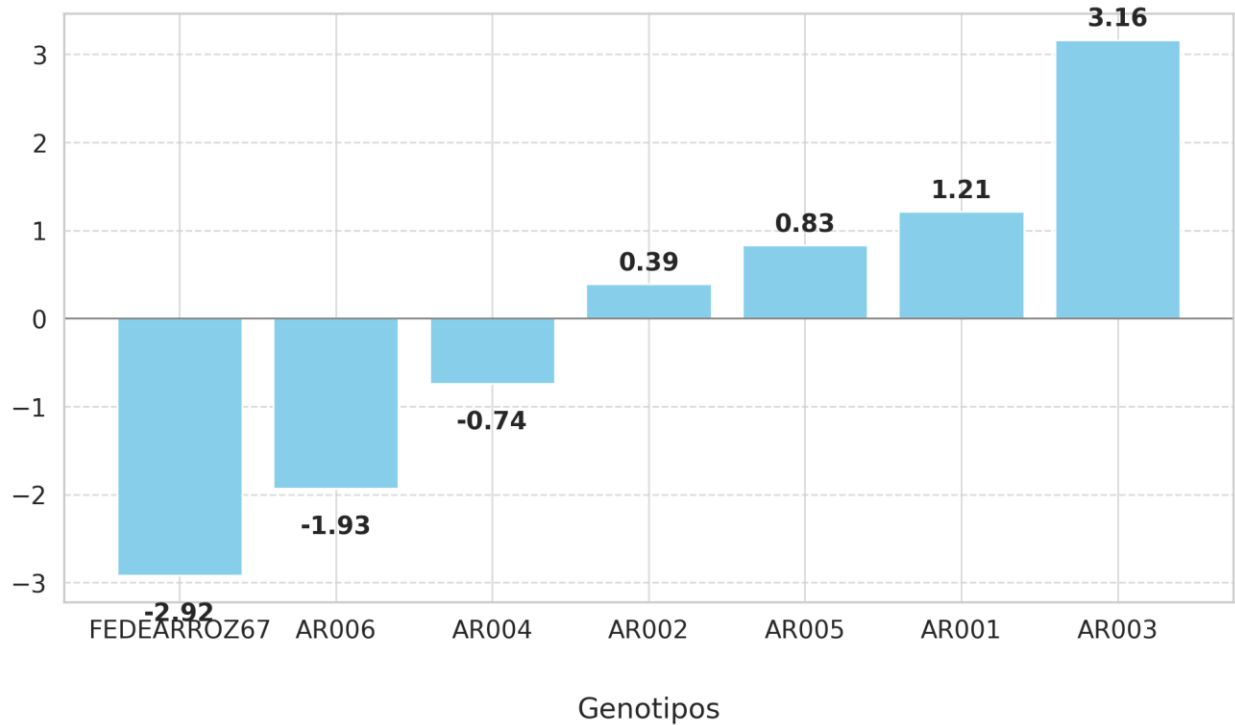


Figura 3.2. Índice de selección de genotipos de arroz en las localidades de Buenos Aires, Timba, Guachené (Cauca) y Jamundí (Valle del Cauca).

3.3.9 Análisis AMMI para la variable rendimiento

El análisis AMMI permitió identificar ambientes donde los híbridos y el testigo Fedearroz67 se podría comportar mejor. Este método nos determinó que el primer componente aporta un 57,6% de la interacción, en tanto que, el segundo componente explica 34,7% para la variable de rendimiento (Tabla 3.14). Generalmente el primer componente explica el mayor porcentaje coincidiendo con los estudios de Heros *et al.* (2024), en estudios de índices de selección en la identificación de genotipos de arroz tolerantes a sequía, donde evaluaron rendimientos de 12 genotipos de arroz donde encontraron que el primer componente explica un 60,3% y el segundo 39,7% evaluados en cinco localidades.

Tabla 3. 14. Análisis de varianza para la variable de rendimiento en siete genotipos de arroz evaluados en el Valle Geográfico del río Cauca.

