UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMIA

"DENSIDAD DE SIEMBRA PARA OPTIMIZAR RENDIMIENTOS EN MUTANTES DE ARROZ *(Oryza sativa* L.) EN CONDICIONES DEL VALLE JEQUETEPEQUE, LA LIBERTAD"

TESIS PARA OPTAR TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO

MAC ROGER CHIRINOS HINOSTROZA

LIMA – PERÚ

2021

La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación (Art. 24 – Reglamento de Propiedad Intelectual)

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMIA

"DENSIDAD DE SIEMBRA PARA OPTIMIZAR RENDIMIENTOS EN MUTANTES DE ARROZ *(Oryza sativa* L.) EN CONDICIONES DEL VALLE JEQUETEPEQUE, LA LIBERTAD"

TESIS PARA OPTAR TÍTULO DE

INGENIERO AGRÓNOMO

MAC ROGER CHIRINOS HINOSTROZA

Sustentada y Aprobada ante el siguiente jurado:

----------	----------
Ing. M. S. Andrés Casas Díaz	**Ph. D. Elizabeth Heros Aguilar**
PRESIDENTE	**ASESORA**
----------	----------
Ing. Mg. Sc. Hugo Huanuqueño Coca	**Ing. Mg. Sc. Enrique Aguilar Castellanos**
MIEMBRO	**MIEMBRO**

LIMA – PERÚ

2021

DEDICATORIA

A Dios por el milagro de la vida y el apasionante trabajo que nos encomendó, comprenderla. A mi familia por sus diversas perspectivas e incesante apoyo. A mis amigos por sus valiosos consejos y tiempo.

A mi madre Lidie Memcy Hinostroza Armas por enseñarme que la vida continúa por buena o mala que parezca, el trabajo la dignifica.

AGRADECIMIENTO

A Elizabeth Heros y José Hernández por la oportunidad de trabajar bajo su guía, y por ser ejemplo de diligencia en el campo de la investigación.

Al Proyecto Nacional de Innovación Agraria (PNIA) por el financiamiento de este proyecto.

A la Universidad Nacional Agraria La Molina por todas sus implicancias.

Al Programa de Investigación y Proyección Social en Cereales y Granos Nativos por permitirme el uso de sus instalaciones y equipos.

Al ingeniero José Lau por su apoyo en la ejecución del proyecto.

A Alberto Lau por su amistad, confianza y buenos deseos.

A Andrea Torres por su cariño, motivación y compañía durante el proceso.

A la familia de Rosa Cotrina y José Sánchez por su hospitalidad durante mi estancia en la zona y por su invaluable amistad.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN …… 1

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades …….. 3

2.1.1. Cultura del arroz …… 3

2.1.2. Clasificación taxonómica …….. 4

2.2. El cultivo del arroz ……... 4

2.2.1. Fenología ……... 4

2.2.2. Características del cultivo …….. 6

2.2.3. Componentes de rendimiento …… 11

2.2.4. Calidad molinera …… 13

2.2.5. Variedades cultivadas en el Perú ……... 14

2.2.6. Métodos de siembra ……... 15

2.2.7. Densidad de siembra …….. 16

2.3. Mejoramiento genético ……. 17

2.3.1. Mutagénesis …… 17

2.3.2. Historia de las mutaciones …….. 18

2.3.3. Logros alcanzados …….. 19

III. METODOLOGÍA

3.1. Ubicación del área experimental ……... 22

3.1.1. Coordenadas geográficas ……... 22

3.1.2. Características edafoclimáticas …….. 22

3.2.Materiales ……..... 24

3.2.1. Material genético ……... 24

3.2.2. Material de campo ……. 24

3.2.3. Material de laboratorio …….. 24

3.3.Métodos ……..... 25

3.3.1. Factores en estudio ……..... 25

3.3.2. Hipótesis ……..... 25

3.3.3. Diseño experimental …….. 25

3.3.4. Croquis del campo ……. 28

3.3.5. Conducción del experimento ……. 28

3.4. Variables evaluadas ……..... 30
3.4.1. Rendimiento de grano ……..... 30
3.4.2. Materia seca ……... 30
3.4.3. Índice de cosecha ……... 30
3.4.4. Altura de planta …….. 31
3.4.5. Longitud de panícula …….. 31
3.4.6. Precocidad …….. 31
3.4.7. Componentes de rendimiento …… 31
3.4.8. Características biométricas del grano …… 32
3.4.9. Calidad molinera …… 33
3.4.10. Índice de translucencia …….. 33
3.4.11. Dispersión alcalina ……..... 33
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN
4.1. Rendimiento de grano …….. 35
4.2. Materia seca ……. 38
4.3. Índice de cosecha ……. 39
4.4. Altura de planta …… 40
4.5. Longitud de panícula …… 42
4.6. Precocidad …… 43
4.7. Componentes de rendimiento …….. 44
4.8. Características biométricas del grano …….. 51
4.9. Calidad molinera ……. 51
4.10. Índice de translucencia ……... 53
4.11. Dispersión alcalina ……. 54
V. CONCLUSIONES ……... 55
VI. RECOMENDACIONES …….. 56
VII. BIBLIOGRAFÍA ……. 57
VIII. ANEXOS …….. 62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características morfológicas en cultivares de arroz de alto rendimiento …… 7

Tabla 2: Factores en estudio …….. 26

Tabla 3: Densidades de siembra …… 29

Tabla 4: Clasificación de granos de arroz pilado, según su longitud y forma …….. 32

Tabla 5: Escala para la identificación de formaciones tizosas …….. 33

Tabla 6: Categorías de temperaturas de gelatinización según grado de dispersión ….. 34

Tabla 7: Rendimiento en grano alcanzado por cada densidad de siembra …… 35

Tabla 8: Rendimiento en grano alcanzado por cada genotipo …….. 36

Tabla 9: Componentes de rendimiento según genotipo …… 45

Tabla 10: Componentes de rendimiento según densidad de siembra …….. 48

Tabla 11: Coeficientes de correlación de Pearson ……... 50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo del cultivo de arroz …….. 5

Figura 2: Ubicación y área de trabajo ……..... 22

Figura 3: Histórico de radiación solar de febrero-junio en los últimos 3 años ……. 23

Figura 4: Croquis de parcelas ……... 28

Figura 5: Rendimiento según genotipo ……. 37

Figura 6: Materia seca según genotipo ……. 38

Figura 7: Índice de cosecha según genotipo ……. 40

Figura 8: Altura de planta según genotipo …… 41

Figura 9: Longitud de panícula según genotipo …… 42

Figura 10: Días a la floración según genotipo …….. 43

Figura 11: Regresión Número de panículas por metro cuadrado vs. Rendimiento ... 46

Figura 12: Regresión peso de mil granos vs. Rendimiento …… 47

Figura 13: Regresión número de granos por panícula vs. Rendimiento …… 49

Figura 14: Rendimiento de molinería según genotipo ……... 52

Figura 15: Rendimiento de grano entero según genotipo …….. 53

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Análisis de Varianza Rendimiento y test de Duncan a un nivel de significación de 0.05 …… 62

Anexo 2: Análisis de Varianza Días al 50% de floración y test de Duncan a un nivel de significación de 0.05 …….. 63

Anexo 3: Análisis de Varianza Materia seca y test de Duncan a un nivel de significación de 0.05 ……. 64

Anexo 4: Análisis de Varianza Índice de cosecha y test de Duncan a un nivel de significación de 0.05 ……... 65

Anexo 5: Análisis de Varianza Altura de planta y test de Duncan a un nivel de significación de 0.05 …… 66

Anexo 6: ANVA Longitud de panícula y test de Duncan a un nivel de significación de 0.05 …….. 67

Anexo 7: Análisis de Varianza Número de panículas por metro cuadrado y test de Duncan a un nivel de significación de 0.05 . …… 68

Anexo 8: Análisis de Varianza Número de granos por panícula y test de Duncan a un nivel de significación de 0.05 …… 70

Anexo 9: Análisis de Varianza Peso de mil granos y test de Duncan a un nivel de significación de 0.05 …… 71

Anexo 10: Análisis de Varianza de Porcentaje de esterilidad y test de Duncan a un nivel de significación de 0.05 . …… 72

Anexo 11: Análisis de Varianza Longitud de grano y test de Duncan a un nivel de significación de 0.05 …… 73

Anexo 12: Análisis de Varianza Ancho de grano y test de Duncan a un nivel de significación de 0.05 …… 74

Anexo 13: Análisis de Varianza Espesor de grano y test de Duncan a un nivel de significación de 0.05 …… 75

Anexo 14: Análisis de Varianza Rendimiento de molinería y test de Duncan a un nivel de significación de 0.05 …… 76

Anexo 15: Análisis de Varianza Porcentaje de granos enteros y test de Duncan a un nivel de significación de 0.05 …… 78

Anexo 16: Análisis de Varianza Porcentaje de granos quebrados y test de Duncan a un nivel de significación de 0.05 …… 79

Anexo 17: Análisis de Varianza Índice de translucencia y test de Duncan a un nivel de significación de 0.05 ……. 80

Anexo 18: Coeficientes de correlación de Pearson entre todas las variables evaluadas .. 81

Anexo 19: Características morfológicas, rendimiento y componentes de rendimiento obtenidos por cada tratamiento …… 85

Anexo 20: Análisis de suelos …….. 86

RESUMEN

El presente trabajo de investigación en arroz se llevó a cabo en el valle Jequetepeque, en la provincia de Pacasmayo, La Libertad. Bajo un sistema de siembra directa, se estudiaron cinco (5) genotipos mutantes provenientes de la variedad Amazonas en interacción con tres (3) densidades de siembra diferentes de 60, 80 y 100 $kg.ha^{-1}$ de semilla. Se emplearon como testigos los cultivares comerciales Tinajones e IR43. Los factores densidad de siembra y genotipo se dispusieron en el campo mediante un diseño de bloques en parcelas divididas con tres repeticiones. A través del experimento se comprobó la superioridad productiva de las líneas mutantes sobre las variedades comerciales. Además, la calidad de granos obtenida con los mutantes resultó comparable a la de las variedades comerciales más difundidas en la zona costera del Perú. Asimismo, a un nivel estadístico de 0.05, se concluyó que los rendimientos alcanzados por las tres (3) densidades de siembra propuestas no presentaron diferencias significativas. El experimento se manejó durante el primer semestre del año 2017, periodo que estuvo influenciado por la ocurrencia del fenómeno "El Niño". La productividad de los genotipos mutantes sobrepasó la obtenida por los cultivares comerciales bajo las mismas condiciones. El genotipo mutante LM3AS 339 alcanzó el mayor rendimiento de grano con 8865 $kg.ha^{-1}$, mientras que los cultivares comerciales Tinajones e IR43 obtuvieron 5933 y 6439 $kg.ha^{-1}$, respectivamente. En porcentaje de granos enteros, el mutante LM3AS 160 logró el valor máximo con un 66% seguido de los cultivares testigo. Si bien los genotipos mutantes no lograron superar en calidad molinera a las variedades comerciales de alta calidad, estos alcanzaron valores muy cercanos y todos sobrepasaron el 70% de rendimiento de grano pilado.

Palabras clave: Mutantes, arroz, rendimiento, calidad, densidad de siembra, componentes de rendimiento, macollos, Amazonas, siembra directa.

ABSTRACT

The present research work in rice was carried out in the valley of Jequetepeque, in the province of Pacasmayo, La Libertad. In a direct seeded rice system, five (5) mutant genotypes were studied in interaction with three (3) different seeding rates of 60, 80 and 100 kg of seed per hectare, using as check varieties two commercial varieties, Tinajones and IR-43. Both factors were organized in the field through a split plot design with three repetitions. Through the experiment, the mutant lines achieved superior productivity compared to the check varieties. Moreover, the grain quality obtained by the mutant rice was similar to the most widespread varieties in the coastal zone of Peru. Also, at a statistical level, it was concluded that the yields achieved by the three (3) proposed seeding rates did not show significant differences (or interactions). The experiment was conducted during the first semester of 2017, a period that was influenced by the occurrence of the 'El Niño' phenomenon. The productivity of mutant genotypes surpassed the obtained by commercial varieties under the same conditions. The mutant genotype LM3AS 339 reached the highest grain yield with 8865 $kg.ha^{-1}$, while the commercial varieties Tinajones and IR-43 reached 5933 and 6439 $kg.ha^{-1}$, respectively. The mutant LM3AS 160 obtained the highest percentage of head rice with 66% followed by the check varieties. Although the new genotypes did not manage to overcome commercial varieties' high milling quality, they reached very close values, all of them surpassing 70% of the total grain milled.

Keywords: Mutants, rice, yield, quality, density of sowing, yield components, tillers, Amazonas, direct seeding.

I. INTRODUCCIÓN

La agricultura es una de las actividades socioeconómicas más importantes para el ser humano. Durante los periodos de domesticación el hombre ha seleccionado especies que por sus características tienen mayor utilidad para él; una de esas especies es el arroz. En la actualidad, el arroz es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial ya se produce en todos los continentes, y alimenta a más de la mitad de la población mundial (FAO, 2019; Wei et al., 2013).

La alta demanda de este cereal ha contribuido con el desarrollo de nuevos cultivares de mayor productividad y calidad. El avance en los métodos de obtención de nuevos cultivares ha logrado que se desarrollen líneas de mejor comportamiento en menos tiempo, contribuyendo con la satisfacción de la demanda creciente de arroz. Actualmente, los avances tecnológicos alcanzados en genética hacen que la agricultura sea una fuente de recursos ingentes en materia de investigación y desarrollo para las naciones (Khanh et al., 2021).

La existencia de variedades mejoradas y un adecuado manejo de las mismas pintan un panorama optimista en la producción de arroz en el Perú. En nuestro mercado hay cultivares con buen valor agronómico, adaptadas a los distintos ecosistemas donde se produce este cereal; sin embargo, el cambio climático y las malas prácticas agrícolas amenazan la sustentabilidad de este cultivo, y ponen en riesgo la continuidad de muchos agricultores arroceros. Es por ello por lo que esta investigación plantea el estudio de cinco (5) líneas promisorias sembradas a tres densidades distintas para determinar el o los genotipos que alcancen el mayor rendimiento y calidad de grano. Asimismo, se busca determinar la mejor respuesta a las tres densidades de siembra propuestas con la finalidad de que una o más de estas líneas mutantes pueda ser liberada y utilizada por los agricultores.

Objetivo General

- Determinar los rangos óptimos de semilla en siembra directa para líneas mutantes de arroz de bajo macollamiento.

Objetivos Específicos

- Seleccionar mutantes de alto rendimiento en grano con características agronómicas mejoradas.
- Determinar densidades óptimas de semilla para alcanzar máximos rendimientos en siembra directa.
- Identificar mutantes de calidad molinera superior a 60% de grano entero con alto índice de translucencia.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Generalidades

El arroz (*Oryza sativa* L.) es uno de los cultivos más importantes en el mundo. Solo el arroz, trigo y maíz, en conjunto, representan el 60% de la producción mundial de alimentos, siendo el arroz el principal alimento consumido por el 50% de la población. En países en desarrollo es la principal fuente de alimento, y desde el año 1960 al 2010 su producción ha mostrado una tasa de crecimiento anual de 2.5% en promedio (Wei et al. 2013). Se produce arroz en África, América, Europa, Asia y Oceanía. En el Perú, por su importancia socioeconómica y nutricional, es el tercer producto en área sembrada y cosechada representando más del 10% del área cultivada. Su cultivo, en nuestro país, se concentra entre los paralelos 3° y 16° de latitud Sur (Heros, 2012; MINAGRI, 2019).

2.1.1. Cultura del arroz

El arroz es un cultivo altamente difundido a nivel global. Se produce arroz tanto en los trópicos de cáncer y capricornio como en la zona intertropical donde se encuentra nuestro país. (Heros, 2012; MINAGRI, 2019). Recientes descubrimientos han demostrado que los valles influenciados por los ríos Yangtze y Mekon (China) son los centros de origen primario de la especie *O. sativa*; mientras que el Delta del Rio Níger (Nigeria) es considerado como centro de origen primario de *O. glaberrima*. En el consenso sobre la biología del arroz se establece como centro de diversificación al área comprendida entre Assam (India) y Bangladés, y Birmania y Tailandia del Norte. Dichas regiones están caracterizadas por su heterogeneidad hídrica y topográfica. Finalmente, la diversificación del cultivo en zonas tan heterogéneas ha hecho posible que se produzca arroz desde zonas tan frías como las montañas de Nepal hasta los calurosos desiertos de Pakistán, Irán y Egipto (Tripathi, 2011).

.

2.1.2. Clasificación taxonómica

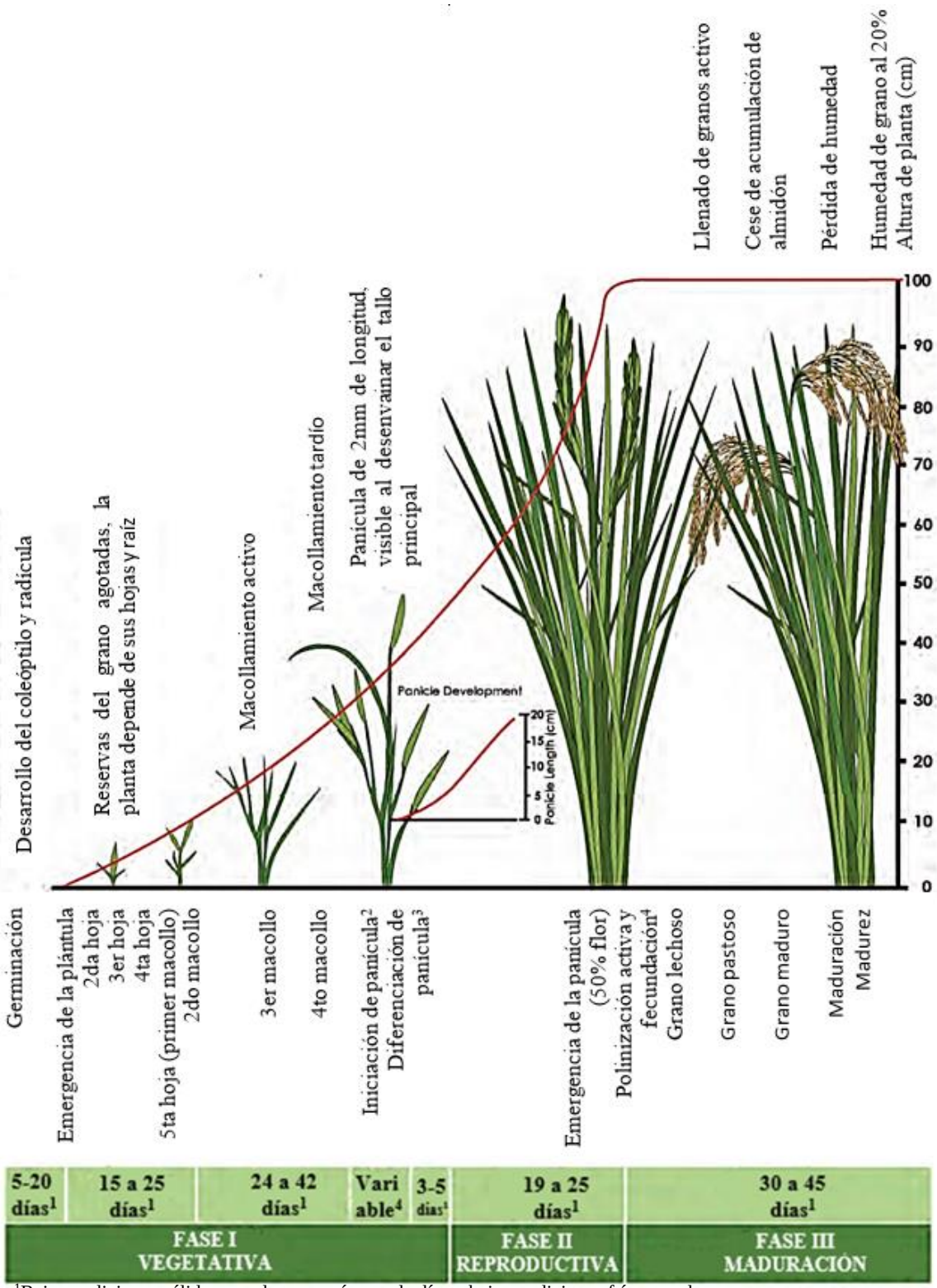
El arroz pertenece a la división Magnoliophyta, clase Liliopsida, subclase Commelinidae, orden Poales, familia Poaceae, subfamilia Ehrhartoideae, tribu Oryzeae, género *Oryza,* especie *Oryza sativa* L. Cerca de 20 especies válidas están distribuidas principalmente en los trópicos húmedos de África, sur y sudeste asiático, sur de China, Sur y Centro América, y Australia. Las especies más importantes son *Oryza sativa* y *O. glaberrima,* este último crece espontáneamente en algunos países del oeste de África (De Datta, 1981).

De la especie *Oryza sativa* L. se subdividen 3 grupos o tipos de arroz: índica, japónica y javánica. El arroz de tipo índica se cultiva en los trópicos; son de mayor altura que otras variedades, macollamiento denso, hojas largas e inclinadas de color verde pálido, y grano de mediano a largo. El arroz de tipo japónica tiene hojas erectas de color verde intenso y una capacidad de macollamiento menor que el de tipo índica. Con respecto al nitrógeno, las plantas de tipo japónica presentan mayor respuesta al nitrógeno que las de tipo índica. El arroz de tipo índica es insensible al fotoperiodo y tolera bajas temperaturas. Sus granos son cortos y anchos, y su bajo contenido de amilosa los hace pegajosos y con tendencia a desintegrarse en la cocción. El arroz de tipo javánica es morfológicamente similar al de tipo japónica, pero sus hojas son más anchas y pubescentes, emiten pocos macollos, y la planta es fuerte y rígida. Las plantas son insensibles al fotoperiodo y sus granos aristados (Degiovanni et al., 2010).

2.2. El cultivo del arroz

2.2.1. Fenología

El arroz es una planta herbácea cuyo tallo redondo y hueco está compuesto por nudos y entrenudos. Los tallos están articulados a la base formando un ramal de estos a los cuales se les denomina “macollos”. Sus hojas angostas, planas y sésiles se encuentran unidas al tallo a través de la vaina, que inicia en un nudo y envuelve parte del tallo. El ciclo de vida del arroz (figura 1) está dividido en 3 fases, estas son: vegetativa, reproductiva y de maduración (Moldenhauer et al., 2019).



[1]Bajo condiciones cálidas use el menor número de días y bajo condiciones frías use el mayor.
[2]La fase reproductiva empieza con la iniciación de la panícula.
[3]Fase III inicia cuando el 50% de flores están polinizadas.
[4]Tiempo variable - 0 a 25 días (depende del cultivar).

Figura 1: Ciclo del cultivo de arroz

FUENTE: De Datta, 1981.

