

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



“Evaluación de calidad molinera de genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.) en el Programa de Granos Básicos del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Álvarez Córdova" (CENTA)”

POR

IRIS GUADALUPE HERNÁNDEZ ALFARO

REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERA AGROINDUSTRIAL

CIUDAD UNIVERSITARIA, MAYO 2026

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

M. Sc. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA

SECRETARIO GENERAL:

LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

DECANO:

M. Sc. NELSON BERNABÉ GRANADOS ALVARADO

SECRETARIO:

M. Sc. EDGAR GEOVANY REYES MELARA

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

M. Sc. HUMBERTO RUIZ MEJÍA

ASESOR INTERNO

M. Sc. HUMBERTO RUIZ MEJÍA

ASESOR EXTERNO

ING. AGR. JORGE JOSÉ GONZÁLEZ CABRERA

**COORDINADOR DE PROCESOS DE GRADO DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
AGROINDUSTRIAL**

ING. HAYDEE ESMERALDA MUNGÍA DE PÉREZ

RESUMEN

La investigación se desarrolló en el Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA), en el Subprograma de arroz del Programa de Granos Básicos, ubicado en Ciudad Arce, departamento de La Libertad. El objetivo del estudio fue evaluar la calidad molinera y determinar el contenido de zinc mediante el método de fluorescencia de rayos X (XRF) en 16 genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.), cultivados en tres Estaciones Experimentales del CENTA Santa Cruz Porrillo (La Paz), Izalco (Sonsonate) y San Andrés 1 (La Libertad), generándose un total de 48 repeticiones. Los genotipos fueron proporcionados por el CENTA procedentes del estudio denominado “(Evaluación Preliminar de Rendimiento) EPR-2024”.

El análisis estadístico se realizó bajo un diseño experimental de Bloques Completos al Azar, considerando los genotipos como tratamientos, y las localidades como bloques. Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) para identificar diferencias significativas entre los genotipos. Dentro del estudio se utilizó la prueba comparativa de Tukey, para determinar significancia dentro de los genotipos.

Los resultados evidenciaron diferencias significativas entre los genotipos evaluados. El mayor rendimiento de pilada se registró en BF21AR009 (74.53%); mientras que L-5814 destacó en porcentaje de grano entero (81.35%). El genotipo BF20AR006 presentó el menor porcentaje de grano yesoso (3.60%) y el mayor contenido de zinc (24.67). Además, varios genotipos no registraron grano dañado (0.00%). De manera integral, BF20AR006 mostró el mejor desempeño global, combinando calidad física y valor nutricional.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	1
2.1. Objetivo general.	2
2.2. Objetivos específicos.	2
3. MARCO TEÓRICO.	3
3.1. Origen.	3
3.2. Importancia del arroz en El Salvador.	3
3.3. Grano de arroz.	3
3.4. Calidad molinera.	9
3.5. Molienda de arroz.	12
3.6. Análisis de contenido de zinc en arroz.	15
4. METODOLOGÍA	18
4.1. Descripción del estudio.	18
4.2. Ubicación del lugar.	18
4.3. Metodología de oficina.	18
4.4. Metodología de campo.	19
4.5. Metodología de laboratorio.	21
4.6. Metodología estadística.	27
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
5.1. Resultados de impureza.	28
5.2. Resultados de porcentaje de humedad.	29
5.3. Resultados de calidad molinera.	30
5.4. Resultados de análisis de zinc por el método de fluorescencia de rayos X.	38

6. CONCLUSIONES	40
7. RECOMENDACIONES	41
9. ANEXOS	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cultivo de arroz (<i>Oryza sativa</i> L.) (Agroquímicos Arca, 2021).....	3
Figura 2. Corte longitudinal de un grano de arroz (Juliano, 1993).	4
Figura 3. Clasificación de granos de arroz (Kozlova, 2026).	5
Figura 4. Subespecies de arroz Índica y Japónica (Flickr, 2008).....	6
Figura 5. Flujograma del proceso de molienda de arroz (<i>Oryza sativa</i> L.).....	13
Figura 6. Esquema que representa fluorescencia de rayos X (BRUKER, 2025).	17
Figura 7. Ubicación de la sede central del CENTA y la Estación Experimental San Andrés 1. .	18
Figura 8. Prueba de germinación de semillas.....	20
Figura 9. Establecimiento y toma de datos del ensayo EPR-2025.	20
Figura 10. Fases del incremento de semilla de nuevas líneas de arroz.	21
Figura 11. Limpieza de impurezas.	22
Figura 12. Pesado y determinación de impurezas.	23
Figura 13. Medición de parámetros de calidad molinera de arroz.....	24
Figura 14. Proceso del grano entero.	25
Figura 15. Determinación de contenido de zinc.	26
Figura 16. Promedio del porcentaje de impurezas.	28
Figura 17. Comportamiento del rendimiento de pilada en 16 genotipos de arroz.	31
Figura 18. Comportamiento del porcentaje de grano yesoso en 16 genotipos de arroz.	33
Figura 19. Grano de arroz oro normal y yesoso.....	33
Figura 20. Comportamiento del porcentaje de grano entero en 16 genotipos de arroz.	35
Figura 21. Representación de arroz oro entero, miga y miguilla.....	35
Figura 22. Comportamiento del porcentaje de grano dañado en 16 genotipos de arroz.	37
Figura 23. Granos de arroz oro dañados.	37

Figura 24. Plagas encontradas en las repeticiones de arroz evaluadas.37

Figura 25. Comportamiento del contenido de zinc en 16 genotipos de arroz.39

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Resultados del porcentaje de humedad de los 16 genotipos.29

Cuadro 2. Resultados del porcentaje de rendimiento de pilada.30

Cuadro 3. Resultados del porcentaje de grano yesoso.32

Cuadro 4. Resultados del porcentaje de grano entero.34

Cuadro 5. Resultados del porcentaje de grano dañado.36

Cuadro 6. Resultados del porcentaje de contenido de zinc.38

ÍNDICE DE ANEXOS

A- 1. Clasificación por tamaño y ancho de los granos de arroz.46

A- 2. Contenido de vitaminas y minerales de fracciones del grano de arroz.46

A- 3. Composición química del arroz y sus subproductos.46

A- 4. Normativas y regulaciones para calidad molinera de arroz.47

A- 5. Materiales y equipo de campo.47

A- 6. Formula de germinación de semillas.47

A- 7. Genotipos de la Evaluación Preliminar de rendimiento 2025.48

A- 8. Materiales y equipo de laboratorio.48

A- 9. Diagrama del proceso de Calidad Molinera de arroz (*Oryza sativa* L.).49

A- 10. 16 genotipos utilizados en el desarrollo de la pasantía de calidad molinera.49

A- 11. Localidades pertenecientes al estudio EPR 2024.49

A- 12. Cuadro de los genotipos con su respectivo número de lote.49

A- 13. Fórmula para determinar el porcentaje de impurezas.51

A- 14. fórmula para determinar el promedio de humedad.51

A- 15. Fórmula para determinar el rendimiento de pilada.51

A- 16. Fórmula para determinar el porcentaje de grano yesoso.51

A- 17. Fórmula para determinar el porcentaje de granos rojos.	51
A- 18. Fórmula para determinar el porcentaje de granos dañados.	51
A- 19. Diagrama del proceso de evaluación de contenido de zinc.	51
A- 20. Resultados de porcentaje de impureza.	52
A- 21. Norma de Calidad para la compra de arroz granza.	52
A- 22. Resultados de porcentaje de rendimiento de pilada.	53
A- 23. Resultados de porcentaje de grano yesoso.	53
A- 24. Resultados de porcentaje de grano entero.	54
A- 25. Resultados de porcentaje de grano dañado.	54
A- 26. Resultado de porcentaje de grano rojo.	55
A- 27. Resultados de n° de semillas objetables / 100 g de muestra.	55
A- 28. Resultado general de análisis de contenido de zinc.	56