Fuente de variación	gl	SC	%	% AC	CM	F	
Modelo	42	972195028,84					
Localidad	3	558734917,58	66,26	66,26	186244972,53	70,72	***
Repeticiones	3	24146410,95	2,86	69,12	8048803,65	3,06	*
Genotipo	6	131470375,41	15,59	84,71	21911729,24	8,32	***
Localidad*Genotipo	18	128921662,45	15,29	100,00	7162314,58	2,72	**
Cp1	6	74774564,22	58,00	58,00	12462427,37	4,73	***
Cp2	3	45122581,86	35,00	93,00	15040860,62	5,71	***
Cp3	3	9024516,372	7,00	100,00	3008172,124	1,14	ns
Error	81	213326775,51			2633663,90		
Total	123	1185521804,36					

gl: Grados de libertad. SC: Suma de cuadrados. %: porcentaje de la variabilidad explicada para cada termino. %AC: Porcentaje acumulado explicada para cada termino. CM: Cuadrado medio. F: valor de la prueba Fischer. '***' p<0.001; '**' p<0.01; '*' p<0.05; 0.1;1: ns: No Significativo.

En la Figura 3.3 se puede observar que aquellos híbridos cercanos al eje son más estables o el aporte a la interacción es baja; por lo tanto, los genotipos que se encuentren más alejados son aquellos se contribuyen a una mayor interacción. El híbrido AR001 se ubicó más cerca al eje central y se puede considerar más estable con respecto al rendimiento en los cuatro ambientes.

En cuanto a las localidades Jamundí fue la presentó un mayor potencial con un promedio de 11846,8 kg/ha, esto posiblemente se debe a que los genotipos presentaron una mejor adaptación por las condiciones agroecológicas de la zona, respecto a las localidades de Buenos Aires, Guachené y Timba que presentaron valores de 8399,4, 8092,1 y 5571 kg/ha, respectivamente. El análisis permitió identificar genotipos que se comportan mejor en las diferentes localidades, donde en la localidad de Jamundí, los híbridos AR003 y AR004 presentaron el mayor rendimiento con valores de 12203,9 y 13569,0 kg/ha, respectivamente. En el ambiente Guachené, tienden a adaptarse mejor los híbridos AR002 y AR003 con rendimientos de 9325.6 y 9342.1 kg/ha respectivamente. En la localidad de Buenos Aires los híbridos AR002,

AR003 y el testigo comercial Fedearroz67 tienden a comportarse mejor en esta localidad con rendimientos de 9251.6, 11189.1 y 11365.1 kg/ha respectivamente. Finalmente, en la localidad Timba destacaron los genotipos AR002, AR003 y el testigo comercial Fedearroz67 quienes presentaron una mejor adaptación en esta localidad con rendimientos de 6792.7, 7055.9 y 7574.0 kg/ha, respectivamente. Los resultados coinciden con lo reportado por Barona *et al.* (2020) donde estudiaron ocho genotipos de arroz, destacando, cultivares como Soberana FL y SD 20A individuos superiores respecto al rendimiento y estabilidad fenotípica, sobresaliendo en las localidades de campos experimentales del INIA-Guárico.