La **fase vegetativa** se caracteriza por un rápido crecimiento y desarrollo de la estructura vegetativa de la planta. Inicia con la siembra, pasando por la emergencia de las primeras hojas y macollos, máximo macollamiento hasta la iniciación de la panícula. Durante la producción de macollos, los factores ambientales que controlan dicha producción son la distancia entre plantas, la radiación solar y la disponibilidad de nutrientes del suelo. La fase vegetativa dura aproximadamente 75 días; dependiendo de las características varietales y condiciones climáticas, este periodo puede ser más largo o corto (Degiovanni et al. 2010; De Datta, 1981).

La **fase reproductiva** del arroz se caracteriza por la elongación del tallo, la reducción del número de macollos, emergencia de la hoja bandera, embuchamiento, emergencia de la panícula y floración. El periodo de duración de esta fase es menos variable que el de la fase vegetativa, sin embargo, la sensibilidad a condiciones climáticas extremas se expresa a nivel fisiológico en la fertilidad de las espiguillas, y en sus características morfológicas. Por lo general se completa la fase reproductiva en 30 días en la mayoría de las variedades cultivadas en climas tropicales (Fageria, 2007; De Datta, 1981).

La **fase de maduración** comprende el llenado de granos hasta la maduración fisiológica, y su duración es de aproximadamente 30 días. Esta fase es sensible a condiciones ambientales adversas como el déficit hídrico, baja radiación solar, deficiencia de nitrógeno, temperaturas extremas y el ataque de patógenos; cuya incidencia podría aumentar la esterilidad de los granos (Fageria, 2007).

2.2.2. Características del cultivo

La obtención de variedades de alto rendimiento es el objetivo principal de todo programa de fitomejoramiento (Jennings et al. 1981). En este sentido, para obtener variedades de alto rendimiento es necesario, primero, determinar cuáles son los factores externos que lo limitan. Numerosos estudios han sido conducidos en búsqueda de tales factores encontrándose la fertilización nitrogenada como una de las más importantes. La relación encontrada entre las características morfológicas del arroz y su alta respuesta a fertilización nitrogenada condujo al "concepto de tipo de planta" lo cual se estableció como un objetivo central en el fitomejoramiento de alto rendimiento. (Jennings et al. 1981; Yoshida, 1972).

Yoshida (1972) resume una serie de características deseables para una variedad de alto rendimiento. Estas cualidades morfológicas relacionadas a un alto rendimiento potencial fueron establecidas a través de un juicio basado en consideraciones fisiológicas.

Tabla 1: Características morfológicas en cultivares de arroz de alto rendimiento

Órgano vegetal	Caracteres deseables	Efecto sobre la fotosíntesis y la producción de grano
Hoja	Gruesa	Asociado con un hábito más erecto. Tasa fotosintética por unidad de área más alta.
	Corta y angosta	Asociado a un hábito más erecto. Distribución de hojas en el follaje.
	Erecta	Incrementa el área superficial expuesta al sol, permitiendo así una mayor distribución de la luz incidente.
Tallo	Corto y rígido	Previene el tumbado.
Macollo	Vertical	Permite un mayor ingreso de luz a la canopia.
	Buen macollamiento	Adaptado a un amplio rango de espaciamientos; capaz de compensar espacios vacíos; permite el rápido desarrollo del área foliar (arroz trasplantado).
Panícula	Baja esterilidad en altos niveles de nitrógeno	Permite el uso de mayor cantidad de nitrógeno.
	Alto índice de cosecha	Asociado con altos rendimientos.

FUENTE: Yoshida, 1972.

Estas características sin duda alguna han sido valoradas en cada estudio de mejoramiento genético en arroz, y ciertamente han dado resultados muy favorables para la obtención de cultivares de alto rendimiento. Para efectos del presente estudio, nos enfocaremos en las características modificadas genéticamente en el material de origen Amazonas.

Altura de planta: En el cultivo de arroz se define como la distancia entre la superficie del suelo y la parte más alta de la panícula más alta. La altura es una característica predeterminada genéticamente; no obstante, también está influenciada por factores ambientales. La radiación, en cuanto a factores abióticos, es uno de los principales factores que influye sobre la longitud del tallo. La fertilización va en segundo lugar ya que también afecta el crecimiento mediante el balance hormonal. Pero, el factor genético es en mayor determinante. De hecho, la heredabilidad del enanismo es alta, fácil de identificar, seleccionar y recombinar con otras características, por ello, es necesaria la obtención de plantas de mediana estatura con buenas características agronómicas y culinarias (Jennings et al. 1979, citado por Fageria, 2007).

La altura de planta es una característica importante ya que responde directamente a la fertilización nitrogenada y también porque está asociada con el tumbado o acame. Los cultivares más antiguos de arroz eran más altos que los cultivares modernos; por lo tanto, eran más susceptibles al acame a altos niveles de fertilización nitrogenada. En la segunda mitad del siglo XX se alcanzó un incremento drástico en los rendimientos de cereales de grano tales como arroz, trigo y maíz debido al menor tamaño de las nuevas variedades y su mayor tolerancia al nitrógeno. Además, estos cultivares más bajos, resistentes al tumbado y de tallos robustos respondían mejor a altas densidades de siembra (Yoshida, 1972, citado por Fageria, 2007).

La incorporación del gen *sd1* responsable del semienanismo logrado en los años 60's produjo un incremento en el índice de cosecha (IC). Antes de la revolución verde, las plantas de arroz eran altas, pajosas, de tallo delgado y presentaban un IC de 0.3. Con la obtención de nuevas variedades semienanas el IC incrementó de 0.3 a 0.5 lo cual produjo un incremento drástico del rendimiento (Zhang, 2017).

Habilidad de macollamiento: Los macollos son tallos que se desarrollan en la axila de las hojas de cada nudo apiñado del tallo principal o de los otros tallos durante el crecimiento vegetativo. La habilidad de macollamiento es la capacidad de formar tallos adicionales al tallo principal, esta capacidad es característica de las poaceas. Los tallos secundarios se generan durante los primeros 40 días, y alcanzan un máximo numérico 10 días antes de la diferenciación (Yoshida, 1972).

A diferencia de otras características, los macollos al provenir de un conglomerado de yemas que no terminan por brotar y emitir un nuevo macollo cada una, pueden alcanzar cantidades

variables en función del distanciamiento entre plantas. Ha sido demostrado que los macollos tienden a cerrar espacios abiertos entre plantas cuando las densidades de siembra son bajas y, por el contrario, limitan su crecimiento numérico cuando la disponibilidad de espacio es limitada. De Datta (1981) sostiene que, en términos de rendimiento, el macollamiento establece una relación directa con la productividad a través del índice de área foliar (IAF) ya que este parámetro se encuentra estrechamente relacionado con la producción de grano.

El índice de área foliar representa el área de la superficie foliar (follaje extendido) por unidad de área superficial del suelo. El IAF esta relacionada a importantes parámetros como radiación fotosintéticamente activa y contenido de clorofila en las hojas. Por ello, ha sido usado como un indicador en cada etapa del cultivo para monitorear su crecimiento y también estimar su rendimiento (Degiovanni et al. 2010, Xing et al. 2019).

En cuanto al mejoramiento genético, una combinación de la habilidad de alto macollamiento y una agrupación compacta de tallos son características deseables para todos los arroceros según indica Jennings et al. (1981). Los tallos compactos, moderadamente erectos, permiten que las macollas reciban mayor radiación solar y, por consiguiente; el sombreamiento mutuo por unidad de superficie es menor. En plantas mejoradas se prefiere un alto macollamiento sobre macollamiento medio o bajo. Como las variedades enanas no tienen un IAF óptimo sino crítico, el macollamiento alto no aporta al crecimiento excesivo de la planta ni el sombrío mutuo.

Precocidad: La precocidad de un cultivar hace referencia al menor tiempo que este necesita para completar su ciclo de vida. Las condiciones climáticas y prácticas agronómicas predominantes determinan el número de días desde la siembra hasta la maduración, relegando la importancia del carácter varietal. Por ejemplo, en los trópicos, el periodo de maduración de las variedades insensibles al fotoperíodo fluctúa desde 90 a 160 días (Jennings et al. 1981).

Aunque se ha encontrado una gran variabilidad en el ciclo de crecimiento del cultivo, diferencias relativamente pequeñas existen en el periodo que va desde la iniciación de la panícula hasta la floración (fase reproductiva) bajo condiciones normales. La variación del periodo de crecimiento se debe, principalmente, a las diferencias en la fase de desarrollo vegetativo. Así, el ciclo de desarrollo del cultivo en plantas muy precoces (menor a 100 días) que crecen en condiciones normales, usualmente, no permite la producción de suficiente área

foliar para sostener una alta producción de panículas con buen porcentaje de granos llenos. Consecuentemente, el rendimiento no es el más alto (De Datta, 1981; Yoshida, 1972).

Por último, Jennings et al. (1981) afirma que, si bien un periodo prolongado del llenado del grano está asociado con altos rendimiento, no se ha probado que sea precisamente el tiempo el responsable de tales rendimientos. El periodo desde floración a la maduración en áreas tropicales es 20 días menor al alcanzado en zonas templadas. Esta diferencia se ve también representada en los mayores rendimientos alcanzados por arroces cultivados en las zonas templadas.

Índice de cosecha: Es la relación entre la materia seca total (rendimiento biológico) y el peso del grano (rendimiento comercial) (Yoshida, 1972). Un crecimiento balanceado es reflejado en un alto índice de cosecha. Una baja incidencia de energía solar y alta temperatura son perjudiciales para el índice de cosecha. Asimismo, plantas altas con excesiva producción de material vegetativo reducen dicha relación (De Datta, 1981). El IC se obtiene mediante la siguiente ecuación, $Y\ econ = K\ econ * Y\ biol$; en donde las variables de la ecuación representan:

Y econ: es el rendimiento económico (rendimiento de grano)

K econ: es el parámetro índice de cosecha

Y biol: es el rendimiento biológico

A través de esta ecuación podemos deducir que se puede mejorar el rendimiento incrementando la producción de materia seca o el índice de cosecha. Sin embargo, es muy difícil cambiar drásticamente este parámetro. Actualmente, los cultivares comerciales presentan un buen índice de cosecha debido a la selección constante de cultivares de menor porte y mejores características de panícula (Yoshida, 1972).

No obstante, el régimen hídrico en la época de lluvias puede disminuir el índice de cosecha. La saturación constante del ambiente reduce la gradiente que promueve la traslocación de fotosintatos; por ello, bajo estas condiciones especiales, la distribución de carbohidratos a la panícula puede no ser óptima para alcanzar un mayor peso (De Datta, 1981).

Materia seca total: La materia seca total es producto del completo desarrollo del cultivo, y está relacionado al rendimiento de grano a través del índice de cosecha. Se genera durante toda la fase vegetativa y se completa durante el llenado de los granos. El índice de área foliar (IAF) y la duración del follaje son determinantes en la producción de materia seca además

de la eficiencia fotosintética. Dicha sentencia establece que características morfológicas como altura, macollamiento y la geometría de las hojas tienen un efecto importante sobre el rendimiento. Es por ello que variedades tardías tienen a presentar mayores índices de materia seca total (Yoshida, 1972). Asimismo, el más alto rendimiento potencial de los híbridos de índica/índica comparados con cultivares naturales de índica fueron atribuidos a la mayor producción de biomasa más que al índice de cosecha (Fageria, 2007).

2.2.3. Componentes de rendimiento

El rendimiento es definido como la cantidad de una sustancia específica (p.e., grano, paja, materia seca total) producida por unidad de área (Soil Science Society of America, 2008).

El rendimiento de grano en el cultivo de arroz hace referencia al peso de los granos con su cubierta fibrosa (arroz pady), cosechados de una unidad de área y secados hasta alcanzar 13% o 14% de humedad (Fageria, 2007).

Los componentes de rendimiento del arroz son variables o características gobernadas por genes cuya expresión, en algunos casos, puede ser influenciada por el manejo agronómico. Estos componentes son; número de panículas por metro cuadrado, número de granos por panícula, peso de mil granos y porcentaje de esterilidad (UCD, 2018).

Número de panículas por unidad de área: El arroz solo emite una inflorescencia por cada tallo formado en la fase vegetativa. Esto quiere decir que al punto de máximo macollamiento se obtiene un potencial de panículas por metro cuadrado. Alcanzada la madurez fisiológica, la planta disminuye drásticamente la translocación de fotosintatos a las partes vegetativas de la planta, y las direcciona a las estructuras reproductivas que empezaran su crecimiento y desarrollo. A pesar de no haber alcanzado un porte suficiente para sostener el desarrollo de una panícula, algunos pequeños macollos que no lograron desarrollarse por completo se diferencian en su meristema apical y emiten una panícula de menor tamaño; mientras que otros simplemente son reabsorbidos o se marchitan y mueren (Fageria, 2007).

El número de panículas por unidad de área es el componente de rendimiento más importante y contribuye con un 89% del total de la variación en rendimiento. Resultados similares fueron reportados por Kenneth et al. (1996) para un óptimo establecimiento de plantas con altos rendimientos de arroz paddy, grano entero y total de arroz pilado.

El número de panículas por metro cuadrado puede ser manipulado de 2 formas directas, variando la densidad de siembra y la modificando genéticamente la capacidad de macollamiento. Bajo determinadas condiciones, más allá de cierta densidad aparecen correlaciones negativas entre los componentes de rendimiento, generando un efecto de compensación que al final determinarán un rendimiento constante o incluso decreciente. Tal correlación parece estar fundada más en la interacción entre plantas que en un factor genético (Yoshida, 1972).

Número de granos por panícula: El número de espiguillas es el segundo mayor componente del rendimiento. Este componente se determina durante la fase reproductiva. Durante el periodo comprendido entre diferenciación floral y floración, la panícula completa su desarrollo y define un 80% de su composición final. Ya que una vez emergida la panoja lo que sigue es el llenado y maduración del grano, se puede decir que en la floración ya se puede estimar el rendimiento partiendo del peso del grano de arroz promedio y el porcentaje de granos vanos (flores estériles) característico de cada variedad (UCD, 2018).

Esta característica puede ser influenciada por las condiciones climáticas o el manejo del cultivo. La panícula dispone de un periodo de tiempo más o menos establecido por la precocidad del cultivar. El acortamiento de dicho periodo puede tener como causas el ataque de plagas, un pobre desarrollo vegetativo y anomalías climáticas. El número de espiguillas puede alcanzar su punto máximo si, durante la fase reproductiva, la radiación solar es alta, la temperatura del aire es relativamente baja y las plantas se mantienen sanas y vigorosas. Estas condiciones climáticas favorecen la actividad fotosintética y producen un incremento de los carbohidratos que se distribuyen en varias partes de la panícula en desarrollo; por lo tanto, tales condiciones pueden asegurar un mayor número de espiguillas (UCD, 2018; Fageria, 2007).

Porcentaje de granos llenos: La cantidad de espiguillas (flores de arroz) vacías determina el porcentaje de granos llenos por panícula. En general, el porcentaje de granos llenos es aproximadamente 85%, aún bajo condiciones favorables. Por tal motivo, conviene saber de dónde provienen los carbohidratos durante la traslocación pues más del 85% del grano de arroz está compuesto por carbohidratos. Y si se busca asegurar un peso adecuado de los granos es importante promover la producción y traslocación de estos (UCD, 2018; Yoshida, 1972).

Yoshida (1972) reportó que, bajo condiciones normales, el 68% de las reservas de CHO's almacenados en las vainas y tallos se mueven hacia los granos, 20% se consume en la respiración durante la fase de maduración y el 12% restante se queda en los órganos vegetativos. Sin embargo, esta cantidad de CHO's sólo representa el 21% de los carbohidratos del grano. El mayor porcentaje de carbohidratos contenidos en el grano proviene principalmente de la fotosíntesis durante el periodo de maduración.

La esterilidad de las espiguillas es mayor con baja radiación solar en la etapa de llenado de grano. Cuando la radiación solar es baja durante esta etapa, la fotosíntesis puede ser insuficiente para producir suficientes carbohidratos que sostengan el crecimiento de todas las espiguillas; como resultado, el número de granos vanos se incrementa (Jennings et al. 1981).

Peso de 1000 granos: En el arroz, el peso de cada grano es una característica muy estable pues en los varios siglos de autofecundación, esta característica ha sido fijada como dominante en la segregación de genes. Por lo tanto, esta característica no está influenciado por el método de establecimiento del cultivo más está determinado por la variedad (Dhital, 2011). El peso de la semilla está determinado en gran parte por el tamaño de la semilla, y esta a su vez es estrictamente controlada por el tamaño de la cáscara. Las variaciones de peso, aunque pequeñas pueden significar grandes variaciones en el peso total a nivel de parcelas (UCD, 2018).

Jennings et al. (1981) sostienen que es posible mejorar el rendimiento aumentando el peso del grano. El peso del grano largo a extralargo fluctúa entre 20 a 35 g por 1000 granos. Este valor en muchas variedades modernas de alto rendimiento fluctúa en el rango de 21 a 23 g/1000 granos. El autor agrega también que características biométricas como el espesor están relacionadas directamente con el peso del grano.

2.2.4. Calidad molinera

El grano partido es definido según la USDA (United States Department of Agriculture) como grano pilado de tamaño menor a tres cuartos del grano entero; de forma complementaria, el grano entero se define como grano pilado cuyo tamaño es por lo menos tres cuartos de un grano completo (Siebenmorgen et al. 2019). Durante el periodo de producción del arroz se han identificado factores que influyen sobre el rendimiento de

molinería y la calidad del grano. Uno de tales factores es la temperatura nocturna del aire durante la formación de la semilla la cual se cree que disminuye la densidad del grano. También es importante el contenido de humedad de la semilla. El contenido de humedad a la cosecha es un indicador del predominio de semillas inmaduras a un alto contenido de humedad a la cosecha y el porcentaje de granos quebrados a un bajo contenido de humedad a la cosecha. Asimismo, semillas defectuosas (agrietadas, deformes, tizosas, etc.) son propensas al quiebre durante el descascarado y el pulido (Degiovanni et al. 2010; Siebenmorgen et al. 2019).

2.2.5. Variedades cultivadas en el Perú

En el Perú se siembra arroz principalmente en la costa, aunque en los últimos años se ha incrementado el área sembrada en zonas de selva alta y selva baja. Dada la extensa área arrocera de nuestro territorio, y por la diversidad de nuestro clima, varios cultivares son empleados para la producción de este grano. Así, para la zona costera, los cultivares empleados son IR-43, Tinajones, Mallares y, recientemente, La Puntilla; mientras que en la zona selvática se produce arroz de los cultivares Capirona, La Conquista, Moro, Ecoarroz, Santa Clara, La Esperanza y Amazonas (Heros, 2012).

Los cultivares más difundidos en la zona costera son IR-43 y Tinajones por sus buenas características agronómicas y culinarias. IR-43 es una variedad de buena calidad culinaria y alto rendimiento potencial (12 $t.ha^{-1}$); no obstante, por su uso intensivo en campos agrícolas, se ha incrementado su susceptibilidad a plagas y enfermedades. IR43 es de porte bajo, aproximadamente 100 cm de alto, su ciclo de vida dura de 145-150 días y su rendimiento de molinería es de 69%. Tinajones tiene características agronómicas semejantes al cultivar IR43 en cuanto a su potencial productivo y porte a la madurez; la diferencia radica en la calidad molinera de la variedad Tinajones, cuyo porcentaje de grano entero alcanza valores superiores a 60%, y su excelente calidad culinaria (Ocampo, 2017).

El cambio climático junto con la rápida adaptación de plagas y enfermedades se han encargado de alargar la brecha entre rendimiento real y rendimiento potencial de cada cultivar. El mejoramiento genético, con los alcances que ha logrado en las últimas décadas, ha visto gran potencial en el uso de tecnologías que permiten manipular características limitantes con alta precisión. Es por esta razón que cultivares como Amazonas, por su buena

calidad de pila, rendimiento y resistencia a plagas y enfermedades, generan altas expectativas en la obtención de cultivares mejorados.

El cultivar Amazonas presenta un periodo de vida desde la siembra hasta la cosecha de 155 a 175 días. Es una variedad de alto rendimiento y buena calidad de grano. Sus progenitores son los cultivares INTI/IR-1721, y fue obtenida en Perú gracias al Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) y al Programa de Investigación en Arroz (PIA-Perú). Otras características importantes de esta variedad son su porte alto, que varía de 115 a 120 cm, su tipo de grano alargado, su resistencia al desgrane, su buen rendimiento potencial de 10 TN y excelente rendimiento de molinería de 74% (COAGRO, 1998).

2.2.6. Métodos de siembra

Siembra directa: Este método de siembra no es el más utilizado en el Perú; sin embargo, presenta ventajas como menor demanda de mano de obra y no requiere de la pregerminación de la semilla. La preparación del suelo es más fina y requiere de suelo seco para la labranza. Aunque en la costa peruana no es el sistema dominante, representa una alternativa importante por su bajo costo. Además, resulta favorable para variedades de bajo macollamiento ya que a través del incremento de densidad de siembra se puede compensar dicha deficiencia (Heros, 2012; Kamboj et al.2012).

Siembra indirecta o trasplante: Es el método de siembra más ampliamente usado en el Perú. Este método consiste en manejar el cultivo en dos etapas consecutivas. La primera se lleva a cabo en camas de almácigo donde la semilla se siembra al voleo; y la segunda es campo definitivo donde se realiza el trasplante. A pesar de las ventajas sobre el control de malezas y la permisibilidad de deficiencias en la nivelación de los suelos, este sistema presenta desventajas que son importantes de resaltar. Estas son; el batido de los suelos, mayor demanda de mano de obra, el tiempo que toma dicha actividad, los sobrecostos que genera y el riesgo que conlleva el tener que caminar descalzo por suelo fangoso (Heros, 2012; Jennings et al. 1981).

2.2.7. Densidad de siembra

El cultivo de arroz es un cultivo con buena respuesta a variaciones en densidad de siembra. Diversos experimentos citados por Yoshida (1972) han demostrado que el cultivo es tolerante a siembra en alta densidad y que los rendimientos mejoran si la capacidad de macollamiento es buena. Es por ello que, en las últimas décadas, los programas de fitomejoramiento han puesto gran énfasis en la producción de cultivares que aseguren altos rendimientos de forma continua, obteniendo como resultado cultivares precoces de buena respuesta a espaciamientos cortos y alta fertilización.

El número de plantas por unidad de área se puede incrementar a través del aumento de semilla por hilera o acortando el espacio entre hileras. Kumar y Ladha (2011) indican que un mayor espaciamiento entre hileras reduce el sombreamiento y el porcentaje de granos estériles; consecuentemente, el rendimiento se ve incrementado. Los autores, además, sugieren que el incremento en cantidad de semilla sembrada no surte efecto significativo sobre el rendimiento ya que el incremento en el número de panículas por unidad de área se ve atenuado por la reducción de granos llenos.