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de arroz, (*Oryza sativa* L.), comenzó hace casi 10.000 años, en muchas regiones húmedas de Asia tropical y subtropical. Este cultivo es un alimento básico para más de la mitad de la población mundial (Acevedo, Castrillo, & Belmonte, 2006). Las variedades de arroz destinadas al uso agroindustrial deben ser de alta calidad molinera, es decir, que garanticen la obtención del mayor porcentaje de granos enteros (Ragel, Rojas, Hernández, et al. 2018). El (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal [CENTA]) dispone de semillas certificadas de arroz con excelentes características agronómicas. Estas variedades han sido mejoradas para ofrecer alto rendimiento, resistencia a enfermedades y calidad del grano. Entre las variedades disponibles destacan: arroz CENTA A-8, variedad certificada, resistente a la enfermedad de la Piricularia, alta calidad de grano y excelente rendimiento molinero gracias a su grano cristalino y arroz CENTA Nutremás, con un alto contenido de hierro y zinc, esta variedad representa una alternativa nutricionalmente mejorada para contribuir a la seguridad alimentaria y nutricional (SAN) de las familias salvadoreñas (Ministerio de Agricultura y Ganadería [MAG], 2021). Con el objetivo de fortalecer el desarrollo del cultivo arroz en el país, se llevó a cabo una pasantía en el Subprograma de arroz del Programa de Granos Básicos del CENTA, en la cual se realizaron y documentaron evaluaciones de calidad molinera en 16 genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.), considerando los factores de calidad de índice de pilada, porcentaje de grano yesoso, grano rojo, grano entero y número de semillas objetables y los factores de limpieza y humedad como: impurezas y porcentaje de humedad, además se evaluó el contenido de zinc mediante el método de fluorescencia de rayos (XRF). Los resultados permitieron identificar los genotipos que cuentan con mejor calidad molinera para la industria arrocera en El Salvador, beneficiando tanto a productores como a consumidores. Este estudio resulta útil para los productores, investigadores y fitomejoradores del cultivo de arroz, ya que les permite seleccionar variedades con mayor potencial de rendimiento, optimizando el uso de sus recursos y mejorando la calidad del producto final. Asimismo, esta investigación contribuirá al fortalecimiento del sector arrocero en El Salvador, promoviendo el uso de variedades mejoradas.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general.

- Evaluación de la calidad molinera de genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.) en el Programa de Granos Básicos del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Álvarez Córdova" (CENTA).

2.2. Objetivos específicos.

- Determinar el rendimiento de molino, mediante los parámetros de: humedad, pureza, índice de pilada, número de semillas objetables, porcentaje de grano yesoso, porcentaje de grano rojo, porcentaje de granos dañados por insectos y porcentaje de grano entero.
- Definir el contenido de zinc a los 16 genotipos de arroz por medio del método de Fluorescencia de Rayos X (XRF).
- Comparar estadísticamente cuál de los 16 genotipos de arroz obtiene los mejores resultados, aplicando el diseño experimental de Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA).

3. MARCO TEÓRICO.

3.1. Origen.

El arroz (*Oryza sativa* L.), es una de las plantas más antiguas, por tal razón ha sido difícil establecer con exactitud la época en que el hombre inició su propagación, aunque la literatura China menciona 3000 años antes de Cristo. El arroz (*Oryza sativa* L.) (figura 1), tuvo su origen al sur de la India y llegó a América a través de China, Mesopotamia, Grecia, Egipto, Marruecos y España (CENTA, 2018).

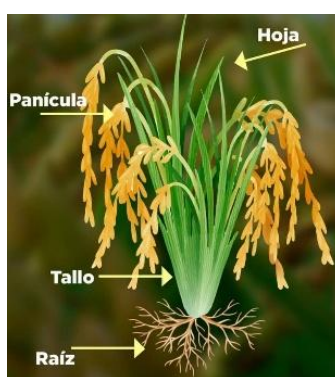


Figura 1. Cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) (Agroquímicos Arca, 2021).

3.2. Importancia del arroz en El Salvador.

En El Salvador, el arroz es un “grano básico” al igual que el frijol y el maíz. El arroz apto para el consumo humano se conoce como “arroz oro” y es el producto final del proceso industrial, formado por granos enteros y quebrados de arroz, a los cuales se les ha eliminado la cáscara, las glumas y la semolina, y como máximo puede tener un 10% de arroz granza, impurezas, semillas objetables, granos dañados, manchados, rojos y yesosos, ya sean estos solos o combinados. Por tanto, el arroz oro es un bien resultado de un proceso de manufactura realizado en una planta comúnmente denominada beneficio o molino de arroz, a partir del “arroz granza”, que constituye su materia prima. (Superintendencia de Competencia [SC], 2012).

3.3. Grano de arroz.

“Un grano de arroz es la semilla de la especie herbácea *Oryza sativa* (arroz asiático) u *Oryza glaberrima* (arroz africano).

Es un alimento básico para gran parte de la población mundial, especialmente en Asia” (Grain of Rice, 2024).

Según Paredes C, et al., (2020) “El grano de arroz es una estructura compleja formada por una capa protectora exterior que lo cubre, llamada cáscara (lemma y palea), y la cariopsis de arroz o fruto”.

La estructura del grano (figura 2) contiene agua que sirve como medio de transporte de las sustancias nutritivas que mediante los procesos bioquímicos dan lugar a la maduración de este. Cuando el grano alcanza la maduración fisiológica se independiza de la planta y empieza a interactuar con el aire del medio ambiente, en donde, según las condiciones psicrométricas puede perder humedad hasta la cosecha (Suarez Alarcon, 2018).

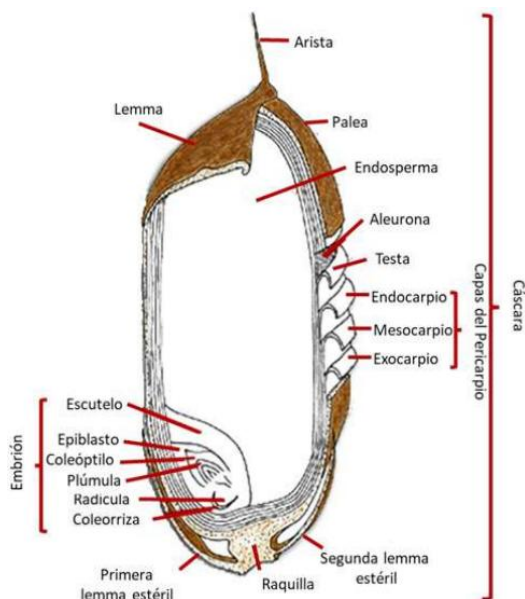


Figura 2. Corte longitudinal de un grano de arroz (Juliano, 1993).