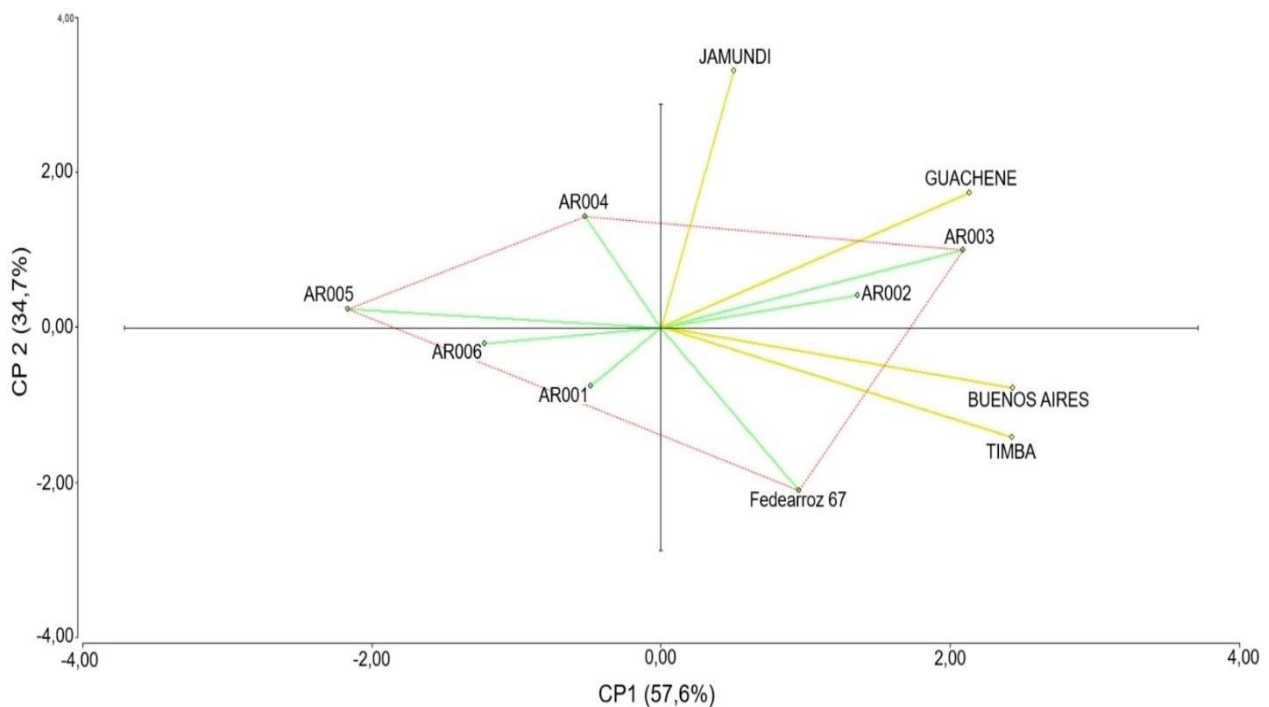


Figura 3.3. Representación gráfica del CP1 y CP2 (Biplot) de los seis híbridos y un testigo comercial Fedearroz 67 en los cuatro ambientes para la variable de rendimiento.

Conclusiones

1. El estudio permitió identificar genotipos con estabilidad y desempeño agronómico sobresaliente en múltiples ambientes, cumpliendo con el objetivo de evaluar adaptación y precocidad. El híbrido AR001 se destaca por su estabilidad en rendimiento, de acuerdo con el modelo AMMI, y por presentar el ciclo más precoz en todas las localidades evaluadas. A su vez, AR003 también evidenció un comportamiento agronómico superior, según el índice de selección.
2. En términos de componentes de rendimiento, el híbrido AR003 demostró un desempeño agronómico superior, evidenciando altos valores en número de panículas por m², espiguillas llenas por panícula, peso de 1000 granos y peso de panícula. Esta superioridad también se reflejó en el rendimiento de grano en todas las localidades, posicionándolo como un material promisorio para la zona de estudio.
3. El análisis de componentes principales (PCA) permitió una reducción efectiva de la dimensionalidad, identificando siete variables clave que explican la mayor parte de la varianza, entre ellas: panículas por m², índice de semilla, espesor de semilla y granos por panícula. Además, el PCA permitió destacar a los genotipos AR003, AR002 y Fedearroz67 como los más representativos en este nuevo espacio multivariado.
4. El análisis AMMI confirmó que el híbrido AR003 y la variedad testigo presentaron el mayor rendimiento en los cuatro ambientes evaluados, siendo AR003 especialmente favorecido por la interacción genotipo × ambiente en la localidad de Guachené. Estos resultados respaldan su recomendación para procesos de registro y liberación como material adaptado a esta región productiva.

Bibliografía

Ali, F., Jighly, A., Joukhadar, R., Niazi, N. K., & Al-Misned, F. (2023). Current status and future prospects of head rice yield. *Agriculture*, 13(3), 705.

Acevedo-Barona, M. A., Silva-Díaz, R., Álvarez-Parra, R., Torres-Angarita, O., & Reyes-Ramone, E. (2020). Estratificación ambiental de arroz por análisis de la interacción genotipo x ambiente con cinco métodos¹. *Agronomía Mesoamericana*, 43-57.

Acevedo Barona, M. A., Silva Díaz, R. J., Perdomo Rojas, R. D., Pérez Almeida, I. B., Álvarez Parra, R. M., & Torres Angarita, O. J. (2023). Interacción genotipo x ambiente para el rendimiento de híbridos de arroz y variedades endógamas en Venezuela.

Al Mamun, M. A., Nihad, S. A. I., Sarkar, M. A. R., Aziz, M. A., Qayum, M. A., Ahmed, R., ... & Kabir, M. S. (2021). Growth and trend analysis of area, production and yield of rice: A scenario of rice security in Bangladesh. *PloS one*, 16(12), e0261128.