Un alto índice de área foliar (IAF) puede ser alcanzado incrementando la densidad de siembra y el incremento de nutrientes. La planta de arroz ha demostrado ser capaz de producir al menos una panícula por planta aún en poblaciones muy altas. Sin embargo, por encima de cierta cantidad de plantas por unidad de área, el rendimiento se correlaciona negativamente con la densidad de plantas debido al aumento del porcentaje de tallos estériles a causa de autosombreamiento y competencia. Como resultado, la producción de materia seca total se comporta asintóticamente con un incremento en densidad de plantas e índice de área foliar (Yoshida, 1972).

2.3. Mejoramiento genético

2.3.1. Mutagénesis

La mutagénesis es un proceso mediante el cual ocurren cambios heredables y repentinos en la información genética de un organismo inducidos por agentes físicos, químicos o biológicos. Estos cambios naturales o inducidos tienen lugar a nivel de cromosomas o a nivel de genes. La especificidad de los cambios es una de las principales ventajas de la técnica de mejoramiento por mutagénesis inducida. En el mejoramiento mediante inducción de mutaciones se utilizan principalmente 2 tipos de agentes mutágenos; químicos y físicos (Sharma y Singh, 2013; Yusuff et al. 2014).

Los agentes físicos que causan daño a las moléculas del ADN de un organismo vivo son denominados mutágenos físicos o radiación mutagénica. La radiación es definida como energía viajando una distancia en forma de ondas o partículas. Este tipo de agentes comprende varias radiaciones como la radiación ionizante (gamma), radiación particulada (rayos alfa y beta), neutrones rápidos y neutrones térmicos (Sharma y Singh, 2013; Yusuff et al. 2016). Entre los mutágenos físicos comúnmente usados en fitomejoramiento están los rayos X y la radiación gamma (Mba & Shu, 2012).

Los rayos gamma son una forma de radiación ionizante emitida por elementos muy radiactivos como Cobalto 60 y Cesio 137. Esta radiación se caracteriza por tener una longitud de onda muy corta en el espectro de longitudes de onda conocidas hasta el momento (Mba & Shu, 2012).

El modo de acción de la radiación ionizante es la producción de radicales libres, los cuales interaccionan con el ADN, proteínas y lípidos en las células causando alteraciones en su estructura. Cuando la radiación ionizante interactúa con el ADN, causa supresiones cromosomales, reordenamiento, y pérdida de bases, alterando la estructura y función de las proteínas. Consecuentemente, se perciben cambios en el fenotipo (Sharma y Singh, 2013).

2.3.2. Historia de las mutaciones

Las mutaciones han tenido un rol importante en la evolución de las especies (Sharma y Singh, 2013). Reportes de plantas mutantes en China sugieren que desde hace varios siglos las mutaciones han sido un mecanismo que genera variabilidad genética hereditable (Yusuff et al. 2016). Sin embargo, no fue hasta inicios del siglo XX que Hugo de Vries definiera el término mutación como un cambio súbito y heredable en el material genético obtenido no por recombinación o segregación (Foster y Shu, 2012).

Por el año 1928, al descubrirse la acción mutagénica de los rayos X sobre maíz, cebada y trigo, la inducción de mutaciones por radiación avanzó dentro del campo de producción de alimentos. Años más tarde, durante la segunda guerra mundial, se iniciaría el uso de agentes mutagénicos de origen químico como la Azida de Sodio (NaN_3) (Yusuff et al. 2016). Aunque no existe una traducción exacta del término mutation breeding al español, este hace alusión al fitormejoramiento mediante mutaciones y fue inicialmente acuñado por Freisleben y Lein en 1944 (Foster & Shu, 2012). El fitomejoramiento mediante mutaciones o mutation breeding es una técnica que, a través del uso de mutágenos físicos o químicos, genera variabilidad genética en búsqueda de variedades mejoradas (Shu et al. 2012).

Actualmente, la técnica de mutagénesis es la fuente primaria de variabilidad y diversidad genética en el campo de mejoramientos de plantas (Kharkwal, 2012). Iniciando en 1934 con la obtención del primer mutante comercial en el cultivo de tabaco, el número de mutantes comerciales tuvo un ascenso a 484 en diversos cultivos para 1995. Desde entonces se han ido reportando nuevos cultivares en diferentes continentes y en distintas plantas como árboles frutales, plantas ornamentales, arroz, trigo, cebada, etc (Yusuff et al. 2016). Raina et al. (2016) sostienen que, debido a la disminución en la diversidad genética ocurrida en las últimas décadas, han disminuido los programas de selección e hibridación de cultivos, y se han incrementado notablemente los programas de mejoramiento genético mediante la mutagénesis.

2.3.1. Logros alcanzados

En un panorama de hambruna severa y escases de alimentos resultado de la 1ra y 2da guerra mundial, la idea de aumentar la productividad de los cultivos resultaba imperante y urgente. Durante los años 60's, países en vías de desarrollo como India y Pakistán quedaron desprovistos de alimento. En este escenario, se vio utilidad a los avances tecnológicos obtenidos en los periodos bélicos, los cuales fueron usados para tecnificar la producción de alimentos a gran escala. Ello sumado a los logros obtenidos en la selección de variedades con buen potencial económico y los nuevos sistemas de irrigación dio como resultado un incremento drástico y sostenido en la producción de alimentos a nivel mundial. Al periodo comprendido entre los años 60's y 80's se le denominó Revolución Verde (Ceccon, 2008). Tras el intensivo proceso de selección y recombinación, se lograron identificar las características más favorables para las nuevas variedades. Alta respuesta a fertilizantes sintéticos, precocidad, semienanismo, resistencia a plagas y otras características fueron los principales objetivos en programas de fitomejoramiento genético. Finalmente, las nuevas variedades obtenidas lograron alcanzar rendimientos muy por encima de las variedades tradicionales aumentando drásticamente los rendimientos de los principales cereales (Sharma y Singh, 2013).

Las mutaciones tomaron un rol importante en la Revolución Verde ya que a partir de ellas se obtuvieron características deseables en menor tiempo y con alto grado de heredabilidad. Por ejemplo, en arroz, las primeras variedades mutantes KT 20-74 y SH 30-21 fueron desarrolladas en China a finales de los años 50's, que posteriormente serían usadas también como parentales de nuevas variedades obtenidas en programas de fitomejoramiento tradicionales Raina et al. (2016) En el año 1977, en California, se liberaría la variedad Calrose 76 obtenida por la exposición a radiación gamma (cobalto60) de semillas de la variedad Calrose. Este sería el primer arroz mutante semienano cuya respuesta a fertilización pesada era muy alta, y su menor tamaño respecto al progenitor le hacía resistente al tumbado. (Angira et al. 2019)

Características de valor para la agricultura moderna se generaron gracias a la diversidad genética derivada de nuevas líneas mutantes (Yussuff et al. 2014). A finales de los '90s se creó una colección de mutantes obtenidos por inserción en el Instituto Nacional de Ciencias Agrobiológicas (Japón) y en la Universidad Tecnológica de Pohang (Corea). Desde entonces se ha generado una larga cantidad de líneas que supera las 100 000 que han sido compartidas

entre diversos grupos internacionales de investigación para su estudio (Wei et al. 2013). En arroz**,** Bughio et al. (2007) lograron obtener un cultivar de alto rendimiento y buena calidad de grano empleando radiación gamma. La nueva variedad Basmati-370 presentó un incremento del 80% en rendimiento de grano; dicho incremento fue atribuido al semienanismo inducido por el tratamiento mutagénico. Mientras que Chakravarti et al. (2013) evaluaron precocidad, días a la madurez, altura, longitud de panicula, macollamiento efectivo y rendimiento por planta en 2 variedades de arroz aromático sometido a mutagénesis inducida por rayos gamma y metanosulfonato de etilo (EMS). El efecto de la inducción en la M_1 redujo los días a la floración y maduración en 4 días, y también se redujo la estatura en 5 cm, sin embargo, el rendimiento fue muy variable en el material tratado obteniendo un rendimiento promedio menor al control.

Mutantes obtenidos por implantación de iones han sido liberados desde los 90's con buen potencial productivo y otras características favorables. Feng y Yu (2012) reportan que una lista de 12 variedades mutantes de arroz fue liberada entre 1994 y 2006. Variedades como Wandao No. 60, Fengyou 293 y Zhongyou 292 presentan alto potencial de rendimiento, baja estatura, resistencia a enfermedades, precocidad, alta calidad, siembra directa, resistencia a bajas temperaturas y otras características que han permitido su amplia aceptación y producción. Además, otros cultivos como tomate, trigo, maíz y soya han logrado características deseables a través de la mutagénesis. Tal es el caso del tomate 'Lufanqie No. 7' liberada en 1997 por su buen rendimiento y fruto grande; o la soya 'Fengdou 103' que presenta altos rendimientos, grano largo y de color negro.

En el ámbito nacional, cultivares de gran importancia para nuestra agricultura, se han logrado a partir de la inducción de mutaciones en cebada y kiwicha. En el caso de la cebada, el cultivar mutante Centenario de buenas características agronómicas fue obtenido del cultivar comercial Buenaventura. Una de las características más importantes del cultivar mutante es mayor rendimiento (superior en 1 tonelada) y resistencia a la roya amarilla; además presenta mayor precocidad a la madurez (141 días) que el cultivar parental (160 días). Por dicha superioridad, los agricultores han introducido el cultivar Centenario en sus campos satisfactoriamente; con ello, han logrado mejorar sus cosechas en cantidad y calidad. Consecuentemente, sus ingresos se han visto incrementados gracias a los mejores precios de comercialización del cultivar mutante. Asimismo, otro cultivar de gran éxito fue obtenido en kiwicha a partir de un cultivar comercial. El cultivar mutante Centenario ocupa cerca del 40% del área destinada a la producción de kiwicha. Su alto rendimiento y su buena calidad

aseguran una buena producción y comercialización, de esta manera afianza su preferencia entre los productores y en el mercado (Gómez et al., 2009). Finalmente, Rodríguez (2017) realizó la evaluación de ocho líneas mutantes promisorias obtenidas por irradiación de granos de arroz Capirona. Los resultados demostraron una mejora significativa del rendimiento; asimismo, el experimentador encontró que los genotipos mutantes presentaron mayor peso de granos y menor porcentaje de granos vanos en comparación con el cultivar parental.

Paralelamente a los avances en la inducción de mutaciones, la genética logró avances que permitieron entender el efecto directo de los mutágenos sobre el ADN de los organismos expuestos. Por ejemplo, estudios genéticos del semienanismo en arroz demostraron que su origen se encontraba en la supresión de 383 pares de bases (pb) en el gen Giberelina 20-oxidasa también conocido como el gen *sd1*. En otras palabras, El locus sd1 fue el área afectada en la inducción mutagénica lo cual produjo el semienanismo de la variedad parental Calrose (Angira et al. 2019). Adicionalmente, Pinson et al. (2018) han reportado que la supresión del alelo sd1 está ligado a la reducción de las fisuras en variedades de grano largo en los Estados Unidos.

Es evidente que el mejoramiento genético en plantas ha impulsado diferentes áreas de investigación y desarrollo. El fitomejoramiento hoy en día tiene un panorama prometedor y apasionante que trae consigo la capacidad y responsabilidad de trabajar por el bienestar humano, ambiental y económico. Así, nuevos campos como la fenómica pueden habilitar la siguiente generación del mejoramiento fisiológico en cereales, con enfoque en características poco estudiadas como el uso eficiente de la radiación, fotosíntesis y biomasa (Furbank et al. 2019).

III. METODOLOGÍA

3.1. Ubicación del área experimental

El estudio se realizó en el Fundo Luzben, ubicado en la región de La Libertad, Provincia de Pacasmayo, Distrito San José, Valle Jequetepeque, Perú.

Figura 2: Ubicación y área de trabajo

3.1.1. Coordenadas geográficas (UTM) y altitud

- Latitud Sur: 7º 21' 07"
- Longitud Oeste: 79° 24' 59"
- Altitud: 113 m.s.n.m.

3.1.2. Características edafoclimáticas

- Temperatura : 18 – 28.5 °C
- Precipitación : 10 mm

Según indica el análisis de suelos (anexo 20), el campo tiene las características de un suelo franco con alto porcentaje de limo característico de los suelos de la zona. Presenta un pH básico (7.13) y conductividad eléctrica moderada (1.5 dS/m). Los carbonatos no significan problema por su concentración moderada (1.4%), y la materia orgánica constituye una porción dentro de los parámetros normales (2.53%) de un suelo agrícola.

Es relevante mencionar que durante la conducción del proyecto tuvo lugar el fenómeno "El Niño", condicionando un periodo de alta humedad, constantes precipitaciones, baja radiación (figura 3) y alta presión de plagas y enfermedades. Por esta razón, los rendimientos en la zona se vieron afectados reduciendo las cosechas en un 50%. Según el MINAGRI, los rendimientos regionales de La Libertad para los años 2015 y 2016 fueron de 11 t/ha y 10 t/ha, respectivamente mientras que en el 2017 el rendimiento descendió a 6 t/ha. De manera similar, la calidad de grano se vio perjudicada notablemente (Albujar, 2018; Sifuentes et al., 2017).

Los datos históricos de radiación que se presentan a continuación fueron obtenidos de una estación privada ubicada en San Pedro de Lloc de coordenadas 7° 26' 54''(sur), 79° 28' 17'' (oeste).

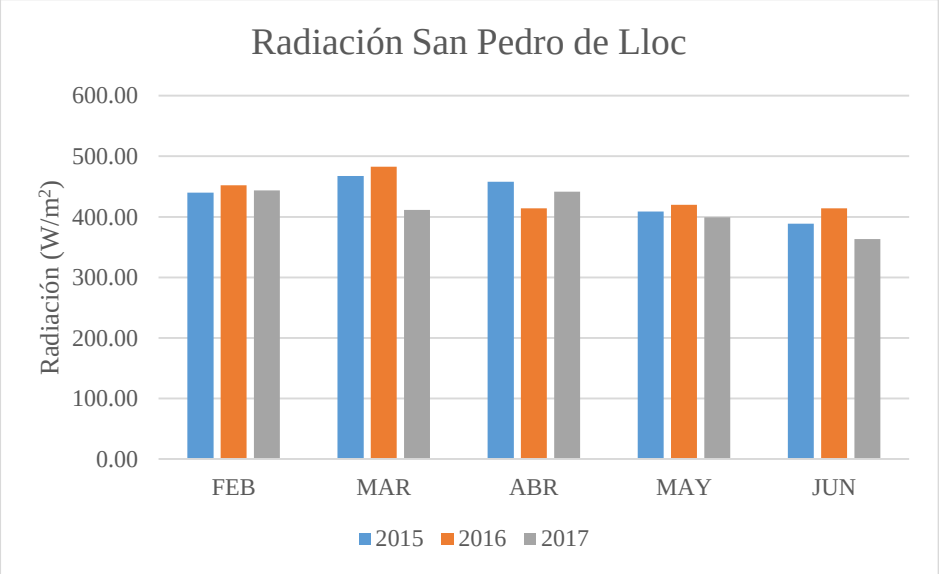


Figura 3: Histórico de radiación solar de febrero-junio de los últimos 3 años

3.2. Materiales

3.2.1. Material genético

Material proveniente del cultivar Amazonas fue sometido a la acción mutagénica de radiación gamma (Co_{60}) para mejorar las características de precocidad. Como resultado se obtuvo un grupo de líneas mutantes con buen tipo de planta y grano, pero aún con un periodo tardío de maduración. Una de las líneas mutantes obtenidas M35-2A, posteriormente nombrada LM3, se trató con azida de sodio (NaN_3) en solución 1 mM para reducir el ciclo del cultivo. Los genotipos resultantes del trabajo que presentaron buen tipo de grano y precocidad fueron seleccionados para continuar con la investigación de este material. En el presente estudio se emplearon las líneas LM3AS 463, LM3AS 339, LM3AS 44, LM3AS 160, LM3AS 547 y los cultivares comerciales IR-43 y Tinajones como testigos.

3.2.2. Material de campo

En la instalación del experimento se utilizaron diversos materiales y equipos. Los materiales empleados en la delimitación de los márgenes del área total y área neta fueron: cinta métrica, estacas, cordel, cal, bolsas de papel y plástico, etiquetas y marcadores. Los equipos que se ocuparon para las labores de nivelación y levantamiento de bordos fueron; tractor con rastra de discos y rufa, bordeadora y palanas. Asimismo, para la aplicación de pesticidas se empleó una mochila de palanca de 20 litros. Por último, para el registro de datos se utilizó un cuaderno de campo y marcadores.

3.2.3. Material de laboratorio

En la fase de gabinete se utilizó un ventilador de granos para separar impurezas de las muestras que se extrajeron de campo. Para las variables mesurables tales como peso, humedad y longitudes se utilizaron los siguientes equipos; balanzas analíticas, medidor de humedad MT-PRO, ventilador de granos, vernier, cinta métrica y calculadora. Se utilizó una

estufa para el secado de granos y materia vegetal, y se procesaron los granos en un molino de prueba Zaccaria. Para almacenar las muestras se utilizaron bolsas de papel Kraft y para registrar, cuadernos y lapiceros.

Los datos obtenidos del experimento fueron analizados con el software estadístico de uso libre InfostStat. Los resultados de análisis de variancia y prueba de rangos múltiples de Duncan se muestran en los anexos.

3.3. Métodos

3.3.1. Factores en estudio

- Densidad de siembra: Se emplearon las siguientes tres (3) densidades de siembra; 60 $kg.ha^{-1}$, 80 $kg.ha^{-1}$ y 100 $kg.ha^{-1}$ de semilla.
- Genotipo: Se emplearon cinco (5) genotipos mutantes y dos (2) cultivares comerciales; LM3AS 463, LM3AS 339, LM3AS 44, LM3AS 160, LM3AS 547, Tinajones e IR43.

3.3.2. Hipótesis general

1. Altas densidades de siembra en genotipos de arroz de bajo macollamiento mejoran los rendimientos en grano con.
2. Altas densidades de siembra en genotipos de arroz de bajo macollamiento no mejoran los rendimientos en grano.

3.3.3. Diseño experimental

El presente ensayo se ajusta a un diseño estadístico de bloques completos en parcelas divididas, en donde el factor A, asociado a la parcela, es la densidad de siembra y el factor

B, asociado a la subparcela, es el genotipo. La distribución del factor A fue aleatoria en cada bloque al igual que el factor B dentro de las parcelas.

Tabla 2: Factores en estudio

Factor	Abreviación	Niveles
Densidad de siembra (A)	D1	60 kg/ha
	D2	80 kg/ha
	D3	100 kg/ha
Genotipo (B)	1	LM3AS 463
	2	LM3AS 339
	3	LM3AS 44
	4	LM3AS 160
	5	LM3AS 547
	6 (testigo)	Tinajones
	7 (testigo)	IR-43

El modelo lineal del experimento se define como:

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \gamma_{ijk} + (\tau\gamma)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

$i = 1, 2, 3 \qquad j = 1, 2, 3 \qquad k = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$

Donde:

Y_{ijk} = Es el valor de una variable obtenido con la *i*-ésima densidad de siembra aplicada a la *k*-ésima línea mutante de arroz en el *j*-ésimo bloque.

μ = Es el efecto de la media general.

τ_i = Es el efecto de la *i*-ésima densidad de siembra.

β_j = Es el efecto del *j*-ésimo bloque.

$(\tau\beta)_{ij}$ = Es el efecto de la interacción entre la *i*-ésima densidad de siembra y el *j*-ésimo bloque (error experimental de las parcelas principales).

γ_{ijk} = Es el efecto de la *k*-ésima línea mutante de arroz dentro de la *i*-ésima densidad de siembra del *j*-ésimo bloque.

$(\tau\gamma)_{ik}$ = Es la interacción de la *i*-ésima densidad de siembra con la *k*-ésima línea mutante.

ε_{ijk} = Error experimental a nivel de subparcelas.

A continuación, las especificaciones del diseño experimental.

Delineamiento del campo experimental

• Diseño	Parcelas Divididas
• Densidad de siembra (parcelas)	3
• Genotipos (subparcela)	7
• Número de repeticiones	3
• Número de parcelas	9
• Número de subparcelas	63
• Área de cada parcela	55 m^2
• Área de cada subparcela	5 m^2
• Área total de parcelas o área neta del experimento	495 m^2
• Área total del ensayo (33m x 20.5m)	676.5 m^2

3.3.4. Croquis del campo

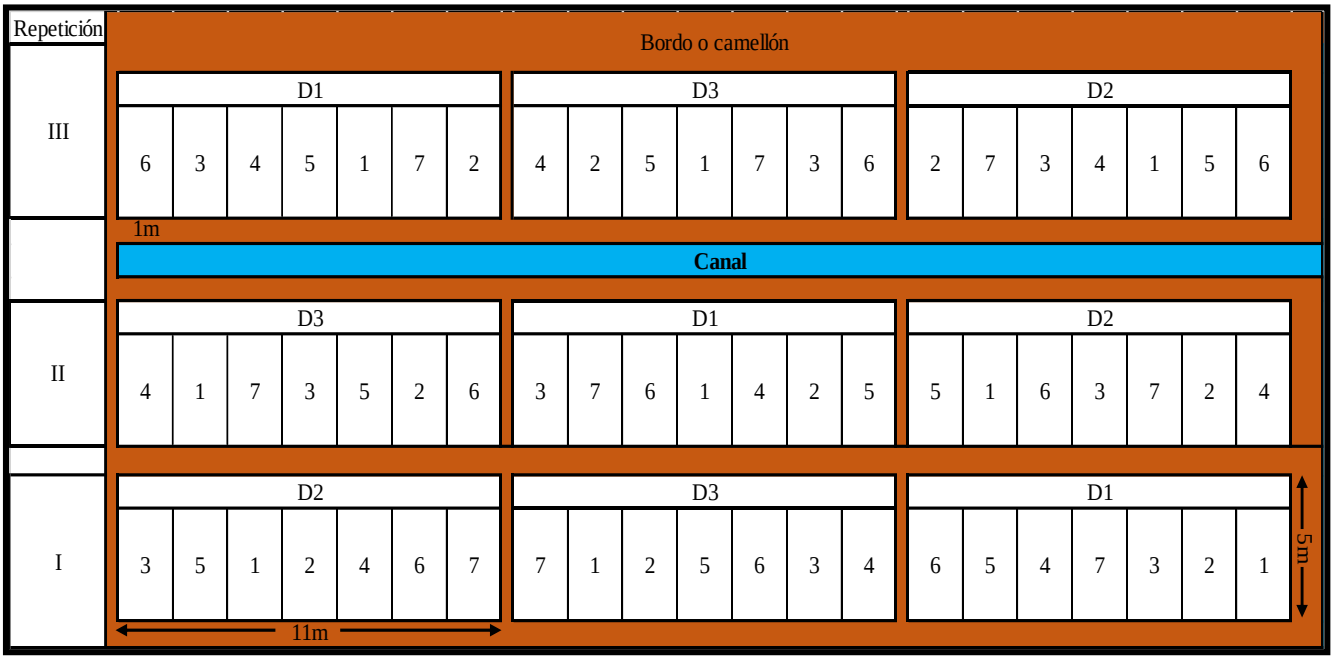


Figura 4: Croquis del campo experimental

3.3.5. Conducción del experimento

Preparación del terreno: Para la preparación del terreno se realizaron las labores de limpieza y posteriormente se realizó la aradura, el raleo y nivelación. En este tipo de siembra es necesario tener el suelo bien mullido por lo que fue necesario hacer dos pasadas de rastra de discos multidentado. Luego, se construyeron los bordos con tractor y, finalmente, se realizó la nivelación de las parcelas haciendo uso de palanas y rastrillos modificados. Justo antes de la siembra se realizaron los surcos de 3 cm de profundidad distanciados a 25 cm.