3.3.1. Clasificación de granos de arroz.

- **Grano dañado.** Grano de arroz pilado, entero y quebrado grueso, que presenta deterioro por acción de insectos, microorganismos, humedad o causas mecánicas (figura 3, a). En esta definición no se incluyen los granos manchados y dañados por calor (Reglamento Técnico [RTCR] 406:2007, 2008).
- **Grano de arroz en granza.** Grano o fracción de grano proveniente de la especie *Oryza sativa* L., fisiológicamente desarrollado y maduro y que conserva más del 50% de la cáscara

(figura 3, b), (cubierta seminal) después de cosechado (RTCR 406:2007, 2008).

- **Grano entero.** Grano de arroz pilado, cuya longitud es igual o mayor a tres cuartos de la longitud del grano sin quebraduras (figura 3, c), en la muestra (RTCR 406:2007, 2008).
- **Grano quebrado grueso.** Fracción de grano de arroz pilado, cuya longitud es menor a tres cuartos, pero mayor a un cuarto de la longitud del grano sin quebraduras en la muestra (figura 3, d), (RTCR 406:2007, 2008).
- **Grano quebrado.** Fracción de grano de arroz pilado, cuya longitud es menor a tres cuartos de la longitud del grano sin quebraduras (figura 3, e), en la muestra (RTCR 406:2007, 2008).
- **Grano rojo.** Grano de arroz pilado, entero y quebrado grueso, que presenta una estría de color rojo (figura 3, f), en toda su longitud o estrías parciales que sumadas sean igual o superior a la longitud del grano (RTCR 406:2007, 2008).
- **Grano yesoso.** Grano de arroz pilado, entero y quebrado grueso, que tiene al menos la mitad de su volumen de una apariencia similar al yeso o tiza (figura 3, g). También se considera al que tiene un cincuenta por ciento o más de su superficie con esta apariencia (RTCR 406:2007, 2008).



Figura 3. Clasificación de granos de arroz (Kozlova, 2026).

Nota. a) Grano dañado; b) Grano de arroz en granza; c) Grano entero; d) Grano quebrado grueso; e) Grano quebrado; f) Grano rojo; g) Grano yesoso.

3.3.2. Tipos de *Oryza sativa*. Según Chandler, (1979) citado por Victor, Berrío, & Charry, (s.f.). “En la especie *Oryza sativa* L., se consideran tres grupos o tipos de arroz: índica, japónica y javánica o bulú”. Su origen estaría en la selección hecha, bajo diferentes ambientes, del arroz silvestre en los procesos de domesticación. El tipo índica y el tipo japónica fueron considerados

subespecies de *Oryza sativa*, en la (figura 4, a) se presenta un grano de arroz de la variedad índica y en la (figura 4, b) se presenta un grano de arroz de la variedad japónica (Victor, Berrío, & Charry, s.f.).

- **Índica.** Estos granos tienen un contenido de amilosa entre medio y alto que les da un aspecto seco y blando, y los hace poco aptos para desintegrarse en la cocción. (Victor, Berrío, & Charry, s.f.).

Los granos de arroz índica son de largos a cortos, delgados, algo planos y las espiguillas no tienen aristas. Los granos de arroz índica se desgranar con mayor facilidad y tienen un contenido de amilosa del 23 al 31% (MajorDifference, 2024).

- **Japónica.** Sus granos son cortos y anchos y su contenido de amilosa, que es bajo, los hace pegajosos y con tendencia a desintegrarse en la cocción (Victor, Berrío, & Charry, s.f.)

Los granos de arroz japónica son cortos, redondeados, las espiguillas son sin arista o con aristas largas, los granos no se desgranar fácilmente y tienen un contenido de amilosa del 0 al 20%. (MajorDifference, 2024).

- **Javánica o bulú.** Estas variedades son similares a la japónica, con la diferencia de que sus granos son aristados (Victor, Berrío, & Charry, s.f.).

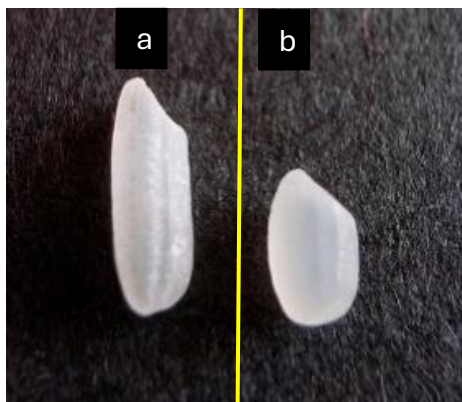


Figura 4. Subespecies de arroz Índica y Japónica (Flickr, 2008).

Nota. La figura representa; a) un grano de arroz de la variedad índica y b) un grano de arroz de la variedad japónica.

3.3.3. Características fisicoquímicas y nutricionales del arroz.

- **Características físicas del arroz.** A continuación, en el (A-1) se describen algunos sistemas utilizados por el (Instituto Internacional para la Investigación en Arroz [IRRI]), para

clasificar el tamaño del grano de arroz. La FAO y el IRRI (Juliano, 1993) citado por (Paredes C, et al., 2020) clasifican a los granos de arroz en las siguientes categorías:

- **Características químicas del arroz.**

Almidón. “El almidón es el componente más importante del grano de arroz, ya que comprende alrededor de un 95 % del peso seco del grano” (Fitzgerald et al., 2009), también, “es un factor determinante en la calidad culinaria y de consumo del grano. El almidón es un carbohidrato compuesto por dos polímeros de glucosa diferentes, amilosa y amilopectina” (Li et al., 2015). “Los cuales influyen varias propiedades de calidad como viscosidad de la pasta, temperatura de gelatinización, consistencia del gel y textura del grano cocido” (Bao, 2012) citado por Paredes C, et al., (2020).

Amilosa. “Es un polisacárido constituyente del almidón, formado por moléculas de glucosa” (Real Academia Española [RAE], 2024). “El contenido de amilosa del grano de arroz tiene un profundo impacto en su aceptabilidad y propiedades sensoriales, como la textura del grano cocido” (Paredes C, et al., 2020).

“Las variedades de arroz tipo índica se caracterizan por tener alto porcentaje de amilosa (> 25 %) siendo arroces secos, duros y con granos que se separan y endurecen fácilmente después de cocidos” (Paredes C, et al., 2020).

“Las variedades de tipo japónica se caracterizan por presentar bajo contenido de amilosa, granos más blandos, de mayor cohesión, más pegajosos y cremosos” (Fasahat et al., 2014; Biselli et al., 2014) citado por Paredes C, et al., (2020).

Amilopectina. “Es un polímero de glucosa altamente ramificado, con un alto número de ramas cortas y de alto peso molecular” (Juliano, 1971) citado por Paredes C, et al., (2020). “La amilopectina juega un rol fundamental en la calidad del arroz, puesto que está asociada al proceso de gelatinización, temperatura de gelatinización de la pasta, pegajosidad y facilidad de retrogradación” (Lii et al., 2004) citado por Paredes C, et al., (2020).

- **Características nutricionales del arroz.** El mayor contenido de vitaminas del grupo B se concentra en el salvado al igual que el tocoferol (vitamina E). Situación similar ocurre cuando se compara el arroz integral con el arroz elaborado. La mayor concentración de calcio, hierro,

zinc y fósforo se encuentra en el salvado, seguido del arroz integral. En el (A-2) se presenta el contenido de vitaminas y minerales de diferentes fracciones del grano de arroz.