Andrade, R., Urioste, S., Alvarez, M. F., Generale, G., & González, C. (2022). Producción de arroz en Colombia: investigación para fortalecerse.

Alava Vera, M. F., Poaquiza Cornejo, J. T., & Castillo, G. H. (2018). La producción arrocera del Ecuador: Caso Samborondón, 2011–2015. *Revista espacios*, 39(34), 12.

Alvarado, A. A. (2020). *Manejo integrado del insecto barrenador (Diatraea saccharalis) en el cultivo de arroz (Oryza sativa)* (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2020).

Barona, M. A. A., Díaz, R. J. S., Parra, R. Á., & Ramone, E. R. (2020). Estratificación ambiental de arroz por análisis de la interacción genotipo x ambiente con cinco métodos. *Agronomía Mesoamericana*, 31(1), 45-57.

Barona, M. A., Álvarez, R., Silva, R., Torres, O., & Reyes, E. (2019). Interacción genotipo ambiente en arroz para identificar mega-ambientes y ambientes ideales mediante el modelo de regresión por sitios y biplot. *Bioagro*, 31(1), 35-44.

Bonilla Bolaños, A. G., & Singaña Tapia, D. A. (2019). La productividad agrícola más allá del rendimiento por hectárea: análisis de los cultivos de arroz y maíz duro en Ecuador. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 29(1), 70-83.

Borja, W. O. R., Morejón, B. J. Z., Cueva, M. B. R., Mora, F. J. C., & Espinoza, F. G. E. (2020). Calidad molinera de 40 líneas avanzadas f6 de arroz (*Oryza sp.*) cultivadas en dos zonas arroceras del Ecuador. *Journal of Science and Research*, 5(CININGEC), 267-274.

Bouchard, J. D., Acevedo, B. A., Díaz, S. F., & Maiocchi, M. G. (2020). Análisis multivariante aplicado al estudio de las propiedades culinarias de arroz (*Oryza sativa L.*) en variedades largo fino. *Revista de Ciencia y Tecnología*, (33), 1-10.

Burgos Bedoya, C. A. (2021). Evaluación de crecimiento y rendimiento de cuatro variedades y una línea avanzada de arroz (*Oryza sativa L.*) en el centro experimental la victoria-fedearroz Montería-Córdoba.

Bustamante, V. A., Méndez, C., Artola, E. T., & Vallecillo, L. L. (2017). Evaluación agronómica de nueve líneas avanzadas de arroz (*Oriza sativa* L.) y dos testigos comerciales bajo condiciones de riego por inundación, Sébaco, Matagalpa. *La Calera*, 17(29), 51-56.

Bhati, D., Singh, B., Singh, A., Sharma, S., & Pandiselvam, R. (2022). Assessment of physicochemical, rheological, and thermal properties of Indian rice cultivars: Implications on the extrusion characteristics. *Journal of Texture Studies*, 53(6), 854-869.

Calero Hurtado, A., Pérez Díaz, Y., Quintero Rodríguez, E., & González-Pardo Hurtado, Y. (2021). Densidades de plantas adecuadas para incrementar el rendimiento agrícola del arroz. *Centro Agrícola*, 48(1), 28-36.

Carrillo, G. H., Alvarez, A. M., & Viera, D. G. (2016). Evaluación agronómica de cuatro variedades mejoradas de arroz en distintas épocas de siembra. *Agrisost*, 22(2), 68-78.

Carreño Carreño, J. D. P. (2019). Evaluación de la diversidad taxonómica y funcional de la comunidad microbiana relacionada con el ciclo del nitrógeno en suelos de cultivo de arroz con diferentes manejos del tamo.

Cadena-Torres, J., Cuello-Pérez, D. M., Romero-Ferrer, J. L., & Pérez-Cantero, S. P. (2021). Caracterización del sistema de producción de arroz criollo en La Mojana, Colombia. *Ciencia y agricultura*, 18(2), 67-82.

Ceccarelli, S. (2015). Efficiency of plant breeding. *Crop science*, 55(1), 87-97. León, N. D. J. P., Menduiña, R. I. C., & Valdés, R. H. (2017). Caracterización morfológica de seis haplotipos de *Pyricularia grisea* Sacc aislados para mejora genética del arroz en Cuba. *Avances*, 19(1), 2-11.

Cordero Flores, P., & Manzaneda Delgado, F. (2021). Evaluación agronómica de seis variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) sembradas en dos épocas bajo riego, en el municipio de San Buenaventura, Bolivia. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 8(1), 3-16.