Siembra: La siembra se realizó el 2 de febrero del 2017. En suelo seco, las semillas se sembraron manualmente a chorro continuo según los pesos correspondiente a cada densidad de siembra (7.5, 10 y 12.5 g por hilera). Cada tratamiento estuvo compuesto por 4 hileras de 5 metros de longitud. Para reducir el efecto borde, se consideraron solo 4 metros lineales de 2 hileras centrales como área neta.

Tabla 3. Densidades de siembra

Abreviación	Kilos de semilla por hectárea	Gramos de semilla por hilera
D1	60 kg/ha	7.5 g/1.25m^2
D2	80 kg/ha	10 g/1.25m^2
D3	100 kg/ha	12.5 g/1.25m^2

Riego y fertilización: El día posterior a la siembra se aplicó un riego ligero de 5cm. Los días siguiente se realizaron constantes refrescamientos para promover la germinación. A los 25 días después de la siembra se inundaron las pozas con una lámina constante de 5 a 10 cm de altura la cual se mantuvo hasta la maduración.

La fertilización se realizó con la fórmula 280 – 60 – 60 faccionada en 2 momentos para el nitrógeno. La primera fertilización fue 140 – 60 – 60 a los 25 días después de la siembra y la segunda fue 140 – 0 – 0 al inicio de la fase reproductiva, 75 días después de la siembra.

Control de malezas, plagas y enfermedades: El control de malezas inició luego del primer riego con la aplicación de un herbicida pre-emergente Pendimethalin a dosis de 2 l/ha. Después, durante el periodo de refrescamientos el control se realizó de manualmente. Debido a la rusticidad de *Cyperus rotundus* (coquito) fue necesario emplear un herbicida selectivo Cyhalofop butil a dosis de 1.5 l/ha con mochila palanca.

Para el control de lepidópteros en estadío larval se empleó Spinetoram a dosis de 0.2 l/ha. Para el control de *Hydrellia wirthi* (mosca minadora) se aplicó Clothianidin (Dantotsu) a razón de 200 g/ha. La presencia de *Tagosodes orizicolus* (Sogata) se mantuvo controlada con aplicaciones de Clothianidin a dosis de 400 g/ha. Cabe destacar que cuando se realizó aplicaciones para Sogata en los primeros 45 días ya no fueron necesarias las aplicaciones para mosca minadora.

Durante el ciclo del cultivo las lluvias promovieron la germinación de hongos foliares como Alternaria, Cercospora y Bipolaris. Los signos causados por el complejo de hongos foliares no causaron mayor daño que manchas foliares de bajo grado. Para su control se aplicó con una fórmula compuesta por Tebuconazole y Trifloxystrobin (Nativo).

3.4. Variables evaluadas

3.4.1. Rendimiento de grano

Para determinar el rendimiento de grano se cosecho manualmente el área neta (0.5m x 4m) de cada subparcela. Se obtuvo el peso de cada muestra en gramos por metro cuadrado, y su porcentaje de humedad con medidor MT-PRO. Con la humedad obtenida se determinó el factor de conversión para ajustar los pesos al 14% de humedad. Finalmente, se extrapolaron los pesos obtenidos a kilogramos por hectárea.

3.4.2. Materia seca

Se tomó una muestra de cada tratamiento en fase de maduración en 2 repeticiones. La muestra, compuesta por la parte aérea de la planta, fue tomada de 50 cm de hilera de la cual se obtuvo el peso fresco. Luego, se tomó una submuestra de 20 tallos y se obtuvo su peso fresco; posteriormente, se colocaron en bolsas de papel Kraft y se secó cada muestra en estufa a 70°C. El secado se realizó hasta que cada muestra de 20 tallos alcanzara un peso constante (peso seco). Finalmente, se extrapolaron los resultados a los 50 cm de hilera inicial para calcular el peso en kilogramos por hectárea.

3.4.3. Índice de cosecha

En dos repeticiones, se extrajo la parte aérea de plantas adultas comprendidas en 50 cm de hilera. Luego, se seleccionaron al azar 20 tallos con hojas, panícula trillada y granos los cuales se colocaron en estufa a 70°C para obtener el peso seco Los datos obtenidos por cada tratamiento se emplearon para obtener el índice de cosecha mediante la siguiente formula.

$$I.C. = \frac{Rdto.Económico}{\text{Rdto. Biológico}} = \frac{\text{Rdto. Grano}}{\text{Rdto. (Grano + Paja)}}$$

3.4.4. Altura de planta

Se midió la distancia desde la base del tallo a la punta de la panícula u hoja bandera de 5 plantas escogidas al azar. Se realizaron las mediciones dentro del área neta ya que en los márgenes las plantas dispusieron del espacio entre tratamientos para extenderse horizontalmente. Al final se obtuvieron 5 mediciones por subparcela en dos bloques en la etapa de maduración.

3.4.5. Longitud de panícula

De las muestras obtenidas para materia seca a la maduración, se seleccionaron 5 panículas al azar las cuales fueron medidas en laboratorio. La medición se realizó desde el nudo ciliar de cada panícula hasta el apículo de la espiguilla más distal, sin incluir aristas. Los datos fueron registrados y promediados para el análisis.

3.4.6. Precocidad

Llegando a la fase reproductiva se pudo observar claramente las diferencias entre los genotipos ya que algunas parcelas empezaban a florear. Para las comparaciones, se registró la fecha cuando en cada subparcela el 50 % de los tallos habían emitido su panícula. La datación se realizó en 2 bloques, y a partir de esta fecha se estimó la fecha de maduración y cosecha de cada genotipo.

3.4.7. Componentes de rendimiento

Número de panículas por metro cuadrado: La densidad de panículas se determinó contando el número de panículas en 50 cm de hilera. Desde que el ancho de cada hilera es fue de 25 cm, el número en cada conteo nos arrojaría el número de panículas por cada 0.125 metros cuadrados. Para las comparaciones se trabajó con el número de panículas por metro cuadrado.

Número de granos por panícula: De cada muestra de 50 cm de hilera se extrajeron 20 panículas y se contabilizó el número de granos. En este conteo se incluyeron tanto granos llenos como granos vanos. Finalmente se promediaron los datos para obtener el número de granos por panícula.

Porcentaje de esterilidad: De la muestra anterior se contabilizó el número de granos vanos sin considerar aquellos que presentaron daño por insecto u hongo. El dato obtenido de este conteo se dividió entre el número de granos por panícula obtenida anteriormente para hallar el porcentaje. Finalmente, se promediaron los resultados para obtener un valor por tratamiento.

Peso de mil granos: Las muestras de cosecha se ventearon para eliminar los granos estériles y vanos por daño biótico a fin de obtener solo granos llenos. De cada muestra, se separaron 1000 granos sin molinar y se rotularon para obtener el peso usando una balanza analítica.

3.4.8. Características biométricas del grano

La longitud, anchura y espesor del grano se obtuvieron usando un vernier. Las medidas fueron tomadas en 10 granos cáscara de cada tratamiento, y fueron expresadas en milímetros.

La denominación por longitud de grano y forma se realizó siguiendo la clasificación establecida por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) como se indica a continuación.

Tabla 4: Clasificación de granos de arroz pilado, según su longitud y forma

Longitud (denominación)	Medida (mm)	Escala	Forma	Relación largo/ancho	Escala
Extralargo	>7.50	1	Delgado	>3.0	1
Largo	6.61-7.50	3	Intermedio	2.1-3.0	3
Intermedio	5.51-6.60	5	Ovalado	1.1-2.0	5
Corto	<5.50	7-9	Redondo	<1.1	7.9

FUENTE: Degiovanni et al, 2010.

3.4.9. Calidad molinera

Los granos de arroz fueron venteados y pesados para obtener uniformidad en las muestras. Se pesó 100 gramos de arroz cáscara al 14% de humedad, provenientes de 2 bloques, para pasar por el proceso de pilado (descascarado y pulido). Este proceso se llevó a cabo en el molino de prueba Zaccaria; como resultado se obtuvo el rendimiento de grano entero y granos quebrados expresados en porcentaje.

3.4.10. Índice de translucencia y apariencia

En dos bloques, se seleccionaron al azar 10 granos pilados de cada tratamiento. Los granos se evaluaron visualmente según la escala numérica de formaciones tizosas y se contabilizaron. Posteriormente, el índice de translucencia se obtuvo mediante la ponderación del número de granos y la escala en la que fueron ubicados.

Tabla 5: Escala para la identificación de formaciones tizosas

Escala	Formaciones opacas
0	Grano translucido
1	Grano con mancha difusa
2	Grano con dorso blanco
3	Grano con centro blanco
4	Grano con panza blanca
5	Grano completamente tizoso

Fuente: Degiovanni et al, 2010.

3.4.11. Dispersión alcalina

Para este análisis se tomaron 10 granos pilados por cada tratamiento de 2 bloques. Cada muestra se colocó en una placa Petri al cual se agregó 10 ml de solución hidróxido de potasio

(KOH) al 1.7%. Las placas se colocaron en estufa a 30°C por un periodo de 23 horas. La escala de dispersión fue tomada del sistema estándar de evaluación del IRRI (2013).

Grado 1, grano inalterado.

Grado 2, grano hinchado.

Grado 3, grano hinchado con fisuras leves.

Grado 4, grano un poco agrietado, con un halo blancuzco alrededor.

Grado 5, grano totalmente abierto, en ocasiones formando una gran masa.

Grado 6, grano casi totalmente desintegrado, difícilmente se observa su forma.

Grado 7, grano totalmente desintegrado.

Tabla 6: Categorías de temperaturas de gelatinización según grado de dispersión

Categoría	**Rango de temperatura (°C)**	**Grado de dispersión alcalina**
Baja	55 – 66	6 – 7
Intermedia	70 – 74	4 – 5
Alta	75 – 79	2 – 3

Fuente: Rice production handbook, 2019

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de nuestro experimento demostraron que la mayor influencia sobre la variabilidad de las características evaluadas provino del factor genético. Ello resulta alentador para los propósitos de nuestro estudio, y promueve el interés para continuar con la experimentación del material empleado. Un resumen de los promedios obtenidos en cada subparcela se muestra en el anexo 19. En adelante se desarrollará el análisis de cada variable evaluada.

4.1. Rendimiento de grano

Mejorar el rendimiento es el objetivo fundamental de todo programa de mejoramiento genético; en ese sentido, el experimento arrojó resultados alentadores con respecto a las líneas evaluadas. Independiente de las densidades de siembra aplicadas, cuatro de los cinco genotipos mutantes alcanzaron rendimientos superiores a los testigos. En cuanto a las densidades probadas, los rangos no generaron diferencias en el rendimiento notables.

Tabla 7: Rendimiento en grano alcanzado por cada densidad de siembra

Factor	Nivel	Rendimiento (kg/ha)
Densidades de siembra	**60 kg/ha**	7891 a
	80 kg/ha	6826 a
	100 kg/ha	7718 a

Prueba de Duncan: Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas

Si bien el análisis de varianza (ANVA) dio como resultado diferencias no significativas entre los niveles de densidad de siembra y su efecto combinado con el genotipo, el factor genético

fue la principal fuente de variabilidad significativa. Como se muestra en el ANVA (anexo 1), existe una alta relación entre el genotipo y el rendimiento en grano. Empleando la prueba de Duncan, a un nivel de significancia de 0.05, se logró identificar dos grupos con rendimientos diferentes. En el primer grupo, de rendimiento superior, se encuentran las líneas mutantes LM3AS 463, LM3AS 339, LM3AS 44, LM3AS 160 y en el segundo están el mutante LM3AS 547 junto con los cultivares testigo Tinajones e IR43. Como se observa en la tabla 8, los rendimientos de los testigos fueron bajos en comparación con los rendimientos anuales promedio. Estos resultados se le pueden atribuir al fenómeno "El Niño" ya que condicionó el periodo de crecimiento del cultivo con lluvias y baja radiación (figura 2). La campaña de arroz 2017 tuvo bajos rendimientos a nivel de valle. Sin embargo, bajo las mismas condiciones, los genotipos mutantes lograron alcanzar rendimientos aceptables superando ampliamente a los cultivares comerciales. En este sentido, es importante destacar las características de los mutantes para alcanzar buenos rendimientos y continuar con los experimentos de este material promisorio.

Tabla 8: Rendimiento en grano alcanzado por cada genotipo

Factor	Nivel	Rendimiento (kg/ha)
Genotipos	**LM3AS 463**	8603 a
	LM3AS 339	8865 a
	LM3AS 44	7964 a
	LM3AS 160	7947 a
	LM3AS 547	6597 b
	Tinajones	5933 b
	IR43	6439 b

Prueba de Duncan: Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas

En la tabla 7 también se puede notar que tanto las líneas mutantes como las comerciales no mostraron diferencias de rendimiento consistentes en respuesta a las densidades de siembra empleadas. Los resultados en este respecto pueden convalidar lo indicado por Kumar y Ladha (2011) quienes sostienen que se puede obtener óptimos rendimientos empleando desde 20 a 200 kg de semilla por hectárea en diversas regiones. En nuestro experimento, es posible que

un efecto compensatorio entre 2 o más componentes de rendimiento haya ocurrido, disminuyendo las diferencias en rendimientos a cada densidad de siembra.

No obstante, la variación de rendimiento causada por las 3 densidades alcanza un promedio de 2 250 kg/ha en los cultivares comerciales Tinajones e IR43 mientras que en los genotipos mejorados la variación es de 985 kg/ha en promedio (anexo 19). Esto da un indicio de que algunos cultivares reaccionan de forma diferente a variaciones en densidad de siembra. Así, por sus características morfológicas, los cultivares de arroz responden de manera distinta a diferentes tratamientos aplicados. Por ejemplo, cultivares de menor estatura pueden soportar mejor altas densidades de siembra y responder positivamente a fertilizaciones más pesadas, es por ello que tienen preferencia sobre cultivares de porte altos (Yoshida, 1972).

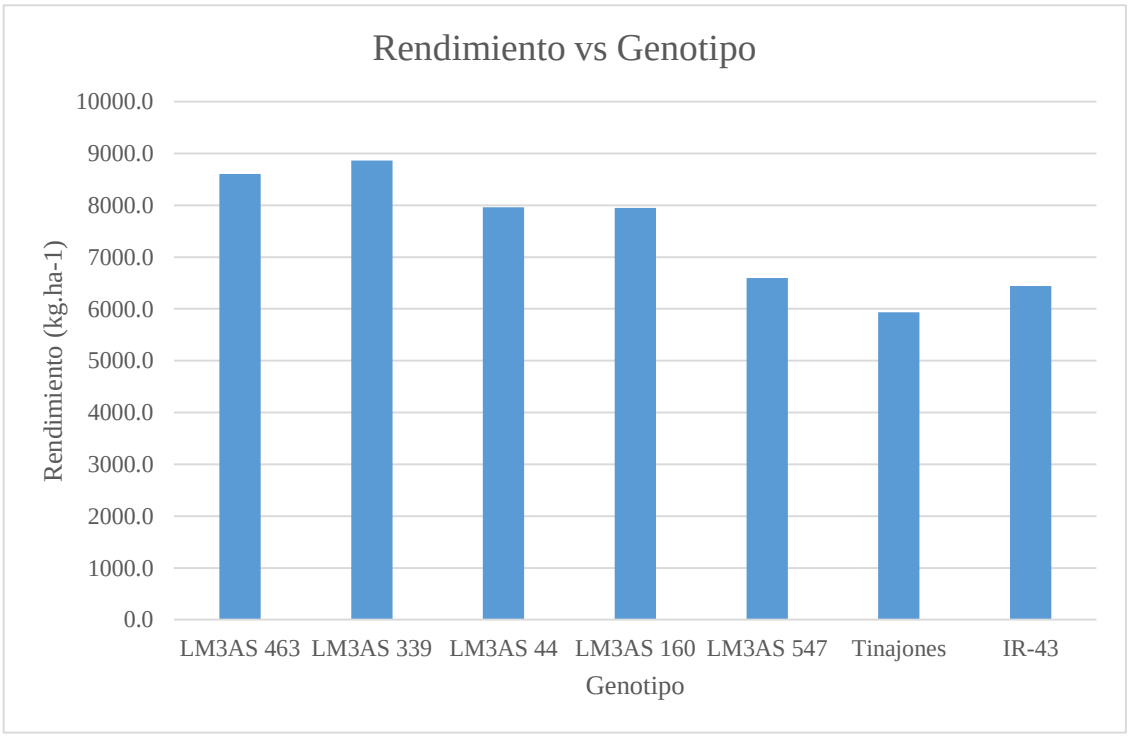


Figura 5: Rendimiento según genotipo

Es importante mencionar que hubo una alta presión de plagas y enfermedades durante la campaña 2017. Este hecho relacionado al fenómeno "El Niño" contribuyó en desmedro de los rendimientos a nivel de región (Albujar, 2018). Una de las principales enfermedades que incidió en dicho periodo fue la hoja blanca. A manera de comentario, se observó que, en comparación con los cultivares comerciales, los genotipos mutantes presentaron menor incidencia de esta enfermedad.

4.2. Materia seca

Los resultados demostraron que tanto el factor densidad como el factor genotipo no generaron diferencias sobre la materia seca obtenida a la maduración. Por la altura de los genotipos mutantes se esperaría que estos produjeran mayor materia seca, sin embargo, los testigos de menor estatura demostraron ser más eficientes en la producción de masa vegetal. Es alentador suponer que a pesar de que la estatura de un cultivar disminuya ello no implique ir en desmedro de la producción de biomasa. Asimismo, mediante la siembra directa, es posible hacer un uso eficiente de semilla ya que no hubo diferencias entre las densidades probadas.

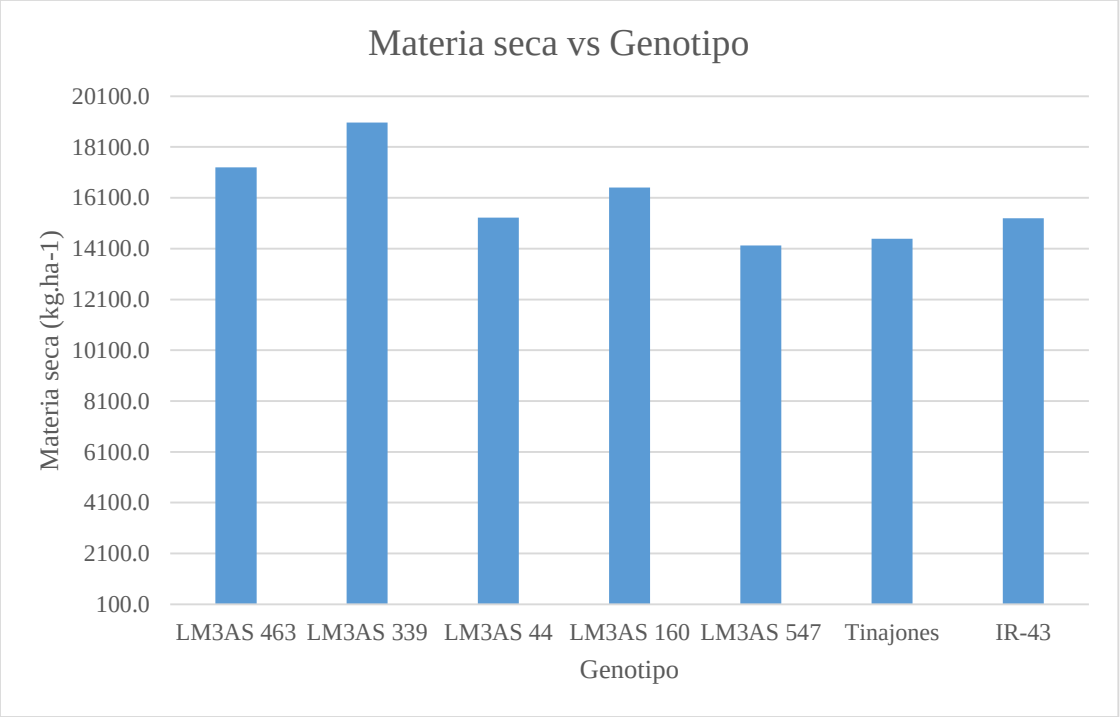


Figura 6: Materia seca según genotipo

Según Yoshida (1972) el rendimiento está relacionado a la materia seca producida por el cultivo. Así, el incremento del rendimiento puede ser alcanzado manipulando la materia seca o el índice de cosecha. Como muestra el análisis estadístico (anexo 2) los mutantes no lograron superar la producción de materia seca de los cultivares comerciales; sin embargo, las líneas mutantes presentaron mejor índice de cosecha. En este punto resulta plausible asumir que los altos rendimientos alcanzados por los genotipos mutantes estén más relacionados al índice de cosecha que a la producción de biomasa. En la tabla 11 se puede ver que existe una correlación significativa entre la biomasa y el rendimiento. El alto valor

(0.92) indica que si se logra aumentar la materia seca de las líneas testeadas se logrará un efecto notable sobre el rendimiento. Así, sumado al buen índice de cosecha se podría obtener excelentes rendimientos.

Por otro lado, se esperaba que a densidades de siembra más altas la producción de materia seca fuera máxima por el aumento en el índice de área foliar; sin embargo, el ANVA arrojó un p-valor mayor al grado de significación. Es posible que, en los niveles de densidad más altos, la competencia interplantas haya limitado la nutrición de cada planta o que la fertilización no fuera la suficiente para sostener una mayor producción de biomasa.

4.3. Índice de cosecha

El experimento arrojó buenos resultados respecto a esta característica. Todos los genotipos mutantes alcanzaron un IC promedio mayor al de los testigos. En la figura 7 se puede observar gráficamente los índices de cosecha que presentó cada genotipo. Los mutantes LM3AS 463 (45%) y LM3AS 339 (44%) fueron los de más alto índice de cosecha, superando estadísticamente en un 5% a los cultivares comerciales que obtuvieron en promedio un índice de 39%. En la tabla 11 se puede ver que existe una relación directa entre el IC y el rendimiento, por lo tanto, es muy probable que los altos rendimientos en los genotipos mutantes se deban a su buen IC. Según Furbank et al. (2019), a través de la reproducción del gen de semienanismo en los principales cereales durante el siglo XX, se ha alcanzado una asíntota en el aumento del IC, sin embargo, es posible ir más allá con el uso de herramientas de mejoramiento genético enfocadas en características fisiológicas como la eficiencia fotosintética.