3.3.4. Composición química del arroz y sus subproductos. La elaboración del arroz con cáscara entrega diferentes fracciones como el arroz integral, arroz pulido, salvado, harinilla y cáscara en el (A-3) se presenta a detalle la composición química del arroz. Este procedimiento rinde aproximadamente 20 % de cascarilla, 10 a 12 % de pulido (salvado y harinilla), y 65 a 70 % de endosperma. El arroz elaborado puede tener un rendimiento de 50 a 65 % de grano entero; el pulido puede alcanzar entre 10 y 12 % (afrecho 3 %, harinilla 5 a 8 %, y germen 2 %); los granos quebrados entre 15 y 20 %; y las puntillas 2 %, dependiendo de las condiciones climáticas, genéticas, agronómicas e industriales.

El análisis químico de cada producto y subproducto señala que los principales componentes de la cáscara son la fibra cruda (41,1 %) y el extracto no nitrogenado (29,2 %). El salvado presenta un buen porcentaje de proteínas (12,5 %), grasa (13,1 %), fibra cruda (12,5 %) y un 42,0 % de extracto no nitrogenado. El pulido posee también un alto contenido de proteínas (12,5 %), grasa (11,2 %) y extracto no nitrogenado (56,1 %). Finalmente, en el arroz sin cáscara se encuentra un contenido de proteína de 8,4 % y un contenido no nitrogenado de 76,3 % se presenta la composición química del arroz y sus subproductos.

3.3.5. Productos y subproductos del arroz. Durante el proceso de molinería se obtienen dos tipos de subproductos: los de desecho y los utilizables. Los primeros no ofrecen ninguna entrada para el molino. Estos son: las impurezas o basuras extraídas por la prelimpiadora y la cascarilla. Esta es empleada para la fabricación de bloques para la construcción, como combustible para calderas, la ceniza utilizada como abono, en cultivos como plátano se utiliza como recubrimiento del suelo y también en la fabricación de aglomerados (Valencia M, 1994). Los subproductos utilizables son aquellos que después de ser sacados del proceso pueden ser vendidos en el mercado. Estos son: la harina de arroz o pulimento (salvado), utilizada en las fábricas de concentrados; el arroz partido en fracciones grandes también llamado arroz cristal, que se vende como arroz para sopa y como fuente de gritz en la industria cervecera; y el arroz partido en fracciones (< de un cuarto de su tamaño), que es conocido como granza utilizada por las fábricas de concentrados para animales (Valencia M, 1994).

3.3.6. Calidad del grano de arroz. Según (Martínez, C, 1989), citado por (Valencia M, 1994). La calidad es el resultado de la acción de numerosos y variados factores; algunos están relacionados con las propiedades físico-químicas del grano tales como tamaño, forma, peso, pigmentación, dureza, temperatura de gelatinización, contenido de amilosa, etc., mientras que otros se refieren a la cosecha y su manejo, incluidas las labores de recolección, secado, transporte, procesamiento y almacenamiento.

3.3.7. Perspectiva de calidad del grano según el sector Fito técnico, sector agrícola, sector molinero, sector comerciante, consumidor final y para el nutricionista. “Dentro de cada sector de la industria arrocera (agricultores, molineros, fitomejoradores, comerciantes, nutricionistas y consumidores) el término "CALIDAD" tiene diferentes connotaciones, como se describe a continuación” (Baber y Juliano, 1971; Juliano 1972) citado por (Valencia, 1994).

- **Para el experto en semillas.** El término de calidad tiene que ver con el grado de pureza del material, su porcentaje de germinación en el laboratorio, presencia o ausencia de material inerte o de semilla de malezas nocivas o de otras variedades (Valencia, 1994).
- **El productor agricultor.** Identifica el término calidad con una buena germinación y vigor en el campo que le garantice un cultivo uniforme de buen rendimiento.
- **Para el molinero:** Lo más importante es que la variedad le permita obtener en el molino un porcentaje alto de granos enteros y cristalinos, que pueda vender a un buen precio.
- **El comerciante o intermediario.** Relaciona el término calidad con la apariencia externa del grano molido (porcentaje de arroz partido, presencia de centro blanco, brillo, etc.).
- **El consumidor.** Determina la calidad en base a dos características: apariencia externa del grano al comprarlo y la forma de cocción (rendimiento, textura, sabor y olor después de cocido).
- **Para el nutricionista.** La calidad está determinada por el valor nutricional del producto (contenido de vitaminas, minerales, proteínas, etc.) (Martínez, 1989) citado por (Valencia, 1994).

3.4. Calidad molinera.

La calidad molinera está constituida por evaluaciones que reproducen todo el proceso de

beneficio de arroz de mesa a escala de laboratorio. El arroz es cosechado con humedades mayores de 13% (en base húmeda) y cómo éstas resultan superiores a las consideradas inocuas para el almacenamiento por períodos prolongados, se debe secar en un plazo relativamente corto después de la cosecha, hasta lograr humedades de $12\pm 1\%$. Una vez seco, el grano se deja en reposo para equilibrar la humedad y temperatura, y luego se realiza el procesamiento (Ávila, s.f.).

3.4.1. Factores que afectan la calidad molinera. Además de la parte genética, esta característica está determinada por factores ambientales y de manejo, tales como la fertilización, cosecha, trilla, secamiento, almacenamiento, equipo de molienda y las condiciones de procesamiento, grado de molienda y proporción de granos enteros. Cada uno de estos aspectos de la calidad influyen en el potencial de molienda de arroz paddy (Valencia M, 1994).

- **Cosecha y trilla.** En la gran mayoría de los casos la cosecha y trilla son procesos que se ejecutan en forma simultánea. El momento adecuado para la cosecha y el contenido de la humedad son de gran importancia, ya que influyen en el rendimiento del arroz. Tanto una cosecha temprana como una tardía afectan negativamente el rendimiento del grano y la molienda (Valencia M, 1994).

Si el arroz es cosechado con demasiada humedad tiene un alto porcentaje de granos inmaduros, lo cual incrementa el porcentaje de granos yesosos que son susceptibles de romperse originando un rendimiento más pobre en el molino; si por el contrario la cosecha se realiza con el grano muy seco, las fluctuaciones severas en la humedad del grano causadas por la lluvia, el rocío y el sol, hace que el arroz se quiebre principalmente en las variedades de grano largo, y se puede aumentar la incidencia de insectos y el ataque de vertebrados (Valencia M, 1994).

- **Secado.** Los granos son higroscópicos por naturaleza; esto significa que se humedecen o secan dependiendo de la temperatura y humedad relativa del aire que lo rodea. Es conveniente tener presente que no sólo es importante reducir la humedad del grano a corto tiempo, sino también que es preciso saber secar adecuadamente el producto para que este no pierda su integridad. El empleo de las altas temperaturas y bajos flujos de aire aceleran el

secado, pero ocasionan fisuras o roturas en el grano; lo mismo se puede lograr aumentando el flujo de aire y rebajando la temperatura del aire de secamiento (Valencia M, 1994).

- **Almacenamiento.** La meta primordial del almacenamiento es preservar la calidad del grano. El arroz recién cosechado, de cualquier grado de calidad, debe secarse y almacenarse de tal modo que en el momento de su consumo conserve el mismo grado que poseía al iniciarse el período de almacenamiento (Valencia M, 1994).

El contenido de humedad del 14% se considera seguro para el almacenamiento del arroz paddy hasta 5 meses. Para almacenamientos prolongados de 6 meses en adelante este contenido de humedad debe reducirse al 13% (Valencia M, 1994).

3.4.2. Parámetros para evaluar en la calidad molinera según la (Bolsa de Productos Agropecuarios de El Salvador [BOLPROES], 2000). La Norma establece que la “humedad y las impurezas no son factores de calidad, sino que determinan los requerimientos de limpieza y secado del producto” debido a que esto se refiere a “basura y agua y estos no dan arroz en su proceso industrial, pero deben removerse con fines de preservación y del procesamiento industrial de este producto”.