Chivenge, P., Sharma, S., Bunquin, M. A., & Hellin, J. (2021). Improving nitrogen use efficiency—a key for sustainable rice production systems. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 737412.

Changjie, J., Zhengwei, L., & Xianzhi, X. (2023). Priming for saline-alkaline tolerance in rice: Current knowledge and future challenges. *Rice Science*, 30(5), 417-425.

Chakraborti, M., Anilkumar, C., Verma, R. L., Fiyaz, R. A., Raj, K. R., Patra, B. C., ... & Rao, L. S. (2021). Rice breeding in India: eight decades of journey towards enhancing the genetic gain for yield, nutritional quality, and commodity value.

Chavarría Salas, A. (2022). Determinación de la tolerancia a salinidad de líneas mutantes de arroz (*Oryza sativa* L.) bajo condiciones de invernadero en Barva, Heredia.

Cruz Santana, A. B. (2022). *Calidad culinaria de 13 líneas avanzadas de arroz (Oryza sativa L.), en comparación con la variedad SFL-011 adaptada en las zonas arroceras del Ecuador* (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2022).

De Souza, A. G., Stida, W. F., Vidal, A. K. F., Freitas, R. S., Nascimento, M. R., Santos, R., ... & Daher, R. F. (2020). Avaliação da estabilidade e adaptabilidade de feijão preto pela metodologia de eberhart e russel e finlay e wilkinson.

Delgado-Huertas, H., Silva-Parra, A., & Guarín-Gutierrez, L. A. (2021). Evaluación agronómica de líneas de arroz de sabana (*Oryza sativa* L.) obtenidas mediante mejoramiento poblacional por selección recurrente. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 24(2).

Díaz, S. H., Morejón, R., & Pérez, N. D. J. (2017). Comportamiento y selección de líneas avanzadas de arroz (*Oryza sativa* L.) obtenidas por el Programa de Mejoramiento en Los Palacios. *Cultivos Tropicales*, 38(1), 81-88.

Degiovanni Beltramo, V. M., Berrío Orozco, L. E., & Charry Mercado, R. E. (2010). Origen, taxonomía, anatomía y morfología de la planta de arroz (*Oryza sativa* L.).

De La Cruz, Y., & Maribel, R. (2021). Adaptación de 21 líneas F6 de arroz (*Oryza sp.* indica y japónica), bajo las condiciones climáticas de la parroquia Manglaralto provincia de Santa Elena (Bachelor's thesis, La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2021).

Díaz Solís, S. H., Morejón Rivera, R., Onicka Chisholm, O., & Castro Álvarez, R. (2015). Evaluación de nuevas líneas de arroz (*Oryza sativa* L.) obtenidas por hibridaciones dentro del Programa de Mejoramiento Genético del cultivo en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 36(3), 115-123.

Eberhart, S. T., & Russell, W. (1966). Stability parameters for comparing varieties 1. *Crop science*, 6(1), 36-40.

Escalante Correa, L. F. A. (2020). Propuesta de un modelo predictivo ajustado al proceso de molienda y su efecto en la rentabilidad económica para una empresa procesadora de arroz.

Fernández Alvarez, A. G. (2017). Evaluación del comportamiento de dos variedades y seis líneas introducidas de arroz (*Oryza sativa* L.) bajo riego en Uchiza.

Grijalva, M. M. (2014). ¿Desmemoria?, ¿olvido? El arroz o la historia que faltaba. *Procesos: Revista ecuatoriana de historia*, (40), 139-142.

Galvis Ricaurte, S. L. (2020). Estimación de parámetros genéticos en cruzamientos dialélicos para calidad molinera y culinaria de arroz *Oryza sativa* L.

Gallardo, R. A. C. (2019). Propuesta de estrategias innovadoras para la comercialización de la denominación de origen del arroz del estado de morelos. caso: la perseverancia, jojutla morelos.

Gómez, M. M. R., Chaali, N., Ordóñez, D. P. S., Rolón, A. M. P., Medina, J. I. B., Barrios, C. I. J., & Ouazaa, S. (2023). Manual para el diagnóstico de cadmio en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) y su inmovilización mediante el uso de hongos formadores de micorrizas arbusculares.

Gárgano, C. (2018). Ciencia, Tecnología y Mercado: Investigaciones en Arroz en el INTA argentino. *Journal of technology management & innovation*, 13(1), 75-83.