Además del componente genético, la nutrición también ejerce un efecto importante sobre el IC. Específicamente, un buen suministro de nitrógeno al cultivo mejora el IC según indican Fagetia et al. (2004). En efecto, nuestro experimento demostró que la mayor densidad de siembra (100 kg/ha) tuvo el menor IC (41.8 %) en comparación con las otras 2 densidades, lo cual puede estar relacionado a la menor disponibilidad de nitrógeno por planta.

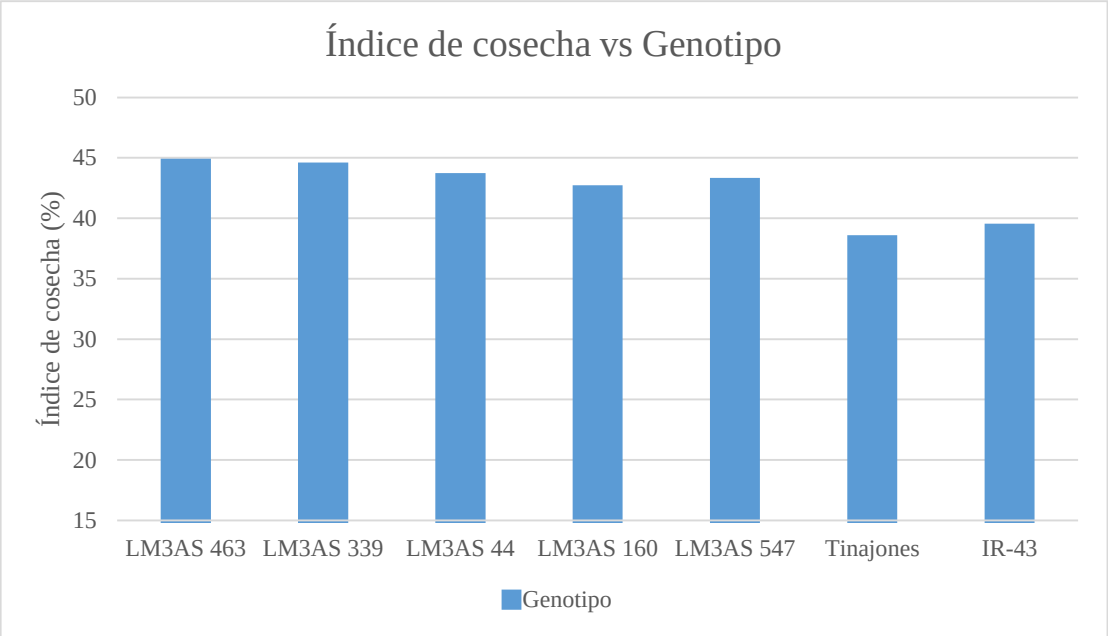


Figura 7: Índice de cosecha según genotipo

En el análisis de correlación de Pearson (tabla 11) entre el índice de cosecha y el rendimiento se encontró una relación significativa (0.38) de importante valor. Este coeficiente parece indicar que los altos rendimientos (campaña 2017) fueron logrados, en parte, por el alto índice de cosecha de los mutantes. En adición, se encontró una relación inversa significativa (-0.36) entre el índice de cosecha y los días al 50% de floración, lo cual hace presumir que las líneas mutantes son más eficientes en la traslocación de carbohidratos hacia los granos independientemente del tiempo del cual disponen para generar estos fotosintatos. Por lo tanto, es un logro importante el hecho de que la precocidad adquirida no haya afectado la capacidad productiva de los mutantes provenientes del cultivar Amazonas.

4.4. Altura de planta

En el anexo 19 se puede ver que los 2 factores del estudio influyeron sobre la altura de las plantas. De los resultados se pudo identificar los mutantes más altos y lo menos, así como también la densidad que indujo a un aparente enanismo en las plantas. Es importante mencionar que durante la cosecha las plantas más altas ya se mostraban inclinadas por el peso de las panículas, y luego de la cosecha las plantas de los márgenes de cada subparcela se empezaron a tumbar.

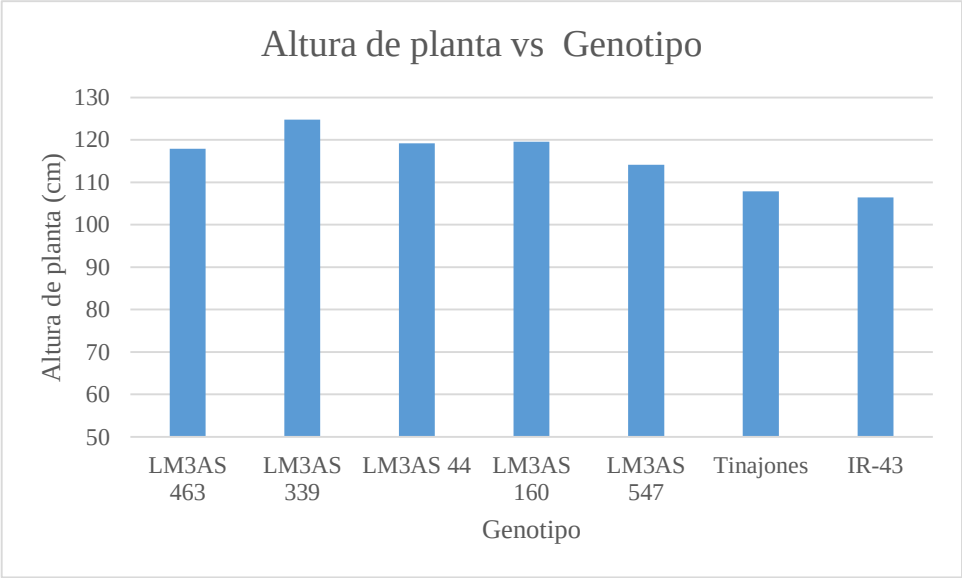


Figura 8: Altura de planta según genotipo

En el experimento se encontraron diferencias significativas causadas tanto por las densidades de siembra como también por el genotipo (p-value<0.05), sin embargo, el efecto de la interacción resulto no significativo. La densidad de 100 kg de semilla/ha^{-1} fue la que obtuvo el menor tamaño de planta. Entre los genotipos, los cultivares comerciales Tinajones e IR-43 son los que desarrollaron menor tamaño con 107.9 cm y 106.5 cm, respectivamente. Asimismo, entre las líneas mutantes, el genotipo LM3AS 339 fue el que presento la mayor altura con 124.8 cm. La altura es una característica varietal que puede ser modificada significativamente por la densidad de siembra tal como demostraron Bozorgi et al. (2011), quienes en sus estudios registraron un incremento de altura a mayor distanciamiento entre plantas. De igual forma, los resultados no permiten afirmar que a mayor densidad de siembra la altura de las plantas tiende a ser menor.

El análisis de los coeficientes de correlación revela una asociación entre la altura de planta y el rendimiento (tabla 11). En este caso es posible que la mayor estatura haya permitido un mejor ingreso de la luz solar al interior de las plantas y entre las plantas (Murata, 1961 citado por Yoshida, 1972). La misma asociación se presenta con la materia seca dando indicios de que los altos rendimientos alcanzados por los genotipos mutantes se encuentran altamente relacionados a la producción de material vegetativo. Por el contrario, en las correlaciones se puede ver una relación negativa (-0.58) entre la altura y los días a la floración. Esta relación se explica por las características varietales de los mutantes, los cuales son de porte intermedio, y presentan precocidad.

4.5. Longitud de panícula

La longitud de panícula estuvo estrictamente controlada por el genotipo. Según los resultados, la longitud de panícula característica del cultivar Amazonas no fue modificada a través de la inducción de mutagénesis en la mayoría de los genotipos. Solo 1 de los mutantes (LM3AS 547) obtuvo una longitud de panícula similar a los testigos, y coincidentemente fue el que obtuvo el menor rendimiento. En contraste, la densidad de siembra no tuvo influencia sobre esta característica.

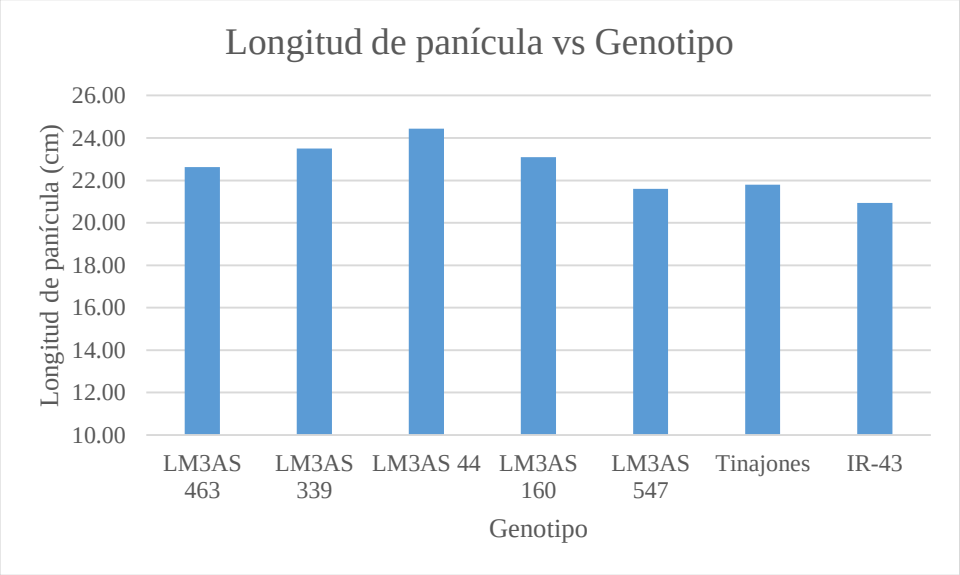


Figura 9: Longitud de panícula según genotipo

Fageria (2007) menciona que el tamaño de la panícula está regulado genéticamente, pero puede ser influenciado por la fertilización nitrogenada. Sustentado por los resultados del ANVA (anexo 6), podemos decir que las variaciones en la longitud de panícula fueron de índole varietal pues la fertilización nitrogenada en todos los tratamientos fue la misma. Los genotipos mutantes LM3AS 339 y LM3AS 44 fueron los únicos mutantes que superaron a los cultivares comerciales con una longitud de panícula de 24.44 cm y 23.5 cm, respectivamente. Asimismo, esta característica resulto tener un grado de correlación significativo (tabla 11) con respecto al rendimiento.

4.6. Precocidad

Los mutantes alcanzaron el 50% de floración en menos tiempo que los testigos según se puede observar en los resultados. Siendo Amazonas un cultivar tardío, la precocidad adquirida es notable y suficiente para competir con variedades relativamente precoces como IR-43 y Tinajones. La densidad de siembra, por otro lado, no genero variaciones en el tiempo de desarrollo de las plantas hasta su floración.

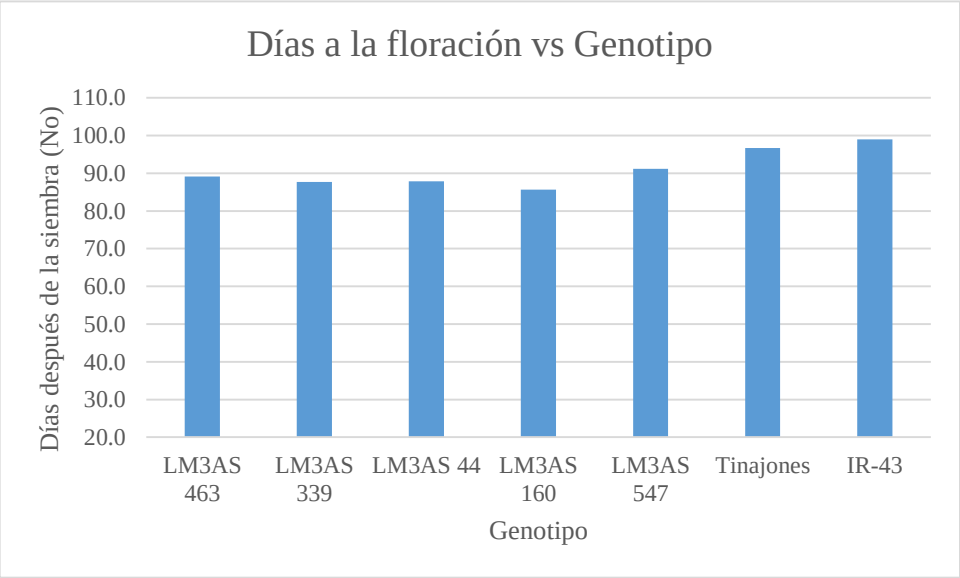


Figura 10: Días a la floración según genotipo

La precocidad es una de las características más buscadas en el mejoramiento genético de diversos cultivos. El acortamiento del ciclo del cultivo reduce sustancialmente los costos de producción por lo que siempre se busca que esta característica no afecte los rendimientos. En este respecto, los resultados del experimento fueron significativos para el factor genético.

Los cultivares comerciales IR43 y Tinajones alcanzaron el 50% de flor a los 99 y 96 días después de la siembra, respectivamente. Entre los genotipos testeados en el estudio estos fueron los más tardíos. Mientras que los mutantes de alto rendimiento florearon en menos días. Así, el mutante LM3AS 160 fue el más precoz con 86 días, seguido del mutante LM3AS 339 con 88 días. Tal parece que la arquitectura de la planta le permite aprovechar de manera eficiente la radiación, pues se encontró correlaciones importantes con el índice de cosecha (-0.36) y el peso de 1000 granos (-0.44). La relación inversa nos indica que estos genotipos en menos tiempo alcanzan mayor peso, hecho que se ve sustentado en un índice

de cosecha mayor. Por el contrario, no se obtuvo influencia significativa por parte del factor densidad de siembra. La floración se alcanzó a los 91 días (promedio) después de la siembra en las tres densidades aplicadas como se ve en el ANVA (anexo 6).

4.7. Componentes de rendimiento

Los genotipos evaluados en el experimento mostraron diferencias importantes en cuanto a componentes de rendimiento. Tres de los cuatro componentes resultaron característicos de cada genotipo. En general, los mutantes tuvieron un buen comportamiento con buena producción de granos por panícula, buen peso de granos y baja esterilidad. Los resultados obtenidos (anexo 19) explican en gran medida la razón de los altos rendimientos en el grupo de líneas mutantes.

El rendimiento de grano en el cultivo de arroz hace referencia al peso de los granos con su cubierta fibrosa (arroz paddy), cosechados de una unidad de área y secados hasta alcanzar 13% o 14% de humedad (Fageria, 2007). Los componentes de rendimiento son características asociadas al rendimiento y permiten que este sea subdividido en estas partes. Estas características son número de panículas por metro cuadrado, número de granos por panícula, peso de mil granos y porcentaje de esterilidad. Los componentes de rendimiento explican el 81.4% de la variación total del rendimiento, sin embargo, este alto grado de relación puede no estar siempre presente (Jennings et al. 1981).

A continuación, se muestran los componentes obtenidos por cada genotipo mutante y comercial. Asimismo, se indican las diferencias a nivel estadístico obtenidos mediante la prueba de comparaciones múltiples de Duncan.

Tabla 9: Componentes de rendimiento según genotipo

Genotipos	Panículas/m^2 (no.)	Granos/panícula (no.)	Esterilidad (%)	Peso de 1000 granos (g)
LM3AS 463	519 a	129 ab	9.95 c	32 a
LM3AS 339	499 a	127 ab	9.98 c	32 a
LM3AS 44	493 a	136 a	8.73 e	32 a
LM3AS 160	488 a	116 bc	8.17 f	31 ab
LM3AS 547	497 a	96 d	12.8 a	30 ab
TINAJONES	479 a	103 cd	9.53 d	29 b
IR – 43	511 a	105 cd	10.55 b	28 b

Prueba de Duncan: Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas

Número de panículas por metro cuadrado: Los resultados del análisis estadístico (anexo 7) indican que el número de panículas por metro cuadrado obtenido por los distintos genotipos mutantes es estadísticamente igual al obtenido por los testigos. El genotipo LM3AS 463 fue el que obtuvo el mayor número de panículas por metro cuadrado con 518 unidades, seguido por el cultivar comercial IR43 con 510. Las diferencias obtenidas en cada tratamiento no fueron consistentes (tabla 8 y 9). Ya que la literatura indica que este componente contribuye con el 60% en la variación del rendimiento se analizó su influencia a través del coeficiente de correlación de Pearson y análisis de regresión (UCD, 2018). La correlación encontrada (-0.07) entre el número de panículas y el rendimiento fue irrelevante (tabla 11). Esto indica que los rendimientos logrados por cada tratamiento no se encuentran ligados a la cantidad de panículas que produjeron. En la regresión, el coeficiente de determinación (0.26) indica que los rendimientos no fueron dependientes del número de panículas, es decir, un mayor número de panículas no determinó un mayor rendimiento. Gráficamente se puede ver el bajo ajuste a la curva de regresión dependiente del número de

panículas por metro cuadrado. Se acredita, entonces, lo establecido por Jennings et al. (1981) acerca de la determinación de los caracteres de la panícula sobre el rendimiento en grano. Según el autor, tales componentes permiten simplemente que el rendimiento sea divisible en dichas subunidades.

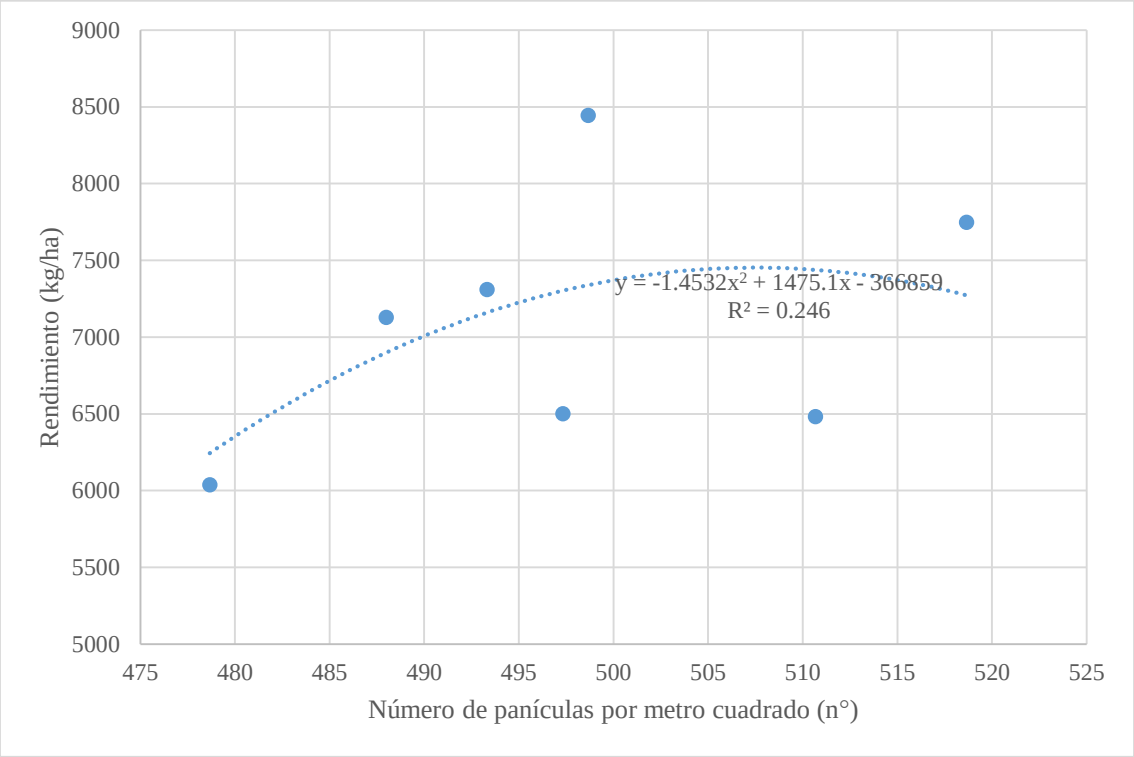


Figura 11: Regresión número de panículas por metro cuadrado vs. rendimiento

Aunque se esperaba que a mayores densidades de siembra un mayor número de plantas produjeran un mayor número de panículas, los resultados demostraron, estadísticamente, que entre 60 kg/ha y 100 kg/ha de semilla sembrada no se produjo dicho incremento. No obstante, comparando las medias de los tratamientos (tabla 10) se puede observar una tendencia al aumento de panículas a medida que se aumenta la densidad de siembra.

Similar resultado encontraron Dunn et al. (2020) quienes sostienen que el rendimiento se mantiene relativamente independiente de la densidad de plantas cuando esta es mayor a 100/m^2. En su experimento obtuvo similares rendimientos entre las densidades de 50 a 150 kg/ha, mientras que a 25 kg/ha los rendimientos fueron menores. Asimismo, entre los espaciamientos entre hileras que probó, el mayor distanciamiento de 36 cm obtuvo el menor rendimiento en comparación con los distanciamientos de 18 y 27 cm. Aunque, por otro lado,

Delessa (2017) logró obtener el mejor rendimiento a una densidad de siembra de 100 kg/ha en comparación con las densidades de 75 y 100 kg/ha.

Peso de 1000 granos llenos: El factor densidad de siembra no produjo variaciones significativas sobre el peso de los granos, mientras que el factor genotipo sí influyó de forma significativa. La UCD (2018) establece que el peso de cada grano es una característica muy estable y propia de cada tipo de planta. Añade que a través de las labores culturales sólo se pueden alcanzar variaciones sutiles, sin embargo, si se presentaran condiciones altamente favorables para la traslocación, el peso de los granos podría aumentarse considerablemente. Los resultados indican que el mayor peso de granos (32 g) fue obtenido por las líneas mutantes LM3AS 463, LM3AS 339 y LM3AS 44, seguido por los mutantes LM3AS 160 (31 g) y LM3AS 547 (30 g), y, por último, los testigos Tinajones (29 g) e IR43 (28 g). Es probable, por lo tanto, que el mejoramiento genético en los mutantes de Amazonas haya generado un aumento en el peso de los granos ya que el peso de 1000 granos del cultivar de origen es 28 g. A manera de sustento, los rendimientos alcanzados en el estudio fueron determinados por un mayor peso de granos (R^2=0.75). El ajuste de los datos al modelo polinomial de segundo grado es alto como se ve en el siguiente gráfico.