Los factores que sí son considerados para la calidad molinera son: rendimiento de pilada, porcentaje de grano entero, grano yesoso, grano verde y grano rojo, los cuales tienen que ver con la conversión de arroz granza a arroz oro, su solidez como grano entero y la calidad comercial y de presentación que tenga el arroz oro producido (BOLPROES, 2000). A continuación, se detallan los factores de calidad molinera antes mencionados:

- **Humedad.** Es la proporción de agua que contiene el arroz, expresada en forma de porcentaje, base húmeda. Se considera que la humedad adecuada para almacenar y procesar el arroz debe estar entre el 12% y 13%.
- **Impureza.** Son todas las materias que sean separables por métodos mecánicos convencionales de limpieza (Cribas o tamices y corrientes de aire), y que no son grano de arroz granza maduros y bien formados, o granos de arroz descascarados.
- **Grano inmaduro (verde).** Son aquellos granos de arroz granza enteros o quebrados, que presentan una coloración verde oscuro a pálido en más del 50% de su cubierta de cáscara.
- **Rendimiento de pilada.** Es el porcentaje de arroz oro total (entero, miga, miguilla y

semillas objetables) que se obtengan después del proceso de pulido del arroz descascarado (al que se le han removido las cáscaras).

- **Rendimiento de grano entero (índice de pilada).** Es el porcentaje de arroz entero presente en el arroz oro obtenido en el rendimiento de pilada.
- **Grano yesoso.** Es todo grano de arroz oro, entero o quebrado, que tiene al menos la mitad de su volumen de una apariencia física y color igual al yeso.
- **Grano rojo.** Es todo grano de arroz oro, entero o quebrado, que conserve al menos una o más estrías de pulimento rojo cuya longitud, individual o sumada, sea igual o mayor a la mitad de la longitud del grano o pedazo de grano.
- **Semillas objetables.** Son aquellas semillas enteras o quebradas, distintas del grano de arroz oro, y que no son separadas durante la elaboración del arroz granza a arroz oro, y que permanecen en el arroz oro después de su proceso de pulido.
- **Miga.** Son todos aquellos pedazos de grano de arroz oro, que tiene un tamaño entre $\frac{3}{4}$ y $\frac{1}{4}$ de la longitud total del grano entero de arroz oro.
- **Miguilla.** Son todos aquellos pedazos de grano de arroz oro, que tiene un tamaño menor de $\frac{1}{4}$ de la longitud total del grano entero de arroz oro. (Bolsa de Productos Agropecuarios de El Salvador (BOLPROES, 2000).

3.5. Molienda de arroz.

El proceso de molienda implica la eliminación de la cáscara y salvado que da como resultado el arroz blanco pulido. Este proceso es parte de la sucesión de la cosecha que se realiza para que esté apto para el consumo de la población, este proceso se puede realizar con maquinaria o de forma manual.

Tradicionalmente, el proceso de la molienda se realizaba golpeando el arroz con piedras para eliminar las capas de casco y salvado. En la actualidad se tiene maquinarias modernas las cuales facilitan el proceso molinero (Spiegato 2021) citado por Monar Coello, (2022).

3.5.1. Etapas del proceso de molienda. Dentro de la molienda, el pilado es el más importante y debe llevar un seguimiento durante cada etapa del proceso, aquí es donde se determina la calidad de cada muestra que pasa a ser procesada, analizando cada aspecto y todas las

variables que se necesitan estudiar, para obtener los resultados útiles, para posteriores investigaciones (Monar Coello, 2022).

Los pasos a seguir dentro de la molienda de arroz se presentan en el esquema de la (figura 5):

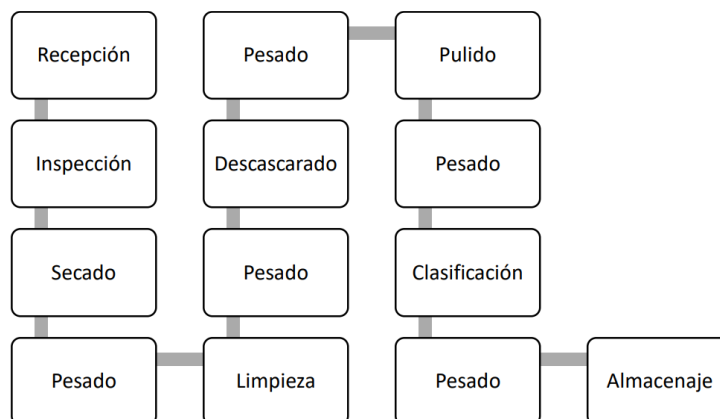


Figura 5. Flujograma del proceso de molienda de arroz (*Oryza sativa* L.).

3.5.2. Descripción del proceso de molienda.

- **Recepción.** Se recibe el arroz con cáscara e impurezas recién cosechado del campo, dos Kg aproximadamente por cada muestra (Monar Coello, 2022).
- **Inspección.** Se procede a realizar el control de humedad de todas las repeticiones que se recibieron, para asegurarse de que estén todas a la temperatura requerida (Monar Coello, 2022).

Según (BOLPROES, 2000), tanto en el lugar donde se toma la muestra como en el laboratorio, se realiza un análisis preliminar evaluando los factores de apariencia general del grano, presencia de hongos e insectos o un alto porcentaje de impurezas.

- **Secado de las repeticiones.** Las repeticiones que superan el porcentaje de humedad requerido para continuar con el proceso son sometidas a una sesión de secado acorde al porcentaje de humedad que se le quiera mermar, lo cual asegurará que las repeticiones no se dañen por el exceso de temperatura (Monar Coello, 2022).

Según (BOLPROES, 2000), para el proceso de secado se utiliza arroz limpio, la muestra se coloca en uno de los recipientes de la secadora, y se anota la hora de inicio y el tiempo estimado de secado, la temperatura del aire de secado no debe ser mayor a 38°C.

- **Pesado.** Después de la inspección y del secado de las repeticiones de alta humedad,

en una balanza se pesa 1000 gramos de cada muestra a procesar (Monar Coello, 2022).

- **Limpieza.** Este proceso es realizado por medio de una máquina en la cual se introducen los 1000 gramos y por medio de corrientes de aire y tres niveles de bandejas cernidoras, en donde cada muestra pasa por el mismo proceso dos veces (Monar Coello, 2022).

Según (BOLPROES, 2000), este paso se hace antes del proceso de secado. Para la limpieza se procesa la muestra en un aspirador de impurezas de laboratorio o también se puede hacer utilizando cribas manuales y todo aquello que no sea grano entero ni quebrado de arroz y quede sobre las bandejas o cribas se retira manualmente.

- **Pesado de la limpieza.** El pesado post limpieza consiste en pesar la muestra limpia y sin impurezas anotando el peso de esta, en una tabla y almacenando los residuos en una funda señalando a que muestra pertenece (Monar Coello, 2022).

- **Descascarado.** Consiste en procesar el arroz ya limpio en una máquina que posee unos rodillos de hule, los cuales ayudaran a separar la cáscara del grano, es necesario pasar dos veces la misma muestra (Monar Coello, 2022).

Según (BOLPROES, 2000), el descascarado consiste en pasar la muestra de arroz en una descascaradora de laboratorio el cual debe estar previamente calibrado para obtener al menos un 95% de los granos descascarados.