Gil, L. F. (2020). Identificar la población de las malezas predominantes antes de la siembra del cultivo de arroz *Oryza sativa* L. Secano en el municipio de Pore, Casanare.

Gil Borja, W. J. (2017). *Evaluación agronómica de la variedad de arroz (Oryza sativa L.) INIAP FL-1480 Cristalino, con tres distanciamientos de siembra, en la zona de Babahoyo* (Bachelor's thesis, Babahoyo: UTB, 2017).

Granados Thorin, N. (2021). Evaluación de efectividad de bacterias promotoras de crecimiento vegetal en la variedad de arroz F67 (*Oryza sativa*).

Heros Aguilar, E., Gómez Pando, L. R., & Sosa Peralta, G. (2024). Utilización de los índices de selección en la identificación de genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.) tolerantes a sequía. In *urn: issn: 2518-8100*. Universidad Católica de El Salvador.

Hernández Quiñónez, J. A., Salazar Mercado, S. A., & Rodríguez Araujo, E. (2021). Efecto de los elementos menores en la calidad molinera del arroz (*Oryza sativa* L.) variedad F-2000. *Mutis*, 11(1 (2021)), 8-21.

Herrera, E. A. O., Martínez, E. J. C., & Hidalgo, E. I. Á. (2017). Comparación de un sistema de intensificación del cultivo de arroz (SICA) con sistemas tradicionales de siembra en la zona de Churute, Ecuador. *Revista Ciencia y Tecnología*, 10(1), 1-6.

Hernández, F., Vercellino, R. B., Iberlucea Saglietto, A., Kruger, D., Fontana, L., Crepy, M. A., ... & Presotto, A. D. (2021). Detrás del origen del arroz maleza en Argentina.

Hernández Aragón, L., Tavitas Fuentes, L., Álvarez Hernandez, J. C., Tapia Vargas, L. M., Ortega Arreola, R., Esqueda Esquivel, V., ... & López López, R. (2019). Pacífico FL 15 y Golfo FL 16, variedades multiambientales de arroz con grano extralargo para México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(1), 23-34.

Holmann, F. J., & Lascano Aguilar, C. E. (2001). Sistemas de alimentación con leguminosas para intensificar fincas lecheras: un proyecto ejecutado por el Consorcio Tropicoleche. *CIAT Working Document*.

Jiménez, M. B. (2021). Importancia de los factores climáticos en el cultivo de arroz: Importance of climate factors in rice crop. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 6(1), 28-34.

John, D., & Raman, M. (2023). Physicochemical properties, eating and cooking quality and genetic variability: a comparative analysis in selected rice varieties of South India. *Food Production, Processing and Nutrition*, 5(1), 49.

Jiang, Z., Yang, S., Ding, J., Sun, X., Chen, X., Liu, X., & Xu, J. (2021). Modeling climate change effects on rice yield and soil carbon under variable water and nutrient management. *Sustainability*, 13(2), 568.

Leaños Machuca, L. (2021). Generación de nuevas líneas de arroz mejoradas mediante la introgresión de caracteres de interés agronómico.

Llatas, M. N. S., Ulloa, W. E. V., Aguilar, E. E. V., Huaman, J. J. P., Luján, L. F. R., Cerdan, W. G. B., ... & Rosales, Y. I. Y. (2021). Mejoramiento genético en plantas autógamas. *REBIOL*, 41(1), 136-153.

Narváez, F. J. S., Zapata, R. E., Guerrero, J. A. O., & Niño, L. F. C. (2023). Competitividad de las empresas del sector de molienda de arroz: estudio empírico. *FACE: Revista de la Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales*, 23(1).

Márquez-Vasallo, Y., Salomón-Díaz, J. L., & Acosta-Roca, R. (2020). Análisis de la interacción genotipo ambiente en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.). *Cultivos Tropicales*, 41(1).

Medina Piza, J. A. (2022). *Calidad molinera de las principales variedades de arroz (Oryza sativa L.) que se comercializan en nuestro país* (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2022).

Monar Coello, Á. S. (2022). *Descripción de la calidad molinera del cultivo de arroz (Oryza sativa L. ssp. japonico)* (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2022).

Marchisone, F. M. (2023). *Análisis multiambiental regional de la productividad del trigo (Triticum aestivum L.), estabilidad y adaptabilidad según su madurez relativa* (Master's thesis).