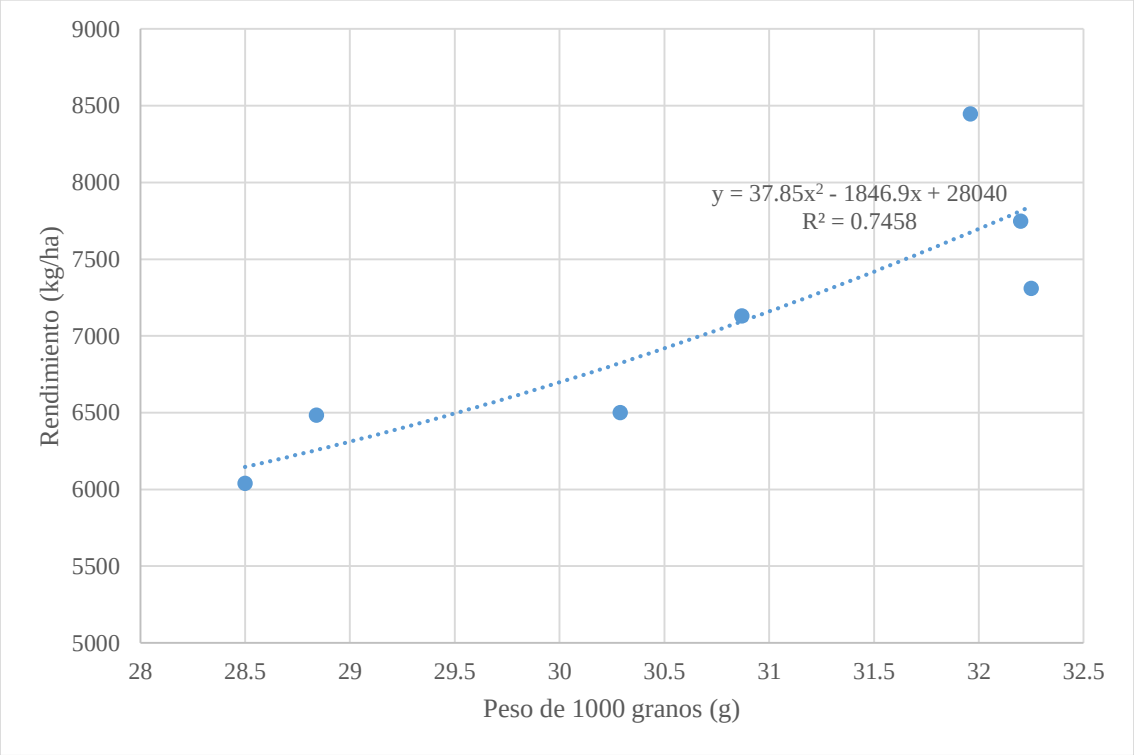


Figura 12: Regresión peso de mil granos vs. Rendimiento

Según Jennings et al. (1981) el peso de la semilla de las variedades modernas se encuentra en el rango de 21 a 23 g/1000granos, y el peso promedio de una semilla comercial es de 22g/1000granos. Por lo tanto, podemos afirmar que los genotipos mutantes alcanzaron valores óptimos para ser competitivos en el mercado.

Tabla 10: Componentes de rendimiento según densidad de siembra

Densidad	Panículas/m^2 (no.)	Granos/panícula (no.)	Esterilidad (%)	Peso de 1000 granos
60 $kg.ha^{-1}$	477 a	113 a	10.16 a	30.61 a
80 $kg.ha^{-1}$	501 a	114 a	10.34 a	30.89 a
100 $kg.ha^{-1}$	515 a	119 a	9.37 b	30.59 a

Prueba de Duncan: Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas

Número de granos por panícula: De acuerdo con los resultados del análisis estadístico (anexo 8), el factor genotipo fue la principal fuente de variación del número de granos por panícula (p-valor<0.01). En general, las medias obtenidas por cada genotipo indican una buena carga de semillas; sin embargo, los valores más altos fueron alcanzados por los mutantes LM3AS 463 y LM3AS 44 con una producción de 136 y 129 granos por panícula, respectivamente. Los testigos, Tinajones (105) e IR43 (103), junto con el mutante LM3AS 547 (96) alcanzaron los valores mínimos. Aunque la correlación con el rendimiento fue baja (0.14), la regresión cuadrática indica un alto nivel de predicción. La determinación del número de granos, en un modelo polinomial de grado 2, sobre el rendimiento resultó significativa (R^2=0.67), es decir, rendimientos altos se encuentran sustentados por mayor número de granos por panícula.

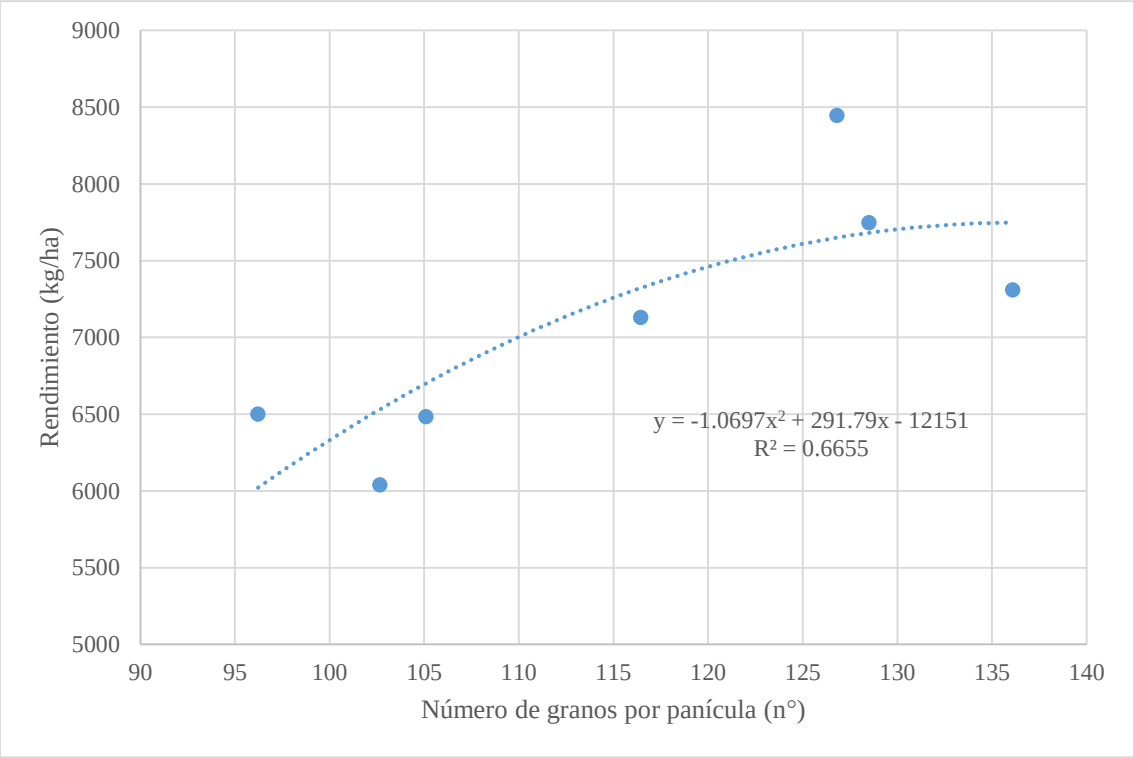


Figura 13: Regresión número de granos por panícula vs. rendimiento

Bozorgi et al. (2011) sostienen que las características morfológicas de las cuales se valen las plantas para consumir los recursos disponibles son de suma importancia, una de esas características es la altura. En el estudio, el coeficiente de correlación de Pearson (0.37) indica que la altura se correlacionó positivamente con el peso de mil granos lo cual, de cierta manera, hace suponer que ambas características pueden estar ligadas, explicando por qué los genotipos de mayor altura (LM3AS 463 y LM3AS 339) obtuvieron el mayor meso de mil granos. Está claro que genotipos de porte alto no son deseables por su susceptibilidad al tumbado, pero su tamaño tiene ventajas productivas sobre cultivares enanos, principalmente, con respecto al índice de área foliar (Yoshida, 1972).

La densidad de siembra, por otro lado, no influyó de forma significativa (p-valor>0.05) sobre el número de granos. Según indica Fageria (2007) el máximo número de granos por panícula podría ser alcanzado en condiciones óptimas de sanidad y con alta radiación. En las condiciones que se presentaron en la campaña 2017 (figura 2), los mutantes han demostrado un mejor comportamiento en cuanto a componentes de rendimiento.

Porcentaje de esterilidad: El porcentaje de esterilidad es una de las características que se encuentra más influenciada por factores externos. Ya sean climáticas, de sanidad o manejo, la cantidad de granos vanos se incrementa cuando uno de estos factores no es favorable. En

el estudio se observó que la esterilidad fue influenciada por las dos fuentes de variabilidad aplicadas. Así, tanto el factor genético como la densidad de siembra influyeron significativamente. La esterilidad de los granos es afectada por el sombreamiento indican Bozorgi et al. (2011), y añaden que a mayor densidad de siembra ocurre un mayor sombreamiento entre plantas. La densidad de siembra mayor (100kg.ha^{-1}), contrario a lo que se esperaba, obtuvo el menor porcentaje de granos estériles. Además, los genotipos mutantes presentaron un bajo porcentaje de esterilidad excepto por el mutante LM3AS 547 que obtuvo el máximo valor (12.8%). Si bien el coeficiente de correlación con el rendimiento es bajo (-0.12) y no significativo, es probable que el alto porcentaje de granos estériles del mutante LM3AS 547 haya sido la limitante para alcanzar mayor rendimiento en grano.

Tabla 11: Coeficientes de correlación de Pearson

	R	**DF**	**MS**	**IC**	**A**	**LP**	**NP/m^2**	**NG/P**	**P1000G**
DF	-0.28								
MS	0.92*	-0.22							
IC	0.38*	-0.36*	0.17						
A	0.32*	-0.58*	0.28	0.34*					
LP	0.35*	-0.41*	0.28	0.29	0.47*				
NP/m^2	-0.07	0.13	-0.12	-0.05	-0.07	0.02			
NG/P	0.26	0.09	0.28	0.07	-0.37*	0.23	0.02		
P1000G	0.47*	-0.44*	0.37*	0.26	0.37*	0.60*	-0.14	0.03	
%EST	-0.12	0.18	-0.06	-0.30	-0.21	-0.21	0.1	0.07	-0.21

Nota: DF = Días a la floración; MS = Materia seca; IC = Índice de cosecha; A = Altura de planta; LP = Longitud de panícula; NP/m^2 = Número de panículas por metro cuadrado; NG/P = Número de granos por panícula; P1000G = Peso de mil granos; R = Rendimiento; %EST= Porcentaje de esterilidad; (*): Significativo.

4.8. Características biométricas del grano

A nivel agronómico, la anchura, el grosor y la forma del grano son menos variables e importantes que su longitud, sostienen Degiovanni et al. (2010). Sin embargo, los mercados de arroz de alta calidad suelen exigir granos cuya forma esté entre delgada e intermedia (Tabla 4). No obstante, es importante tomar en cuenta que las normas para evaluar el grano de los materiales de mejoramiento varían entre los países y entre las regiones en que el arroz se comercializa.

El experimento demostró que las características biométricas de los granos variaron significativamente entre genotipos. Los resultados muestran que los genotipos mutantes presentan granos de mayor tamaño. Los genotipos LM3AS 339 y LM3AS 463 obtuvieron los valores más altos en longitud (7.9 y 7.8 mm), respectivamente; los genotipos LM3AS 44, LM3AS 160 y LM3AS 547 alcanzaron 7.5 mm en promedio y, por último, los genotipos comerciales con 7.0 mm promedio. Tal parece que los granos obtenidos por los mutantes tendrían aceptación en nuestro mercado local y en América Latina según indican Rebolledo et al. (2018).

La longitud y el ancho de la semilla son características que se encuentran estrechamente relacionadas con el peso de los granos. Yoshida (1972) menciona que el tamaño de las semillas está limitado físicamente por el tamaño de la cáscara. Además, el tamaño de las glumelas se define durante la etapa de floración. El autor menciona que es posible que condiciones climáticas extremas durante la floración limitan las dimensiones de la semilla establecidas genéticamente. El análisis de correlación de Pearson (anexo 18) sostiene que el peso de los granos y, principalmente, la longitud y espesor de la semilla logrados en el experimento tienen una relación de proporción directa. Esto último parece indicar que la longitud del grano es una consecuencia de un buen índice de cosecha y una buena producción de biomasa ya que sin ellas no sería posible sostener las dimensiones de un grano largo; de otro modo, sería un grano quebradizo de baja densidad.

4.9. Calidad molinera

El rendimiento de molinería alcanzado por los genotipos presenta diferencias significativas. En el análisis de varianza se obtuvo un p-valor menor a 0.05; de las cinco líneas mutantes, la línea LM3AS 339 fue la que obtuvo el menor rendimiento de molinería (70%); mientras

que IR43 y Tinajones alcanzaron los más altos rendimientos con 72%. La línea LM3AS 160 fue la que mayor porcentaje de grano entero obtuvo (66%), seguido del cultivar Tinajones (65%) e IR43 (64%). En general, estos resultados sustentan el buen comportamiento de los genotipos mutantes comparables a los cultivares comerciales.

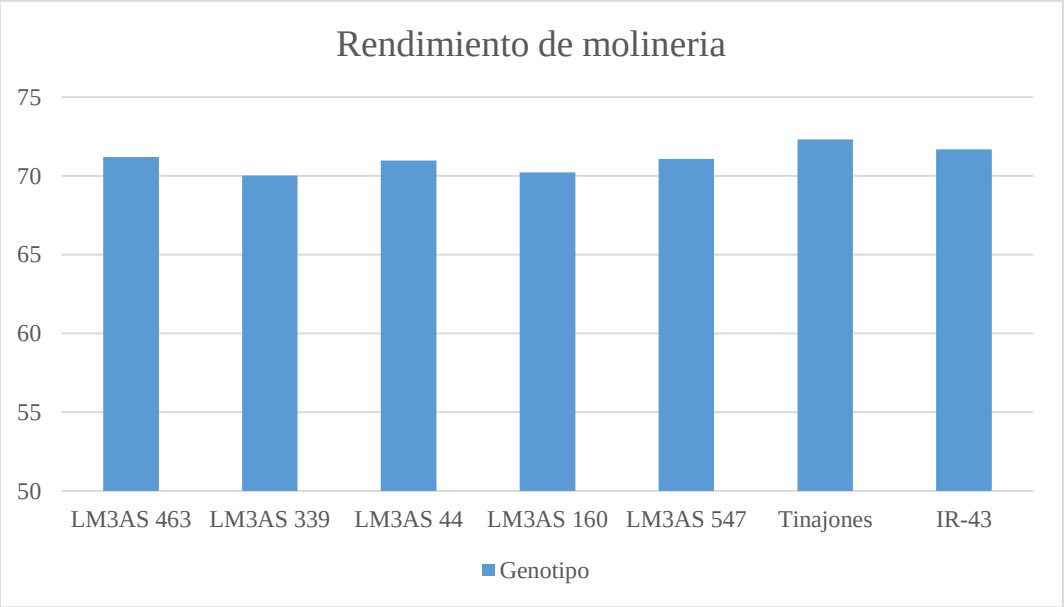


Figura 14: Rendimiento de molinería según genotipo

La tolerancia al retraso de cosecha, según Degiovanni et al. (2010), es una característica fundamental de un cultivar de arroz. La variedad susceptible tiende a presentar fisuras en los granos cuando estos, una vez alcanzada la humedad óptima de cosecha, son rehidratados ya sea por una lluvia inesperada u otro factor externo. Si la cosecha no se hace oportunamente y el grano se humedece nuevamente, habrá una disminución considerable de granos enteros y, por ende, del rendimiento. Tal caso no se observó en el análisis de laboratorio, en donde todos los materiales, mutantes y comerciales, presentaron buenos índices de calidad de grano, superando el 60% de grano entero; por lo tanto, no resulta audaz afirmar que los mutantes presentan tolerancia al retraso de cosecha.

Siebenmorgen et al. (2009, citado por Degiovanni, 2010) reporta que los granos pilados pueden quebrarse luego de pequeños periodos de exposición a aire con baja humedad relativa o alta (menor a 30% y mayor a 75%) y/o altas temperaturas o bajas. Estas condiciones pueden causar a los granos una rápida pérdida de humedad. Es por esta razón que el autor recomienda que en la liberación de material genético nuevo por lo menos se realice un proceso de pila en un molino comercial.

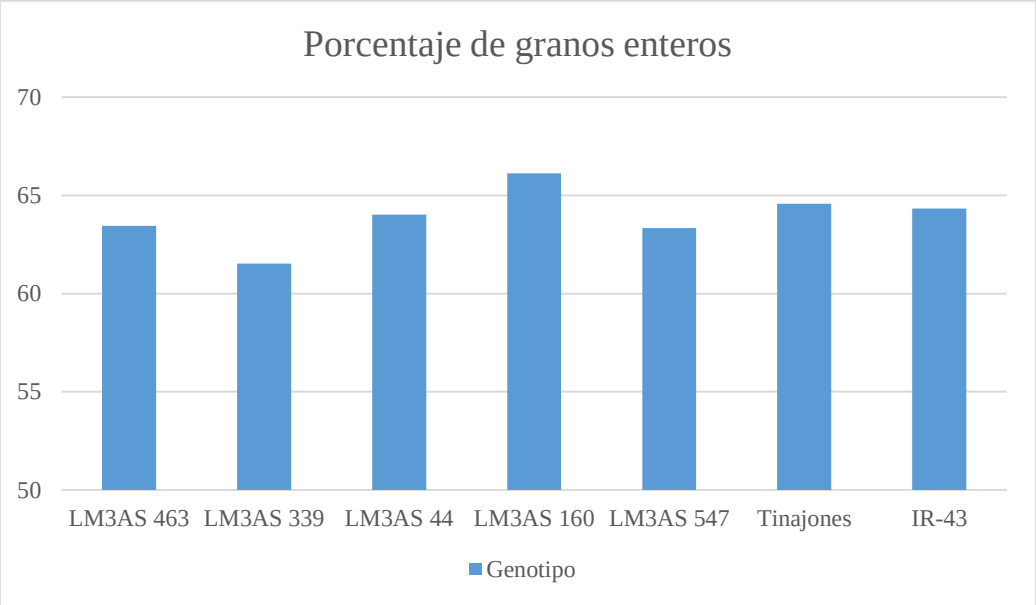


Figura 15: Rendimiento de grano entero según genotipo

Mediante la prueba de comparación múltiple de Duncan (anexo 15) se prueba estadísticamente que las líneas mutantes LM3AS 44 (64%) y LM3AS 160 (66%) alcanzaron un porcentaje de granos enteros igual al de las variedades comerciales (64%), asimismo, la línea LM3AS 160 supero categóricamente a las líneas LM3AS 463 (63%), LM3AS 339 (62%) y LM3AS 547 (63%). Siebenmorgen et al. (2019) afirman que el rendimiento de grano entero es el sustento primario del valor económico de un lote de arroz. Por lo tanto, el logro de las líneas mutantes tanto en rendimiento de grano como rendimiento en molinería establece una prueba fehaciente de su alto potencial económico.

4.10. Índice de translucencia

La apariencia de los granos de arroz "molinados" (descascarado y pulido) es importante para el consumidor y, por consiguiente, para el productor y el molinero. Las variedades que tienen un comportamiento superior en campo no son fácilmente aceptadas por la industria molinera, si el grano tiene una apariencia deficiente una vez molinado. Si parte de los granos molinados tienen una apariencia opaca en vez de translúcida estos son caracterizados como tizosos y sus variantes (dependiendo de su localización en el endospermo, panza, centro y dorso blancos) (Badi, 2013; Siebenmorgen, 2019).

Los granos obtenidos después del pilado en el molino de prueba resultaron altamente uniformes. Tanto en los cultivares comerciales como en los genotipos mutantes se obtuvo grano de buen índice de translucencia por debajo de 1 en la escala de evaluación (tabla 5). Los análisis estadísticos (anexo 17) revelaron que los tratamientos no surtieron influencia significativa sobre esta característica.

4.11. Dispersión alcalina

La calidad de cocción es un elemento importante en el fitomejoramiento del arroz. Las preferencias gustativas de un sector poblacional pueden determinar el valor comercial de un cultivar desarrollado por mejoramiento. Por lo tanto, son de importancia primaria tanto las dimensiones del grano como la calidad de cocción en el desarrollo de nuevos cultivares (Hardke et al., 2019).

Los resultados del proceso en laboratorio fueron alentadores ya que dieron un buen indicio sobre la cocción del material mejorado. En todos los tratamientos, luego de sumersión en solución KOH, los granos quedaron totalmente desintegrados ubicándose en un grado 7 en la escala de dispersión. Relacionando este resultado con las categorías indicadas en la tabla 6, podemos decir que tanto los arroces comerciales como los mutantes tienen una temperatura baja de gelatinización.

V. CONCLUSIONES

- La densidad de siembra no causo variaciones significativas en el rendimiento. Se concluye que, bajo un sistema de siembra directa, empleando cualquiera de las tres densidades de siembra (60, 80 y 100 kg/ha), se obtiene el mismo rendimiento, destacando la menor densidad de siembra de 60 kg/ha por su eficiencia en uso de semilla.
- Las líneas mutantes alcanzaron rendimientos superiores a los cultivares comerciales. En condiciones de valle Jequetepeque, los rendimientos promedio logrados por los mutantes LM3AS 339 (8865 kg/ha), LM3AS 463 (8603 kg/ha), LM3AS 44 (7964 kg/ha) y LM3AS 160 (7947 kg/ha) superaron estadísticamente a los rendimientos de los cultivares comerciales IR43 (6439 kg/ha) y Tinajones (5933 kg/ha). Los altos rendimientos estuvieron asociados a altos índices de cosecha; mayor peso de granos y número de granos por panícula.
- Las líneas mutantes presentan granos con buenas características visuales y en molino. Los rendimientos de molinería se mantienen por encima de 70%; y en grano entero, se destaca el mutante LM3AS 160 por obtener el máximo valor (66%) y buenas características biométricas. Los granos molinados de los genotipos mutantes son extralargos y tienen una apariencia translúcida.
- Los genotipos mutantes resultaron ser precoces en 10 días promedio. Mientras que los cultivares comerciales llegaron al 50% de flor a los 98 días después de la siembra, las líneas mutantes lo hicieron en 88 días en promedio, alcanzando la madurez a los 120 días después de la siembra.

VI. RECOMENDACIONES

- En caso se desee buscar densidades que influyan en el rendimiento, aumentar el número de repeticiones para aumentar precisión con respecto al factor de parcelación.
- Ampliar el rango de densidades de siembra para buscar diferencias consistentes como sugiere la teoría ya que, tal como indica el análisis de resultados, las densidades empleadas no mostraron diferencias significativas.
- En futuras evaluaciones, añadir al experimento el cultivar de origen Amazonas a fin de verificar si las cualidades favorables del cultivar se mantienen.
- Repetir el estudio en un año con condiciones ambientales típicas ya que los rendimientos alcanzados en el 2017 no fueron los mejores a nivel comercial.