- **Pesado del descascarado.** El pesado posdescascarado consiste en pesar la muestra ya procesada, anotando el peso de esta en una tabla y almacenando la cáscara en una funda señalando a que muestra pertenece (Monar Coello, 2022).

- **Pulido.** Durante este proceso después del descascarado, consiste en procesar el arroz integral, separando el tegumento del grano, dándole la apariencia blanca y brillante que conocemos.

Según (BOLPROES, 2000), la muestra descascarada obtenida del proceso de descascarado se introduce en un pulidor tipo Mc Gill (N° 2 o N° 3). Previos al inicio de esta prueba, se debe procesar la muestra de arroz en el equipo durante un minuto, para precalentar el rodillo de pulido.

- **Pesado del pulido.** El pesado post pulido consiste en pesar la muestra ya procesada, anotando el peso de esta en una tabla y almacenando el polvillo en una funda señalando a que

muestra pertenece (Monar Coello, 2022).

- **Clasificación.** Este proceso consiste en poner el arroz ya pulido en una máquina que por medio de dos cernidores va a separar el grano quebrado del grano entero (Monar Coello, 2022).
- **Pesado de la clasificación.** El pesado post clasificación consiste en pesar la muestra ya procesada, anotando el peso de esta en una tabla y almacenando las repeticiones separadas cada cual en su funda (Monar Coello, 2022).
- **Almacenamiento.** Todo lo procesado que está en su respectiva funda se guarda en conjunto indicando a que muestra pertenece. Este proceso es el que se realiza en la Universidad Técnica de Babahoyo para determinar la calidad molinera del arroz (Monar Coello, 2022).

3.6. Análisis de contenido de zinc en arroz.

El Zinc es un elemento esencial para la salud humana por lo cual el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) trabajó con HarvestPlus, para mejorar el valor nutricional de los granos de arroz, principalmente el contenido de zinc en el grano pulido.

El zinc es un producto obtenido por la biofortificación. De acuerdo con Singh, A. (2022). “La biofortificación es el proceso de aumentar el contenido de nutrientes de una planta desde la semilla hasta la cosecha” y según la (Secretaría de la Seguridad Alimentaria y Nutricional [SESAN], 2020). La biofortificación de alimentos es el desarrollo de nuevas variedades de cultivos básicos con mayores contenidos de micronutrientes mediante el uso del mejoramiento convencional. Julio Franco, del Instituto de Ciencia y Tecnología agrícolas -ICTA- citado por (SESAN, 2020), explica: “Con la biofortificación se produce un cultivo con mayor cantidad de minerales que el que consumimos generalmente”.

Diferencia entre biofortificación y fortificación. De acuerdo con Singh, A. (2022). “La biofortificación difiere de la fortificación de alimentos, ya que la fortificación incrementa el valor nutricional de los cultivos comestibles durante su procesamiento”. Según (SESAN, 2020). “La diferencia entre biofortificación y la fortificación tradicional reside en que en la biofortificación se produce durante la fase de producción del cultivo o antes de la cosecha, en la fortificación el proceso se realiza después de la cosecha”.

Respecto a la naturaleza del cultivo biofortificado y su proceso, Franco citado por (SESAN, 2020), aclara, “Al referirnos al mejoramiento convencional debe entenderse que no hay transferencia de genes de otras plantas para ese cultivo, es decir, no es transgénico. El cruce se hace de manera manual entre dos plantas, donde una tiene mayor cantidad de proteínas y minerales (hierro o zinc) hacia la otra que tiene otra característica, por ejemplo, tolerancia a la sequía o a las plagas.

Nota. En el CENTA la biofortificación se realiza únicamente mediante el mejoramiento genético.

3.6.1. Fluorescencia de rayos X (XRF). El análisis por fluorescencia de rayos X (FRX) en arroz es utilizado como proceso continuo de control de calidad y medio de investigación Folch CE, (2007).

Las tecnologías XRF proporcionan análisis elementales de una gran variedad de materiales, incluidos metales, aleaciones, polímeros, cerámicas, materiales geológicos, productos derivados del petróleo, suelo, pintura y mucho más (BRUKER, 2025).

- **Principios de la fluorescencia de rayos X XRF.** Se basa en el proceso en el que alguna radiación de alta energía excita los átomos disparando electrones desde los orbitales más internos. Cuando el átomo se relaja, es decir, cuando los electrones externos llenan las capas internas, se emite radiación de fluorescencia de rayos X. Todo esto sucede sin tocar ni dañar la muestra (BRUKER, 2025).

La radiación emitida es muy parecida a una huella digital del átomo. La fluorescencia de cobre se ve muy diferente de la fluorescencia de zinc y de la fluorescencia de cualquier otro elemento en la tabla periódica. Por lo que XRF es una de las formas más sencillas y convenientes de hacer análisis elementales y se utiliza para una gran cantidad de aplicaciones industriales, de investigación y educativas, en la (figura 6) se el proceso de fluorescencia de rayos X (BRUKER, 2025).

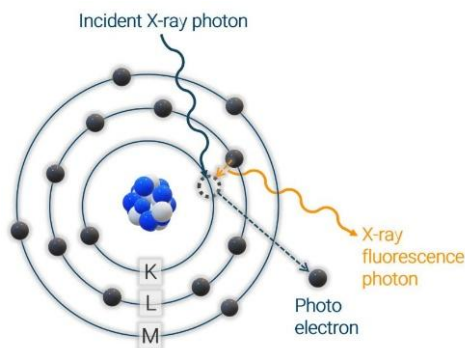


Figura 6. Esquema que representa fluorescencia de rayos X (BRUKER, 2025).

3.6.2. Etapas del análisis por fluorescencia de rayos X. El análisis por fluorescencia de rayos X posee seis etapas fundamentales:

1. Selección del método analítico, preparación y presentación de la muestra.
2. Excitación de las líneas características de los elementos de la muestra.
3. Dispersión de las líneas para medirlas en forma individual.
4. Detección y conversión de los fotones de rayos X en pulsos de corriente eléctrica.
5. Lectura de las medidas del detector.
6. Identificación de los elementos presentes en la muestra y/o conversión de los datos de intensidad de los rayos X en concentraciones analíticas (Folch, 2007).

3.6.3. Evaluación de contenido de Zinc por el método XRF. Después de evaluar la calidad molinera se realiza la determinación del contenido de zinc en el arroz blanco o pulido. La determinación de minerales de las repeticiones de arroz (en forma de grano o harina) se realiza por Fluorescencia de Rayos X (XRF). La cantidad mínima de muestra que se requiere es de 10 gramos (Fondo Latinoamericano para Arroz de Riego [FLAR], 2022).

3.6.4. Beneficios del arroz biofortificado con zinc. El zinc cumple muchas funciones en las células del cuerpo, permite el aprovechamiento de las proteínas, grasas y carbohidratos en el cuerpo, en el sistema de defensas y desarrollo (JICA, 2010). El aporte del consumo de alimentos biofortificados, por ejemplo, durante el embarazo ayuda a la nutrición del feto durante su desarrollo y nacimiento”, agrega Franco (SESAN, 2020).

En el anexo (A-4) se presentan diferentes normativas relacionadas con el arroz y la calidad molinera de este.