Munive Zabaleta, J. L., & Ortiz Armando, J. (2022). Sensibilidad de nuevas variedades de arroz a los herbicidas clomazone y propanil.

Martínez-Reina, A. M., Cantero, S. P. P., & Ángulo, J. G. M. (2022). Caracterización de la producción de semillas de arroces regionales en la subregión de la Mojana. *Temas Agrarios*, 27(1), 258-271.

Mendoza Avilés, H. E., Loor Bruno, Á. C., & Vilema Escudero, S. F. (2019). El arroz y su importancia en los emprendimientos rurales de la agroindustria como mecanismo de desarrollo local de samborondón. *Revista Universidad y Sociedad*, 11(1), 324-330.

Mora, D. S., Cuellar, L. M., Torrejano, V. M., & Salamanca, D. R. (2017). Incidencia de las condiciones climáticas sobre el cultivo de arroz (*Oryza sativa*) en el municipio de Campoalegre-Huila. *Revista Agropecuaria y Agroindustrial La Angostura*, 4.

Morejón, R., & Díaz Solís, S. H. (2015). Selección de líneas promisorias de arroz (*Oryza sativa* L.) provenientes del programa de mejoramiento genético en " Los Palacios". *Cultivos Tropicales*, 36(4), 126-132.

Montenegro-Ramos, O., Jaramillo-Bonilla, S., & Abaunza-González, C. (2023). Láminas de riego y su influencia en el rendimiento de arroz (*Oriza sativa* L.) la variedad Fedearroz-67 en el Valle Cálido del Magdalena. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 5351-5376.

Parra, R. M. Á., Ramones, E. R. R., Parra, A. A. A., Chirinos, E. D. C. V., Cariel, Y. J. L., Pérez, N. Y. R., & De la Cruz, R. (2023). Caracterización morfológica del grano de la variedad de arroz soberana FL. *Hatun Yachay Wasi*, 2(2), 98-109.

Parrales Santos, J. N. (2020). *Factores determinantes de la calidad molinera del arroz (Oryza sativa L. ssp. indica)*” (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2020).

Parra-Peña, R. I., Flórez, S., & Rodríguez, D. (2022). La competitividad de la cadena del arroz en Colombia: un compromiso con el bienestar del agricultor.

Peña, J. A. N., Flores, D., & López, R. (2022). Comportamiento de genotipos de arroz en prueba preliminar con potencial de rendimiento en la Estación Experimental Juma, Bonao. *APF*, 11(2), 9-18.

Perdomo Leiva, M. C. (2014). *Evaluación de Gernoplasmma de arroz para la identificación de genotipos tolerantes a déficit hídrico* (Doctoral dissertation).

Pérez Polanco, R., Pérez Corrales, D., & Hernández Lozano, E. (2019). Aporte de la selección recurrente al mejoramiento genético del arroz en Cuba. *Infociencia*, 23(1).

Poveda, G., y Andrade, C. (2018). Producción sostenible de arroz. *Contribuciones a las ciencias sociales*, (marzo).

Pincioli, M., Ponzio, N. R., & Salsamendi, M. (2015). *El arroz*. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.

Rangel, L., Rojas, Y. S., Hernández, D., De Padua, M., & Sánchez, J. M. (2018). Calidad molinera de las variedades de arroz SD20a y payara 1FL, y su resistencia a *Sitophilus oryzae* (L.) y *Rhizopertha dominica* (F.). *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 21(2), 351-357.

Rodríguez Ledesma, N. D., Torres Sevillano, C. N., Chaman Medina, M. E., & Hidalgo Rodríguez, J. E. M. (2019). Efecto del estrés salino en el crecimiento y contenido relativo del agua en las variedades IR-43 y amazonas de *Oryza sativa* "arroz" (Poaceae). *Arnaldoa*, 26(3), 931-942.

Rodríguez Betancourth, L., Quintero, C., Cuásquer, J., Graterol, E., García Dávila, M., & CRUZ Gallego, M. (2022). Comparación morfo-agronómica y molecular de catorce variedades de arroz (*Oryza sativa*) con las líneas que dieron su origen. *Acta Biológica Colombiana*, 27(1), 5-16.

Rangel, L., Rojas, Y. S., Hernández, D., De Padua, M., & Sánchez, J. M. (2018). Calidad molinera de las variedades de arroz SD20a y payara 1FL, y su resistencia a *Sitophilus oryzae* (L.) y *Rhizopertha dominica* (F.). *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 21(2), 351-357.