VII. BIBLIOGRAFÍA

1. Albujar, E. (2018). Anuario estadístico de la producción agrícola 2017. Ministerio de Agricultura y Riego. Lima, Perú.
2. Angira, B.; Addison, C. K.; Cerioli, T.; Rebong, D. B.; Wang, D.R.; Pumplin, N.; … Famoso, A. N. (2019). Haplotype characterization of the sd1 semidwarf gene in United States rice. Plant Genome 12:190010. doi: 10.3835/plantgenome2019.02.0010
3. Badi, O. (2013). Rice post-harvest technology training program. Ministry of agriculture, animal wealth and natural resources. Gezira, Sudan.
4. Bughio, H. R.; Odhano, I. A.; Asad, M. A. & Bughio, M. S. (2007). Improvement of grain yield in rice variety basmati-370 (Oryza sativa L.), through mutagenesis. Nuclear Institute of Agriculture (NIA). Tando Jam, Sindh, Pakistan.
5. Ceccon, E. (2008). La revolución verde tragedia en dos actos. Ciencias, Vol.1, Núm. 91, julio-setiembre,pp. 21-29. UNAM, México.
6. Chakravarti, S.; Singh, S.; Humar, H.; Lal, J. P. & Vishwakarma, M. K. (2013). Study of induced polygenic variability in M1 and chlorophyll mutation in M2 generations in aromatic rice. The Bioscan Journal.
7. Consorcio Agrícola Ganadero (COAGRO S. A.). (1998). Cultivo de arroz. Recomendaciones técnicas. Piura, Perú.
8. Degiovanni, V.; Martínez, C. & Motta, F. (2010). Producción Eco-Eficiente del Arroz en América Latina. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia.
9. Delessa, A. (2017). Effect of Sowing Method and Seeding Rate on Yield and Yield Components of Rainfed Rice (Oryza sativa L.) Varieties in Woliso, South-West Shoa Zone, Ethiopia. International journal of applied Agricultural Sciences 3. doi: 10.11648/j.ijaas.20170305.11
10. de Datta, S. K. (1981). Principles and Practices of Rice Production. The International Rice Research Institute. Los baños, Philippines.

11. Dhital, K. (2011). Study on System of Rice Intensification in transplanted and Directseeded. Doctoral dissertation. Tribhuvan University. Chiwan, Nepal.
12. Dunn, B. W.; Dunn, T. S.; Mitchell, J. H. & Brinkhoff, J. (2020). Effects of plant population and row spacing on grain yield of aerial-sown and drill-sown rice. Crop and Pasture Science 71. https://doi.org/10.1071/CP19421
13. Fageria, N. K. (2007). Yield physiology of rice. Journal of Plant Nutrition, 30:843-879. doi: 10.1080/15226510701374831
14. Feng, H. Y. & Yu, Z. L. (2012). Ion implantation mutagenesis. En Q. Y. Shu, B. P. Foster & H. Nakagawa (Eds.), Plant mutation breeding and biotechnology (p. 107-121). Recuperado de https://www.fao.org/3/i2388e/i2388e.pdf
15. Food and Agriculture Organization. (September, 2019). Crop Prospects and Food Situation - Quarterly Global Report No. 3/2019. Rome.
16. Foster, B. & Shu, Q. (2012). Plant mutagenesis in crop improvement: basic terms and applications. En Q. Y. Shu, B. P. Foster & H. Nakagawa (Eds.), Plant mutation breeding and biotechnology (p. 9-20). Recuperado de https://www.fao.org/3/i2388e/i2388e.pdf
17. Furbank, R.; Jimenez-Berni, J.; George-Jaeggli, B.; Potgieter, A. & Deery, D. (2019). Field crop phenomics: enabling breeding for radiation use efficiency and biomass in cereal crops. New Phytologist. doi: 10.1111/nph.15817.
18. Gómez, L.; Eguiluz, A.; Jiminez, J. & Heros, E. (2009). Barley (Hordeum vulgare) and Kiwicha (Amaranthus caudatus) improvement by mutation induction in Peru. Cereal Research Program. UNALM. Perú.
19. Bozorgi, H. R.; Faraji, A.; Danesh, R. K.; Keshavarz, A.; Azarpour, E. & Tarighi, F. (2011). Effect of plant density on yield and yield components of rice. World Applied Sciences Journal. 12. 2053-2057. Islamic Azad University, Lahijan, Iran.
20. Hardke, J.; Moldenhauer, K. & Sha, X. (2021). Rice cultivars and seed production. En J. T. Hardke (Ed.), Rice production handbook (p. 21-28). Recuperado de https://www.uaex.uada.edu/publications/pdf/mp192/mp192.pdf
21. Heros, E. (2012). Manual técnico del manejo integrado de arroz. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
22. International Rice Research Institute. (2013). Standard evaluation system (SES) for rice. 5th edition. Manila, Philippines.
23. Jennings, P.; Coggman, W. & Kauffman, H. (1981). Mejoramiento de arroz. Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT. Cali, Colombia.

24. Kamboj, B.; Kuma, A.; Bishnoi, D.; Singla, K.; Kumar, V.; Jat, M.; … Bhatia, R. (2012). Direct seeded Rice Technology in western Indo-Gangetic Plains of India. CSISA Experiences. IRRI and CIMMYT.
25. Khanh, T.; Duong, V.; Nguyen, P.; Xuan, T.; Trung, N.; Trung, K.; … Huong, B. (2021). Rice Breeding in Vietnam: Retrospects, Challenges and Prospects. doi: 10.3390/agriculture11050397
26. Kharkwal, M. C. (2012). A brief history of plant mutagenesis. En Q. Y. Shu, B. P. Foster & H. Nakagawa (Eds.), Plant mutation breeding and biotechnology (p. 21-30). Recuperado de https://www.fao.org/3/i2388e/i2388e.pdf
27. Kumar, V. & Ladha, J. (2011). Direct seeding of rice: Recent developments and future research needs. En Donald L. Sparks (Ed.), Advances in Agronomy (p. 297-413). https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387689-8.00001-1
28. Mba, C. & Shu, Q. (2012). Gamma Irradiation. En Q. Y. Shu, B. P. Foster & H. Nakagawa (Eds.), Plant mutation breeding and biotechnology (p. 91-98). Recuperado de https://www.fao.org/3/i2388e/i2388e.pdf
29. Ministerio de Agricultura. (2019). El agro en cifras. Boletín estadístico mensual, diciembre 2018. Perú.
30. Moldenhauer, K.; Counce, P. & Hardke, J. (2021). Rice growth and development. En J. T. Hardke (Ed.), Rice production handbook (p. 9-20). Recuperado de https://www.uaex.uada.edu/publications/pdf/mp192/mp192.pdf
31. Ocampo, J. (14 de junio de 2017). Características de las variedades más comerciales de arroz en Perú. Recuperado de http://profesionalesdelagro.com/caracteristicas-de-las-variedades-mas-comerciales-de-arroz-en-peru/.
32. Pinson, S. R. M.; Jia, Y.; Jia, M. H. & Gibbons, J. W. (2018). Novel QTLs affecting rice kernel fissure resistance discovered in the cultivar ‘Saber’ augment those from ‘Cybonnet’. Crop Sci. 58:1531–1541. https://doi.org/10.2135/cropsci2017.10.0593
33. Raina, A.; Laskar, R.; Khursheed, S.; Amin, R.; Tantray, Y.; Parveen, K. & Khan, S. (2016). Role of mutation breeding in crop improvement-past, present, and future. Asian Research Journal of Agriculture. 2. 1-13. doi: 10.9734/ARJA/2016/29334
34. Rebolledo, M.; Ramírez, J.; Graterol E.; Hernández, C.; Rodríguez, J.; Petro, E.; … van den Berg, M. (2018). Modelación del arroz en Latinoamérica: Estado del arte y base de datos para parametrización. Publications Office of the European Union, Luxembourg.

35. Rodríguez, D. (2017). Potencial de rendimiento de líneas mutantes de arroz (Oryza sativa L.) desarrolladas mediante aplicación de rayos gamma en condiciones del valle de Jequetepeque. (Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina). Recuperada de http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/2964
36. Sharma, A. & Singh, S. K. (2013). Induced mutation-a tool for creation of genetic variability in rice (Oryza sativa L.). Journal of Crop and Weed, 9, 132-138.
37. Shu, Q. Y.; Forster, B. P. & Nakagawa, H. (2012). Principles and applications of plant mutation breeding. En Q. Y. Shu, B. P. Foster & H. Nakagawa (Eds.), Plant mutation breeding and biotechnology (p. 301-325). Recuperado de https://www.fao.org/3/i2388e/i2388e.pdf
38. Siebenmorgen, T.; Grigg, B.; Counce, P. & Hardke, J. (2021). Production factors impacting rice milling yield. En J. T. Hardke (Ed.), Rice production handbook (p. 177-182). Recuperado de https://www.uaex.uada.edu/publications/pdf/mp192/mp192.pdf
39. Sifuentes, E.; Albujar, E.; Contreras, S.; León, C.; Moreyra, J. & Santa, J. (2017). Anuario estadístico de la producción agrícola y ganadera 2016. Ministerio de Agricultura y Riego. Lima, Perú.
40. Tripathi, K. (2011). Biology of Oryza sativa L. (Rice). Department of Biotechnology. Ministry of Science and Technology and Ministry of Environment and Forests, India.
41. University of California Davis. (2018). Rice production manual. Department of Plant Science. California, USA. Recuperado de http://rice.ucanr.edu/files/288581.pdf
42. Wei, F.; Droc, G.; Guiderdoni, E. & Hsing, Y. (2013). International Consortium of Rice Mutagenesis: resources and beyond. Springer Open Journal. doi: 10.1186/1939-8433-6-39
43. Xing, N.; Huang, W.; Xie, Q.; Shi, Y.; Ye, H.; Dong, Y.; … Jiao, Q. (2020). A Transformed Triangular Vegetation Index for Estimating Winter Wheat Leaf Area Index. Remote Sensing 12. https://doi.org/10.3390/rs12010016
44. Yoshida, S. (1972). Physiological aspects of grain yield. Ann Rev. Plan Physiol. 23:437-64. The International Rice Research Institute. Los Baños, Laguna, The Philippines.
45. Yusuff, O.; Mohd, R.; Norhani, A.; Ghazalo, H.; Asfaliza, R.; Harum, R.; … Magaji, U. (2016). Principle and application of plant mutagenesis in crop improvement: a review. Biotechnology & Biotechnological Equipment. doi: 10.1080/13102818.2015.1087333

46. Yusuff, O.; Rafii, M. Y.; Norhani, A.; Mohammad, A. M.; Rahim, H. A.; Ghazali, H.; … Isiaka, K. (2014). Genetic variability and selection criteria in rice mutant lines as revealed by quantitative traits. Hindawi Publishing Corporation. The Scientific World Journal. https://doi.org/10.1155/2014/190531
47. Zhang, S.; He, X.; Zhao, J.; Cheng, Y.; Xie, Z.; Chen, Y.; … Liu, B. (2017) Identification and validation of a novel major QTL for harvest index in rice (Oryza sativa L.). Springer Open. doi: 10.1186/s12284-017-0183-0

VIII. ANEXOS

Anexo 1. ANVA Rendimiento y test de Duncan a un nivel de significación de 0.05.

Rendimiento

Variable	N	R^2	Adj R^2	CV
Rdto	63	0.70	0.48	16.73

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model.	129973587.88	26	4998984.15	3.19	0.0007
Densidad	13729206.04	2	6864603.02	2.74	0.1780
Bloque	23071093.49	2	11535546.75	7.37	0.0021
Densidad*Bloque	10018122.67	4	2504530.67	1.60	0.1954
Genotipo	70991818.01	6	11831969.67	7.56	<0.0001
Densidad*Genotipo	12163347.68	12	1013612.31	0.65	0.7875
Error	56343900.79	36	1565108.36		
Total	186317488.67	62			

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 2504530.6668 df: 4

Densidad	Means	n	S.E.	
D1	7891.40	21	345.35	A
D3	7717.98	21	345.35	A
D2	6825.86	21	345.35	A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 1565108.3552 df: 36

Bloque	Means	n	S.E.		
2	8248.33	21	273.00	A	
3	7417.08	21	273.00		B
1	6769.83	21	273.00		B

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 1565108.3552 df: 36

Genotipo	Means	n	S.E.		
L2	8865.17	9	417.01	A	
L1	8603.12	9	417.01	A	
L3	7963.78	9	417.01	A	
L4	7947.46	9	417.01	A	
L5	6596.63	9	417.01		B
L7	6439.39	9	417.01		B
L6	5933.34	9	417.01		B

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Anexo 2. ANVA Materia seca y test de Duncan a un nivel de significación de 0.05.

Materia seca total

Variable	N	R^2	Adj R^2	CV
MS	42	0.66	0.23	18.65

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model.	314217255.02	23	13661619.78	1.53	0.1804
Densidad	38414489.02	2	19207244.51	1.22	0.4495
Bloque	107217173.53	1	107217173.53	12.00	0.002
Densidad*Bloque	31361901.28	2	15680950.64	1.76	0.2011
Genotipo	106180768.53	6	17696794.76	1.98	0.1219
Densidad*Genotipo	31042922.67	12	2586910.22	0.29	0.9834
Error	160765893.73	18	8931438.54		
Total	474983148.75	41			

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 15680950.6388 df: 2

Densidad	Means	n	S.E.	
D1	17176.41	14	1058.33	A
D3	16072.44	14	1058.33	A
D2	14835.08	14	1058.33	A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 8931438.5406 df: 18

Bloque	Means	n	S.E.		
3	17625.72	21	652.16	A	
1	14430.23	21	652.16		B

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 8931438.5406 df: 18

Genotipo	Means	n	S.E.		
L2	19060.08	6	1220.07	A	
L1	17297.95	6	1220.07	A	B
L4	16507.90	6	1220.07	A	B
L3	15319.27	6	1220.07	A	B
L7	15299.35	6	1220.07	A	B
L6	14484.97	6	1220.07		B
L5	14226.33	6	1220.07		B

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Anexo 3. ANVA Índice de cosecha y test de Duncan a un nivel de significación de 0.05.

Índice de cosecha

Variable	N	R^2	Adj R^2	CV
IC	42	0.64	0.17	8.79

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model.	435.65	23	18.94	1.38	0.2461
Densidad	3.02	2	1.51	47.64	0.0206
Bloque	2.53	1	2.53	0.18	0.6730
Densidad*Bloque	0.06	2	0.03	2.3E-03	0.9977
Genotipo	219.76	6	36.63	2.66	0.0498
Densidad*Genotipo	210.28	12	17.52	1.27	0.3117
Error	247.48	18	13.75		
Total	683.13	41			

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 0.0317 df: 2

Densidad	Means	n	S.E.		
D2	42.47	14	0.05	A	
D1	42.23	14	0.05	A	
D3	41.82	14	0.05		B

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 13.7489 df: 18

Bloque	Means	n	S.E.	
1	42.42	21	0.81	A
3	41.93	21	0.81	A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 13.7489 df: 18

Genotipo	Means	n	S.E.			
L1	44.60	6	1.51	A		
L2	44.29	6	1.51	A		
L3	43.42	6	1.51	A	B	
L5	43.02	6	1.51	A	B	C
L4	42.40	6	1.51	A	B	C
L7	39.21	6	1.51		B	C
L6	38.28	6	1.51			C

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Anexo 4. ANVA Altura de planta y test de Duncan a un nivel de significación de 0.05.

Altura de planta

Variable	N	R^2	Adj R^2	CV
A	42	0.78	0.50	4.97

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model.	2105.48	23	91.54	2.77	0.0155
Densidad	153.88	2	76.94	36.52	0.0267
Bloque	155.44	1	155.44	4.71	0.0436
Densidad*Bloque	4.21	2	2.11	0.06	0.9384
Genotipo	1577.37	6	262.89	7.96	0.0003
Densidad*Genotipo	214.57	12	17.88	0.54	0.8594
Error	594.14	18	33.01		
Total	2699.62	41			

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 2.1067 df: 2

Densidad	Means	n	S.E.		
D2	118.00	14	0.39	A	
D1	115.80	14	0.39	A	
D3	113.31	14	0.39		B

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 33.0079 df: 18

Bloque	Means	n	S.E.		
3	117.63	21	1.25	A	
1	113.78	21	1.25		B

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 33.0079 df: 18

Genotipo	Means	n	S.E.				
L2	124.80	6	2.35	A			
L4	119.53	6	2.35	A	B		
L3	119.20	6	2.35	A	B		
L1	117.87	6	2.35	A	B		
L5	114.17	6	2.35		B	C	
L6	107.90	6	2.35			C	D
L7	106.47	6	2.35				D

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Anexo 5. ANVA Longitud de panícula y test de Duncan a un nivel de significación de 0.05.

Longitud de panícula

Variable	N	R^2	Adj R^2	CV
LP	42	0.83	0.60	4.95

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model.	106.43	23	4.63	3.71	0.0031
Densidad	2.09	2	1.05	0.11	0.8969
Bloque	10.74	1	10.74	8.61	0.0089
Densidad*Bloque	18.20	2	9.10	7.30	0.0048
Genotipo	53.03	6	8.84	7.09	0.0005
Densidad*Genotipo	22.37	12	1.86	1.49	0.2139
Error	22.45	18	1.25		
Total	128.88	41			

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 9.0991 df: 2

Densidad	Means	n	S.E.	
D2	22.87	14	0.81	A
D3	22.52	14	0.81	A
D1	22.33	14	0.81	A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 1.2472 df: 18

Bloque	Means	n	S.E.		
3	23.08	21	0.24	A	
1	22.06	21	0.24		B

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 1.2472 df: 18

Genotipo	Means	n	S.E.					
L3	24.44	6	0.46	A				
L2	23.50	6	0.46	A	B			
L4	23.09	6	0.46	A	B	C		
L1	22.63	6	0.46		B	C	D	
L6	21.80	6	0.46			C	D	E
L5	21.61	6	0.46				D	E
L7	20.93	6	0.46					E

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Anexo 6. ANVA Días al 50% de floración y test de Duncan a un nivel de significación de 0.05.

Días a la floración

Variable	N	R^2	Adj R^2	CV
DF	42	0.80	0.54	4.37

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model.	1134.26	23	49.32	3.12	0.0084
Densidad	22.05	2	11.02	1.67	0.3743
Bloque	8.60	1	8.60	0.54	0.4705
Densidad*Bloque	13.19	2	6.60	0.42	0.6653
Genotipo	894.48	6	149.08	9.42	0.0001
Densidad*Genotipo	195.95	12	16.33	1.03	0.4622
Error	284.71	18	15.82		
Total	1418.98	41			

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 6.5952 df: 2

Densidad	Means	n	S.E.	
D3	91.57	14	0.69	A
D1	91.50	14	0.69	A
D2	90.00	14	0.69	A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 15.8175 df: 18

Bloque	Means	n	S.E.	
1	91.48	21	0.87	A
3	90.57	21	0.87	A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 15.8175 df: 18

Genotipo	Means	n	S.E.			
L7	99.00	6	1.62	A		
L6	96.67	6	1.62	A		
L5	91.17	6	1.62		B	
L1	89.17	6	1.62		B	C
L3	87.83	6	1.62		B	C
L2	87.67	6	1.62		B	C
L4	85.67	6	1.62			C

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

COMPONENTES DE RENDIMIENTO

Anexo 7. ANVA de Número de panículas por metro cuadrado y test de Duncan a un nivel de significación de 0.05.

Número de panículas por metro cuadrado

Variable	N	R^2	Adj R^2	CV
NP.M2	42	0.58	0.05	16.66

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model.	172236.19	23	7488.53	1.09	0.4324
Densidad	10480.76	2	5240.38	0.12	0.8943
Bloque	19114.67	1	19114.67	2.78	0.1128
Densidad*Bloque	88633.90	2	44316.95	6.44	0.0078
Genotipo	6503.62	6	1083.94	0.16	0.9848
Densidad*Genotipo	47503.24	12	3958.60	0.58	0.8342
Error	123803.43	18	6877.97		
Total	296039.62	41			

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 44316.9524 df: 2

Densidad	Means	n	S.E.	
D3	515.43	14	56.26	A
D2	501.14	14	56.26	A
D1	477.14	14	56.26	A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 6877.9683 df: 18

Bloque	Means	n	S.E.	
1	519.24	21	18.10	A
3	476.57	21	18.10	A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 6877.9683 df: 18

Genotipo	Means	n	S.E.	
L1	518.67	6	33.86	A
L7	510.67	6	33.86	A
L2	498.67	6	33.86	A
L5	497.33	6	33.86	A
L3	493.33	6	33.86	A
L4	488.00	6	33.86	A
L6	478.67	6	33.86	A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Anexo 8. ANVA de Número de granos por panícula y test de Duncan a un nivel de significación de 0.05.

Número de granos por panícula

Variable	N	R^2	Adj R^2	CV
NG.P	42	0.77	0.48	12.81

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model.	13371.20	23	581.36	2.64	0.0199
Densidad	346.08	2	173.04	2.68	0.2715
Bloque	0.09	1	0.09	3.9E-04	0.9845
Densidad*Bloque	129.00	2	64.50	0.29	0.7499
Genotipo	8194.82	6	1365.80	6.19	0.0012
Densidad*Genotipo	4701.21	12	391.77	1.78	0.1313
Error	3970.29	18	220.57		
Total	17341.49	41			

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 64.5006 df: 2

Densidad	Means	n	S.E.	
D3	119.96	14	2.15	A
D2	114.67	14	2.15	A
D1	113.30	14	2.15	A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 220.5719 df: 18

Bloque	Means	n	S.E.	
3	116.02	21	3.24	A
1	115.93	21	3.24	A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 220.5719 df: 18

Genotipo	Means	n	S.E.				
L3	136.10	6	6.06	A			
L1	128.51	6	6.06	A	B		
L2	126.81	6	6.06	A	B		
L4	116.44	6	6.06		B	C	
L7	105.09	6	6.06			C	D
L6	102.66	6	6.06			C	D
L5	96.22	6	6.06				D

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Anexo 9. ANVA de Peso de mil granos y test de Duncan a un nivel de significación de 0.05.

Peso de 1000 granos

Variable	N	R^2	Adj R^2	CV
P1000G	42	0.65	0.20	7.01

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model.	153.88	23	6.69	1.45	0.2140
Densidad	0.80	2	0.40	0.14	0.8803
Bloque	1.12	1	1.12	0.24	0.6281
Densidad*Bloque	5.91	2	2.96	0.64	0.5394
Genotipo	88.36	6	14.73	3.18	0.0261
Densidad*Genotipo	57.68	12	4.81	1.04	0.4573
Error	83.26	18	4.63		
Total	237.14	41			

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 2.9554 df: 2

Densidad	Means	n	S.E.	
D2	30.89	14	0.46	A
D1	30.61	14	0.46	A
D3	30.59	14	0.46	A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 4.6257 df: 18

Bloque	Means	n	S.E.	
3	30.86	21	0.47	A
1	30.54	21	0.47	A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 4.6257 df: 18

Genotipo	Means	n	S.E.		
L3	32.25	6	0.88	A	
L1	32.20	6	0.88	A	
L2	31.96	6	0.88	A	
L4	30.87	6	0.88	A	B
L5	30.29	6	0.88	A	B
L7	28.84	6	0.88		B
L6	28.50	6	0.88		B

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Anexo 10. ANVA de Porcentaje de esterilidad y test de Duncan a un nivel de significación de 0.05.