4. METODOLOGÍA

4.1. Descripción del estudio.

La pasantía de investigación se desarrolló con el apoyo del Departamento de Ingeniería Agroindustrial de la Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador y con el apoyo del Programa de Granos Básicos del Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal "Enrique Álvarez Córdova" [CENTA]; la cual consistió en la evaluación de calidad molinera de 16 genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.) cultivados en las tres Estaciones Experimentales del CENTA Santa Cruz Porrillo (La Paz), Izalco (Sonsonate) y San Andrés 1 (La Libertad), generándose un total de 48 repeticiones y el análisis del contenido de zinc por medio del método de fluorescencia de rayos X (XRF). La Pasantía de Investigación se realizó en el periodo de agosto de 2025 a enero de 2026.

4.2. Ubicación del lugar.

- **Sede central del CENTA.** Programa de Granos Básicos, ubicado en km 33 ^{1/2} Carretera a Santa Ana, Ciudad Arce, La Libertad con coordenadas geográficas N 13°80' y W 089°40', a 473 metros sobre el nivel del mar (msnm) (figura 7).
- **Estación Experimental San Andrés 1.** Se realizó en la parcela de arroz de la Estación Experimental San Andrés 1, ubicada en km 33 ^{1/2} Carretera a Santa Ana, Ciudad Arce, La Libertad con coordenadas geográficas N 13°80' y W 089°23', a 460 metros sobre el nivel del mar (msnm).

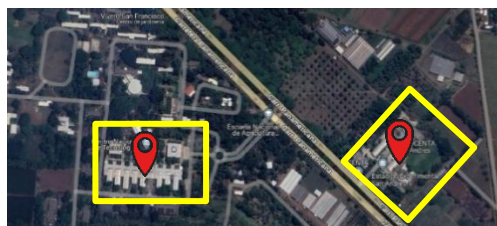


Figura 7. Ubicación geográfica de la sede central del CENTA y la Estación Experimental San Andrés 1, (Google Maps 2025).

4.3. Metodología de oficina.

- **Planificación de las actividades.** La planificación se realizó con el apoyo de los asesores interno y externo, en el cual se estableció semanalmente un itinerario de actividades conforme

al cronograma del proyecto de investigación, este fue ajustado a las actividades del CENTA para asegurar una ejecución eficiente de las prácticas.

- **Investigación bibliográfica.** Utilizando diferentes libros, tesis, guías técnicas y otras fuentes de información facilitadas por el CENTA o encontradas en internet, se obtuvo información teórica para respaldar las prácticas a desarrollar.
- **Análisis de resultados.** Toda la información recopilada en los diferentes procesos fue sustentada con información bibliográfica, a fin de respaldar los resultados obtenidos, la cual fue revisada por los asesores.
- **Redacción del documento.** Como resultado se elaboró un documento con toda la información recabada de la investigación en donde se exponen de forma gráfica los análisis de los resultados en base al diseño experimental propuesto con sus respectivas conclusiones y recomendaciones.

4.4. Metodología de campo.

- **Materiales y equipo de campo.** En el (A-5) se presenta a detalle los materiales y equipo utilizados en el desarrollo de las actividades para el establecimiento del ensayo de los diferentes genotipos de arroz.
- **Pruebas de germinación para la línea de arroz L-2462 – 2023 y 2024.** Primero se realizaron pruebas de germinación a las semillas de arroz granza de la línea L-2462, cosechadas en los años 2023 y 2024, con el propósito de seleccionar el material a utilizar en la siembra de L-2462 - 2025. La prueba consistió en colocar 100 semillas de arroz granza sobre el papel de germinación (figura 8, a), realizándose tres repeticiones por cada año de cosecha, dejando un total de 300 semillas de arroz granza de la cosecha del año 2023 y 300 semillas de arroz granza de la cosecha del año 2024, ambas cosechas pertenecen a la línea de arroz L-2462, esto con el fin de evaluar la viabilidad de la semilla. A los cinco días se les realizó la respectiva lectura a cada papel de germinación (figura 8, b), para obtener los resultados el cálculo del porcentaje de germinación en papel se hizo dividiendo el número de semillas germinadas entre el total de semillas sembradas y se multiplica por 100 como se presenta en la fórmula del (A-6). El resultado se expresa en % de semillas germinadas.



Figura 8. Prueba de germinación de semillas.

Nota. a) Prueba de germinación a la línea de arroz L-2462; b) semillas de arroz germinadas.

- **Establecimiento de los ensayos para la “Evaluación Preliminar de Rendimiento (EPR-2025)”.** Posteriormente, se colaboró a partir de la siembra de, los genotipos que se presentan en (A-7), para la EPR 2025 (figura 9, a). La semilla de arroz se sembró en granza, la siembra se hizo de manera directa con una profundidad de 2 a 5 cm y el método de siembra que se utilizó fue a chorro seguido de manera manual.

Luego se colaboró con el control de maleza de las parcelas de la EPR 2025, para lo cual se hizo el retiro de plantas arvenses de manera manual (figura 9, b).

Después, se participó en el monitoreo y toma de datos de los genotipos antes mencionados, cuando las líneas genéticas de la EPR 2025 alcanzaron la madurez fisiológica, se procedió a la toma de datos, registrándose la altura de planta (figura 9, c) y el largo de la panícula (figura 9, d) en cada genotipo evaluado. Por último, estos genotipos fueron cosechados, secados y almacenados en sacos como arroz en granza, para futuros estudios o investigaciones. Las actividades de campo permitieron obtener semilla suficiente y representativa, necesaria para la posterior evaluación de la calidad molinera 2026.



Figura 9. Establecimiento y toma de datos del ensayo EPR-2025.

Nota. a) Siembra de arroz a chorro seguido; b) Retiro de plantas arvenses; c) Medición de la variable de altura de planta; d) Medición de la variable de longitud de panícula.

- Incremento de semillas de nuevas líneas de arroz.** Adicionalmente, durante el desarrollo de la pasantía se colaboró en el incremento de nuevas líneas de arroz importadas de la República Popular de China para la obtención de semillas. Inicialmente, se realizó el llenado con tierra del almácigo y se les colocó 5 semillas de arroz en granza por agujero (figura 10, a), posteriormente se hizo el llenado con tierra en las macetas (figura 10, b) que serán utilizadas para el trasplante de los plantines. El cultivo se estableció en macetas dentro de una casa malla (figura 10, c), debido a que la semilla era nueva en el país, con el fin de reducir riesgos y proporcionar un manejo más controlado. Finalmente, a los 22 días de su siembra, se trasplantaron los plantines (figura 10, d), colocando tres plantas por maceta (figura 10, e). Luego el encargado de la casa malla fue quien se dedicó a realizarle el manejo agronómico al cultivo de arroz y posteriormente cosecharlo y almacenarlo para investigaciones futuras.

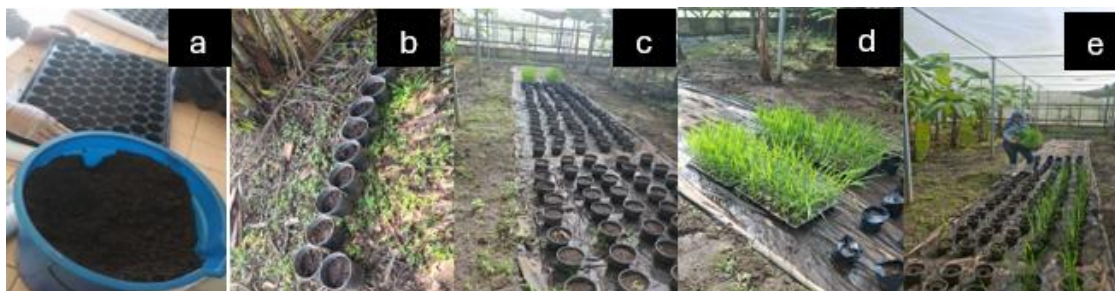


Figura 10. Fases del incremento de semilla de nuevas líneas de arroz.