Santa María, A. L. P., Cardozo, I. I. M., & Ninaquispe, J. C. M. (2021). Comportamiento de la

producción e importación de arroz en el Perú 2016-2020. *TZHOECOEN*, 13(2), 76-83.

Salazar, H., Barazarte, H., Padua, M., & Estanga, M. (2019). Evaluación del proceso de parbolizado y calidad de las variedades de Arroz Payara 1FL y SD20A. *Agroindustria, Sociedad y Ambiente*, 2(13), 4-23.

Sánchez, D. L., Samonte, S. O. P., & Wilson, L. T. (2023). Genetic architecture of head rice and rice chalky grain percentages using genome-wide association studies. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1274823.

Sánchez, A. J. L., Díaz, A., & Alarcon, M. E. Z. (2018). Evaluación de láminas de riego para el cultivo de arroz. *Revista Universidad de Guayaquil*, 127(2), 12-20.

Srinang, P., Khotasena, S., Sanitchon, J., Chankaew, S., Jogloy, S., & Monkham, T. (2023). New Source of Rice with a Low Amylose Content and Slow In Vitro Digestion for Improved Health Benefits. *Agronomy*, 13(10), 2622.

Seminario, M. D. L. M. A., Ocorima, R. M. G., Matallana, R. A. D., & Salas, A. L. (2021). Competitividad de Perú y Sudamérica en la producción de arroz (*Oryza sativa*) y papa (*Solanum tuberosum*). In *Anales Científicos* (Vol. 82, No. 1, pp. 11-21). Universidad Nacional Agraria La Molina.

Serrano, J., Fábrega, J., Quirós, E., Sánchez-Galán, J., & Jiménez, J. U. (2018). Análisis prospectivo de la detección hiperespectral de cultivos de arroz (*Oryza sativa* L.). *KnE Engineering*, 69-79.

Tirado, R., Tirado, R., & Mendoza, J. (2018). Interacción genotipo x ambiente en rendimiento de papa (*Solanum tuberosum* L.) con pulpa pigmentada en cutervo, Perú. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 34(3), 191-198.

Tolentino Martínez, J. M., & Tenorio Martínez, L. D. (2017). La denominación de origen del arroz de Morelos: vinculación y conformación de redes. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(7), 1587-1602.

Treminio Artola, J. E., & Loáisiga Vallecillo, L. G. (2016). *Evaluación agronómica de nueve líneas avanzadas de arroz (oryza sativa L.) y dos testigos comerciales bajo condiciones de riego por inundación, Julio-Noviembre 2014, Valle de Sebaco, Matagalpa* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional Agraria, UNA).

Vallejo, F., & Estrada, E. (2013). *Mejoramiento genético de plantas* (Segunda ed). Universidad Nacional de Colombia.

Vallejo, F.A, Espitia, C. M., Estrada, E. I., & Ramírez, H. (2010). *Genética Vegetal*. Editorial Feriva S.A.

Velázquez, J., Rosales, A., Rodríguez, H., & Salas, R. (2015). Determinación de las etapas de inicio de macollamiento, inicio de primordio, floración y madurez en la planta de arroz, con el sistema s, vyr correlacionado con la sumatoria térmica. *Agronomía Costarricense*, 39(2), 121-130.

Wang, F., Yi, Q., Xie, L., Yao, X., Zheng, J., Xu, T., ... & Chen, S. (2022). Non-destructive monitoring of amylose content in rice by UAV-based hyperspectral images. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 1035379.

Xiao, X., Li, J., Xiong, H., Tui, W., Zhu, Y., & Zhang, J. (2022). Effect of extrusion or fermentation on physicochemical and digestive properties of barley powder. *Frontiers in Nutrition*, *8*, 794355.

Xiong, R., Xie, J., Chen, L., Yang, T., Tan, X., Zhou, Y., ... & Zeng, Y. (2021). Water irrigation management affects starch structure and physicochemical properties of indica rice with different grain quality. *Food Chemistry*, *347*, 129045.

Zhou, L., Lu, Y., Zhang, Y., Zhang, C., Zhao, L., Yao, S., ... & Liu, Q. (2020). Characteristics of grain quality and starch fine structure of japonica rice kernels following preharvest sprouting. *Journal of cereal science*, *95*, 103023.