Porcentaje de esterilidad

Variable	N	R^2	Adj R^2	CV
%EST	42	1.00	1.00	2.02

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model.	1183.94	23	51.48	1269.27	<0.0001
Densidad	7.55	2	3.77	174.18	0.0057
Bloque	0.01	1	0.01	0.29	0.5983
Densidad*Bloque	0.04	2	0.02	0.53	0.5951
Genotipo	79.79	6	13.30	327.91	<0.0001
Densidad*Genotipo	1096.55	12	91.38	2253.18	<0.0001
Error	0.73	18	0.04		
Total	1184.67	41			

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 0.0217 df: 2

Densidad	Means	n	S.E.		
D2	10.34	14	0.04	A	
D1	10.16	14	0.04	A	
D3	9.37	14	0.04		B

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 0.0406 df: 18

Bloque	Means	n	S.E.		
1	9.97	21	0.04	A	
3	9.94	21	0.04	A	

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 0.0406 df: 18

Genotipo	Means	n	S.E.						
L5	12.80	6	0.08	A					
L7	10.55	6	0.08		B				
L2	9.98	6	0.08			C			
L1	9.95	6	0.08			C			
L6	9.53	6	0.08				D		
L3	8.73	6	0.08					E	
L4	8.17	6	0.08						F

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

CARACTERÍSTICAS BIOMÉTRICAS

Anexo 11. ANVA de Longitud de grano y test de Duncan a un nivel de significación de 0.05.

Longitud del grano

Variable	N	R^2	Adj R^2	CV
L	42	0.92	0.82	2.16

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model.	5.51	23	0.24	9.21	<0.0001
Densidad	8.0E-04	2	4.0E-04	0.09	0.9172
Bloque	0.01	1	0.01	0.37	0.5480
Densidad*Bloque	0.01	2	4.5E-03	0.17	0.8438
Genotipo	5.03	6	0.84	32.25	<0.0001
Densidad*Genotipo	0.46	12	0.04	1.46	0.2278
Error	0.47	18	0.03		
Total	5.98	41			

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 0.0045 df: 2

Densidad	Means	n	S.E.	
D2	7.47	14	0.02	A
D3	7.46	14	0.02	A
D1	7.46	14	0.02	A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 0.0260 df: 18

Bloque	Means	n	S.E.	
3	7.48	21	0.04	A
1	7.45	21	0.04	A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 0.0260 df: 18

Genotipo	Means	n	S.E.			
L2	7.91	6	0.07	A		
L1	7.80	6	0.07	A		
L3	7.56	6	0.07		B	
L5	7.56	6	0.07		B	
L4	7.50	6	0.07		B	
L6	7.01	6	0.07			C
L7	6.91	6	0.07			C

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Anexo 12. ANVA Ancho de grano y test de Duncan a un nivel de significación de 0.05.

Ancho de grano

Variable	N	R^2	Adj R^2	CV
A	42	0.68	0.28	2.34

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model.	0.07	23	2.9E-03	1.68	0.1331
Densidad	0.01	2	4.0E-03	14.33	0.0652
Bloque	5.4E-04	1	5.4E-04	0.31	0.5818
Densidad*Bloque	5.6E-04	2	2.8E-04	0.16	0.8504
Genotipo	0.04	6	0.01	3.84	0.0121
Densidad*Genotipo	0.02	12	1.4E-03	0.85	0.6059
Error	0.03	18	1.7E-03		
Total	0.10	41			

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 0.0003 df: 2

Densidad	Means	n	S.E.		
D3	1.78	14	4.5E-03	A	
D1	1.77	14	4.5E-03	A	B
D2	1.74	14	4.5E-03		B

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 0.0017 df: 18

Bloque	Means	n	S.E.	
1	1.77	21	0.01	A
3	1.76	21	0.01	A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 0.0017 df: 18

Genotipo	Means	n	S.E.			
L6	1.81	6	0.02	A		
L7	1.80	6	0.02	A	B	
L1	1.77	6	0.02	A	B	C
L4	1.76	6	0.02		B	C
L2	1.74	6	0.02			C
L5	1.74	6	0.02			C
L3	1.73	6	0.02			C

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Anexo 13. ANVA de Espesor de grano y test de Duncan a un nivel de significación de 0.05.

Espesor del grano

Variable	N	R^2	Adj R^2	CV
E	42	0.74	0.40	2.58

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model.	0.17	23	0.01	2.19	0.0474
Densidad	0.02	2	0.01	4.03	0.1989
Bloque	8.6E-04	1	8.6E-04	0.25	0.6199
Densidad*Bloque	4.9E-03	2	2.4E-03	0.72	0.5000
Genotipo	0.11	6	0.02	5.67	0.0019
Densidad*Genotipo	0.03	2	2.5E-03	0.73	0.7071
Error	0.06	18	3.4E-03		
Total	0.23	41			

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 0.0024 df: 2

Densidad	Means	n	S.E.	
D1	2.28	14	0.01	A
D3	2.26	14	0.01	A
D2	2.22	14	0.01	A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 0.0034 df: 18

Bloque	Means	n	S.E.	
1	2.26	21	0.01	A
3	2.25	21	0.01	A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 0.0034 df: 18

Genotipo	Means	n	S.E.			
L1	2.33	6	0.02	A		
L4	2.28	6	0.02	A	B	
L3	2.28	6	0.02	A	B	
L2	2.28	6	0.02	A	B	
L5	2.26	6	0.02	A	B	
L6	2.21	6	0.02		B	C
L7	2.15	6	0.02			C

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

MOLINERÍA

Anexo 14. ANVA de Rendimiento de molinería y test de Duncan a un nivel de significación de 0.05.

Rendimiento de molinería

Variable	N	R^2	Adj R^2	CV
RM	42	0.68	0.26	1.63

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value	(Error)
Model.	50.42	23	2.19	1.63	0.1456	
Densidad	11.23	2	5.62	3.07	0.2454	(Densidad*Bloque)
Bloque	2.48	1	2.48	1.85	0.1910	
Densidad*Bloque	3.65	2	1.83	1.36	0.2815	
Genotipo	22.55	6	3.76	2.80	0.0419	
Densidad*Genotipo	10.51	12	0.88	0.65	0.7723	
Error	24.15	18	1.34			
Total	74.57	41				

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 1.8264 df: 2

Densidad	Means	n	S.E.	
D2	71.56	14	0.36	A
D1	71.29	14	0.36	A
D3	70.36	14	0.36	A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 1.3417 df: 18

Bloque	Means	n	S.E.	
1	71.31	21	0.25	A
3	70.83	21	0.25	A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 1.3417 df: 18

Genotipo	Means	n	S.E.			
L6	72.32	6	0.47	A		
L7	71.68	6	0.47	A	B	
L1	71.20	6	0.47	A	B	C
L5	71.07	6	0.47	A	B	C
L3	70.98	6	0.47	A	B	C
L4	70.22	6	0.47		B	C
L2	70.03	6	0.47			C

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Anexo 15. ANVA de Porcentaje de granos enteros y test de Duncan a un nivel de significación de 0.05.

Porcentaje de granos enteros

Variable	N	R^2	Adj R^2	CV
PGE	42	0.70	0.31	2.84

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model.	137.13	23	5.96	1.81	0.1005
Densidad	24.45	2	12.22	438.83	0.0023
Bloque	18.14	1	18.14	5.52	0.0304
Densidad*Bloque	0.06	2	0.03	0.01	0.9916
Genotipo	70.58	6	11.76	3.58	0.0164
Densidad*Genotipo	23.91	12	1.99	0.61	0.8103
Error	59.17	18	3.29		
Total	196.30	41			

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 0.0279 df: 2

Densidad	Means	n	S.E.			
D1	64.72	14	0.04	A		
D2	64.11	14	0.04		B	
D3	62.89	14	0.04			C

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 3.2871 df: 18

Bloque	Means	n	S.E.		
1	64.56	21	0.40	A	
3	63.25	21	0.40		B

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 3.2871 df: 18

Genotipo	Means	n	S.E.			
L4	66.12	6	0.74	A		
L6	64.57	6	0.74	A	B	
L7	64.33	6	0.74	A	B	
L3	64.02	6	0.74	A	B	
L1	63.45	6	0.74		B	C
L5	63.33	6	0.74		B	C
L2	61.52	6	0.74			C

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Anexo 16. ANVA de Porcentaje de granos quebrados y test de Duncan a un nivel de significación de 0.05.

Porcentaje de granos quebrados

Variable	N	R^2	Adj R^2	CV
PGQ	42	0.75	0.43	19.05

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model.	100.39	23	4.36	2.34	0.0349
Densidad	7.44	2	3.72	2.41	0.2935
Bloque	7.21	1	7.21	3.87	0.0649
Densidad*Bloque	3.09	2	1.55	0.83	0.4525
Genotipo	73.81	6	12.30	6.60	0.0008
Densidad*Genotipo	8.84	12	0.74	0.40	0.9474
Error	33.56	18	1.86		
Total	133.95	41			

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 1.5457 df: 2

Densidad	Means	n	S.E.	
D3	7.47	14	0.33	A
D2	7.46	14	0.33	A
D1	6.57	14	0.33	A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 1.8644 df: 18

Bloque	Means	n	S.E.	
3	7.58	21	0.30	A
1	6.75	21	0.30	A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 1.8644 df: 18

Genotipo	Means	n	S.E.		
L2	8.52	6	0.56	A	
L6	7.75	6	0.56	A	
L1	7.75	6	0.56	A	
L5	7.73	6	0.56	A	
L7	7.35	6	0.56	A	
L3	6.97	6	0.56	A	
L4	4.10	6	0.56		B

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Anexo 17. ANVA de Índice de trasluscencia y test de Duncan a un nivel de significación de 0.05.

Indice de transluscencia

Variable	N	R^2	Adj R^2	CV
IT	42	0.47	0.00	70.99

Analysis of variance table (Partial SS)

S.V.	SS	df	MS	F	p-value
Model.	0.32	23	0.01	0.70	0.7949
Densidad	0.01	2	3.1E-03	0.42	0.7045
Bloque	0.09	1	0.09	4.37	0.0511
Densidad*Bloque	0.01	2	0.01	0.38	0.6925
Genotipo	0.10	6	0.02	0.89	0.5244
Densidad*Genotipo	0.10	12	0.01	0.44	0.9250
Error	0.35	18	0.02		
Total	0.67	41			

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 0.0074 df: 2

Densidad	Means	n	S.E.	
D2	0.21	14	0.02	A
D1	0.19	14	0.02	A
D3	0.19	14	0.02	A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 0.0197 df: 18

Bloque	Means	n	S.E.	
1	0.24	21	0.03	A
3	0.15	21	0.03	A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Test:Duncan Alpha:=0.05

Error: 0.0197 df: 18

Genotipo	Means	n	S.E.	
L1	0.25	6	0.06	A
L3	0.25	6	0.06	A
L4	0.23	6	0.06	A
L7	0.20	6	0.06	A
L2	0.18	6	0.06	A
L5	0.17	6	0.06	A
L6	0.10	6	0.06	A

Means with a common letter are not significantly different (p > 0.05)

Anexo 18. Coeficientes de correlación de Pearson entre todas las variables evaluadas.

Correlation coefficients

Pearson correlation

Variable(1)	Variable(2)	n	Pearson	p-value
RDTO	DF	42	-0.28	0.0682
RDTO	MS	42	0.92	<0.0001
RDTO	IC	42	0.38	0.0139
RDTO	A	42	0.32	0.0380
RDTO	LP	42	0.35	0.0243
RDTO	NP.M2	42	-0.07	0.6738
RDTO	NG.P	42	0.14	0.3630
RDTO	P1000G	42	0.41	0.0072
RDTO	%EST	42	-0.12	0.4376
RDTO	LS	42	0.46	0.0022
RDTO	AS	42	-0.19	0.2187
RDTO	ES	42	0.36	0.0191
RDTO	RM	42	-0.25	0.1150
RDTO	PGE	42	-0.15	0.3506
RDTO	PGQ	42	-0.01	0.9730
RDTO	IT	42	-0.22	0.1549
DF	MS	42	-0.22	0.1602
DF	IC	42	-0.36	0.0189
DF	A	42	-0.58	0.0001
DF	LP	42	-0.41	0.0067
DF	NP.M2	42	0.13	0.4295
DF	NG.P	42	-0.35	0.0241
DF	P1000G	42	-0.44	0.0039
DF	%EST	42	0.18	0.2413
DF	LS	42	-0.63	<0.0001
DF	AS	42	0.36	0.0190
DF	ES	42	-0.37	0.0151
DF	RM	42	0.28	0.0704
DF	PGE	42	-0.03	0.8694
DF	PGQ	42	0.24	0.1225
DF	IT	42	-0.25	0.1108

MS	IC	42	0.17	0.2764
MS	A	42	0.28	0.0730
MS	LP	42	0.28	0.0774
MS	NP.M2	42	-0.12	0.4646
MS	NG.P	42	0.04	0.7795
MS	P1000G	42	0.31	0.0460
MS	%EST	42	-0.06	0.7145
MS	LS	42	0.37	0.0169
MS	AS	42	-0.07	0.6372
MS	ES	42	0.26	0.0915
MS	RM	42	-0.26	0.0972
MS	PGE	42	-0.19	0.2244
MS	PGQ	42	0.04	0.8096
MS	IT	42	-0.33	0.0340
IC	A	42	0.34	0.0299
IC	LP	42	0.29	0.0634
IC	NP.M2	42	-0.05	0.7589
IC	NG.P	42	0.22	0.1568
IC	P1000G	42	0.30	0.0510
IC	%EST	42	-0.30	0.0517
IC	LS	42	0.51	0.0005
IC	AS	42	-0.30	0.0514
IC	ES	42	0.29	0.0583
IC	RM	42	-0.17	0.2732
IC	PGE	42	-0.17	0.2854
IC	PGQ	42	0.08	0.6361
IC	IT	42	0.29	0.0612
A	LP	42	0.47	0.0015
A	NP.M2	42	-0.07	0.6678
A	NG.P	42	0.37	0.0153
A	P1000G	42	0.48	0.0014
A	%EST	42	-0.21	0.1904
A	LS	42	0.60	<0.0001
A	AS	42	-0.44	0.0035
A	ES	42	0.29	0.0670
A	RM	42	-0.47	0.0019
A	PGE	42	-0.30	0.0524
A	PGQ	42	0.02	0.9124

A	IT	42	-0.07	0.6776
LP	NP.M2	42	0.02	0.8896
LP	NG.P	42	0.23	0.1402
LP	P1000G	42	0.60	<0.0001
LP	%EST	42	-0.21	0.1799
LP	LS	42	0.37	0.0151
LP	AS	42	-0.40	0.0082
LP	ES	42	0.22	0.1599
LP	RM	42	-0.32	0.0405
LP	PGE	42	-0.15	0.3358
LP	PGQ	42	-0.05	0.7409
LP	IT	42	0.09	0.5649
NP.M2	NG.P	42	0.17	0.2898
NP.M2	P1000G	42	-0.08	0.6241
NP.M2	%EST	42	0.10	0.5393
NP.M2	LS	42	0.06	0.7222
NP.M2	AS	42	-0.10	0.5122
NP.M2	ES	42	-0.01	0.9684
NP.M2	RM	42	-0.16	0.3143
NP.M2	PGE	42	0.01	0.9618
NP.M2	PGQ	42	-0.13	0.4196
NP.M2	IT	42	4.0E-03	0.9798
NG.P	P1000G	42	0.18	0.2658
NG.P	%EST	42	-0.15	0.3373
NG.P	LS	42	0.38	0.0143
NG.P	AS	42	-0.19	0.2297
NG.P	ES	42	0.28	0.0728
NG.P	RM	42	-0.26	0.1030
NG.P	PGE	42	-0.25	0.1079
NG.P	PGQ	42	0.11	0.4709
NG.P	IT	42	0.11	0.4776
P1000G	%EST	42	-0.18	0.2427
P1000G	LS	42	0.49	0.0009
P1000G	AS	42	-0.28	0.0674
P1000G	ES	42	0.35	0.0228
P1000G	RM	42	-0.19	0.2256

P1000G	PGE	42	-0.06	0.7138
P1000G	PGQ	42	-0.07	0.6507
P1000G	IT	42	0.06	0.6934
%EST	LS	42	0.04	0.7980
%EST	AS	42	-0.27	0.0811
%EST	ES	42	0.04	0.8093
%EST	RM	42	0.15	0.3318
%EST	PGE	42	0.09	0.5561
%EST	PGQ	42	1.4E-03	0.9930
%EST	IT	42	1.5E-03	0.9924
LS	AS	42	-0.33	0.0354
LS	ES	42	0.63	<0.0001
LS	RM	42	-0.35	0.0217
LS	PGE	42	-0.30	0.0551
LS	PGQ	42	0.10	0.5397
LS	IT	42	0.24	0.1258
AS	ES	42	-0.10	0.5193
AS	RM	42	0.07	0.6382
AS	PGE	42	-0.04	0.7850
AS	PGQ	42	0.11	0.4949
AS	IT	42	-0.03	0.8694
ES	RM	42	-0.21	0.1890
ES	PGE	42	0.03	0.8750
ES	PGQ	42	-0.18	0.2421
ES	IT	42	0.27	0.0828
RM	PGE	42	0.57	0.0001
RM	PGQ	42	0.06	0.7005
RM	IT	42	0.05	0.7371
PGE	PGQ	42	-0.79	<0.0001
PGE	IT	42	0.14	0.3720
PGQ	IT	42	-0.13	0.4073

Anexo 19. Características morfológicas, rendimiento y componentes de rendimiento obtenidos por cada tratamiento

Genotipos	Densidad (kg/ha)	A (cm)	DF (días)	NP/M2 (no.)	LP (cm)	NG/P (no.)	P1000G (g)	LG (mm)	L/A (mm)	R (kg/ha)	IC (%)	MS (kg/ha)	EST (%)	EG (mm)	AG (mm)	RM (%)	GE (%)	IT
LM3AS 463	60 kg/ha	118	89	452	23.7	114	33	7.7	3.3	9069	46	14028	8	1.8	2.4	71	64	0.3
	80 kg/ha	119	89	548	23.0	123	32	7.7	3.4	7735	43	11399	15	1.7	2.3	72	64	0.3
	100 kg/ha	116	91	556	21.3	149	31	8.0	3.4	9004	44	14965	7	1.8	2.4	71	62	0.1
LM3AS 339	60 kg/ha	121	85	536	22.1	137	32	7.9	3.5	8719	40	15000	14	1.8	2.3	71	63	0.1
	80 kg/ha	128	87	500	24.4	110	33	8.0	3.6	8655	45	15957	6	1.7	2.2	71	61	0.2
	100 kg/ha	125	91	460	24.0	133	31	7.8	3.4	9220	47	13722	10	1.8	2.3	69	61	0.2
LM3AS 44	60 kg/ha	120	89	468	25.2	121	33	7.7	3.3	8732	42	15932	9	1.8	2.3	71	65	0.2
	80 kg/ha	120	90	492	24.3	139	32	7.5	3.3	7504	46	10433	8	1.7	2.3	72	64	0.2
	100 kg/ha	118	85	520	23.9	148	32	7.5	3.3	7653	42	10242	9	1.7	2.3	70	63	0.3
LM3AS 160	60 kg/ha	120	87	508	23.6	98	31	7.6	3.3	8607	43	14150	7	1.8	2.3	71	68	0.2
	80 kg/ha	127	85	480	23.7	133	30	7.5	3.3	7141	42	11897	2	1.7	2.3	71	66	0.2
	100 kg/ha	112	86	476	23.0	119	31	7.5	3.3	8093	42	12426	15	1.8	2.3	69	65	0.2
LM3AS 547	60 kg/ha	115	97	468	20.6	101	29	7.5	3.3	6453	39	13484	24	1.7	2.3	72	64	0.1
	80 kg/ha	117	86	464	22.5	103	31	7.5	3.4	6617	46	15738	7	1.8	2.2	70	62	0.1
	100 kg/ha	111	91	560	21.7	85	31	7.6	3.4	6719	44	12256	8	1.8	2.3	71	63	0.2
Tinajones	60 kg/ha	110	97	484	20.6	112	26	7.0	3.1	7173	41	10411	6	1.9	2.2	72	64	0.1
	80 kg/ha	107	96	480	21.8	97	29	7.3	3.3	4821	38	11796	20	1.8	2.2	74	66	0.2
	100 kg/ha	107	98	472	23	99	31	6.8	3.1	5804	36	13046	3	1.8	2.2	72	64	0.1
IR43	60 kg/ha	108	98	424	20.6	111	30	6.9	3.2	6483	44	13827	4	1.8	2.2	73	66	0.3
	80 kg/ha	108	99	544	21.4	98	30	6.9	3.2	5305	36	9873	14	1.8	2.2	72	65	0.1
	100 kg/ha	103	100	564	20.8	107	27	7.0	3.2	7529	37	14486	14	1.8	2.2	70	62	0.1
Densidad		*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s
Genotipo		*	*	n.s.	*	*	*	*	*	*	*	n.s.	*	*	*	*	*	n.s

Nota: A = Altura de planta. DF = Floración al 50% de las plantas. NP/M2 = Número de panículas por metro cuadrado. LP = Longitud de panícula. NG/P = Número de granos por panícula. P1000G = Peso de 1000 granos. LG = Longitud de grano. L/A = Longitud/Ancho de grano. R = Rendimiento. IC = Índice de cosecha. MS = Materia seca. EST = Porcentaje de esterilidad. EG = Espesor de grano. AG = Ancho de grano. RM = Rendimiento en molino. GE = Porcentaje de grano entero. IT = Índice de translucencia. (*) = Significativo. (n.s.) = No significativo.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS

LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante : UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

Departamento : LA LIBERTAD
Distrito :
Referencia : H.R. 57631-019C-17

Provincia : PACASMAYO
Predio :
Fecha : 21/02/17

Número de Muestra		pH	C.E.	$CaCO_3$	M.O.	P	K	Análisis Mecánico			Clase	CIC	Cationes Cambiables					Suma	Suma	%
Lab	Claves		(1:1)					Arena	Limo	Arcilla	Textural		Ca^{+2}	Mg^{+2}	K^{+}	Na^{+}	$Al^{+3} + H^{+}$	de	de	Sat. De
		(1:1)	dS/m	%	%	ppm	ppm	%	%	%		meq/100g						Cationes	Bases	Bases
1210		7.13	1.50	1.40	2.53	19.2	217	46	30	24	Fr.	21.12	16.77	2.72	1.28	0.35	0.00	21.12	21.12	100

A = Arena ; A.Fr. = Arena Franca ; Fr.A. = Franco Arenoso ; Fr. = Franco ; Fr.L. = Franco Limoso ; L = Limoso ; Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso ; Fr.Ar. = Franco Arcilloso;
Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso ; Ar.A. = Arcillo Arenoso ; Ar.L. = Arcillo Limoso ; Ar. = Arcilloso