Nota. a) Llenado de los almácigos; b) Llenado de macetas; c) Macetas colocadas en dentro de la casa malla; d) Plantines de las nuevas variedades a sembrar; e) Trasplante de plantines.

4.5. Metodología de laboratorio.

4.5.1. Materiales y equipo de laboratorio. En el (A-8) se presenta a detalle los materiales y equipo utilizados en el desarrollo de las actividades de laboratorio.

En la (A-9) se presenta el diagrama que se desarrolló para el proceso de calidad molinera de arroz (*Oryza sativa* L.).

4.5.2. Recepción. El estudio de calidad molinera se desarrolló iniciando con la recepción de los 16 genotipos, proporcionados por el Programa de Granos Básicos del CENTA los cuales se presentan en el (A-10), donde los genotipos con inicial (BF), son genotipos que han sido previamente biofortificados, los genotipos con inicial (L), son líneas de arroz promisoras que tiene el programa de mejoramiento del CENTA y los genotipos restantes como (CENTA-A-8,

NUTREMAS e IR-64), son variedades de arroz liberadas por CENTA, todos los genotipos fueron cultivados en tres Estaciones Experimentales del CENTA, las cuales se detallan en (A-11), generándose un total de 48 repeticiones.

4.5.3. Identificación. N° de Lote. El número de lote se asignó de la siguiente manera: Primero se le colocó el código “EPR” que corresponde al tipo de estudio el cual significa “Evaluación Preliminar de Rendimiento”; después se colocaron las abreviaturas de las Estaciones Experimentales de la siguiente manera SCP, Iz y SA1, posteriormente se colocó el número correlativo de las repeticiones el cual iba del 1 al 48 y, por último, se le colocó el año de cosecha el cual fue 2024. De este modo, el número de lote quedó conformado como: “EPRSCP1-2024”. En el (A-12) se presentan las 48 repeticiones con su respectivo número de lote.

4.5.4. Limpieza. Como el arroz granza ya se encontraba seco por eso después de la identificación se procedió a la limpieza de las repeticiones, para que posteriormente pudieran ingresar al laboratorio. El proceso de limpieza inició con la calibración del flujo de aire de la sopladora mediante el regulador ubicado en la parte inferior del equipo (figura 11, a). Posteriormente, las repeticiones se introdujeron individualmente en la tolva superior (figura 11, b), donde el grano limpio caía en el recipiente inferior, mientras que el grano vano fue separado por diferencia de peso. Este procedimiento se realizó para cada una de las repeticiones, después de limpiar cada repetición de arroz granza, se iba colocando en su respectiva bolsa. (figura 11, c).



Figura 11. Limpieza de impurezas.

Nota. a) Regulador del flujo de aire de la sopladora de granos; b) Colocación de los granos de arroz en la sopladora de granos para ser limpiados; c) depositando las repeticiones limpias en sus respectivas bolsas de almacenamiento

4.5.5. Pesado. Posteriormente, se realizó el pesado de las 48 repeticiones de arroz granza (figura 12, a), estableciéndose 200 g por repetición (figura 12, b).

4.5.6. Determinación de impurezas. Luego se procedió a determinar las impurezas, para ello, se utilizaron cribas manuales (figura 12, c), en donde se retiró todo material distinto al grano entero o quebrado de arroz granza el cuál quedaba retenido en la criba. Después, cada repetición limpia se pesaba en una balanza y se calculaba el porcentaje de impurezas mediante la fórmula correspondiente, la cual se presenta en (A-13).

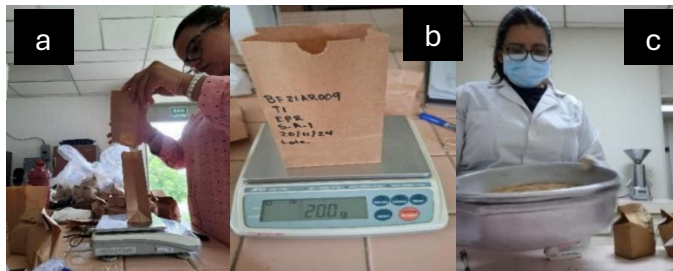


Figura 12. Pesado y determinación de impurezas.

Nota. a) Pesado de las repeticiones; b) Peso de 200 g por repetición; c) Determinación de impurezas de arroz.

4.5.7. Medición de humedad. Posteriormente, se determinó el contenido de humedad utilizando un medidor AgraTronix MT-PRO para granos básicos. Para ello, se tomó una porción de cada repetición de arroz granza limpia la cual se colocó en el equipo (figura 13, a y 13, b) y se realizó la medición correspondiente. A cada repetición se le efectuaron tres lecturas y se promedió haciendo uso de la fórmula que se presenta en (A-14), su promedio se registró como porcentaje de humedad.

4.5.8. Determinación de rendimiento de pilada.

- **Trillado.** Para determinar el rendimiento de pilada, a las 48 repeticiones de arroz granza se les realizó el descascarado utilizando una trilladora en la cual el arroz granza se introducía en la tolva superior del equipo cada repetición de forma individual, como se presenta en la (figura 13, c) donde se realizó el proceso de descascarado, después de trillar cada repetición se procedía a pesar el arroz integral y la granza, y también, a limpiar la trilladora para evitar mezclar residuos entre repeticiones.
- **Pulido.** Luego de descascarar el arroz se realizó el pulido de las repeticiones trilladas este proceso se hizo utilizando la pulidora. Durante este proceso, las repeticiones se introdujeron de la misma forma que en el trillado, por la parte superior del equipo (figura 13, d) y el arroz pulido se recolectó en el depósito frontal (figura 13, e). Al igual que en la trilladora,

después de pulir cada repetición, se limpiaba el equipo (figura 13, f) para evitar que se mezclara pulimento entre repeticiones, también se pesaba el pulimento y el arroz pulido. La determinación del rendimiento de pilada se hizo conforme a la fórmula que se presenta en (A-15).

4.5.9. Determinación de semillas objetables. Posteriormente, se determinó el contenido de semillas objetables en cada repetición a partir del arroz oro obtenido en el proceso de rendimiento de pilada para lo cual se pesaron 100 g de arroz oro, y se separaron manualmente los granos de otros cereales (el arroz granza no se excluye), (figura 13, g) luego se cuentan y los resultados se expresaron como número de semillas objetables por 100 g de muestra.

4.5.10. Porcentaje de grano yesoso. Después, se determinó el porcentaje de grano yesoso utilizando 25 g de arroz oro por cada repetición (figura 13, h). Los granos yesosos se separaron manualmente, se pesaron y el porcentaje se calculó mediante la fórmula que se presenta en (A-16).



Figura 13. Medición de parámetros de calidad molinera de arroz.

Nota. a) Introducción de la repetición de arroz al medidor de humedad; b) Arroz acondicionado para la determinación del contenido de humedad; c) Trillado de arroz granza; d) Proceso del pulido de arroz; e) Representación gráfica de cómo salía el arroz pulido; f) Limpieza de la pulidora antes de pulir otra repetición; g) Conteo de semillas objetables; h) 25 g de arroz oro para determinación de % de grano yesoso.

4.5.11. Grano rojo. En el siguiente paso se procedió a determinar el grano rojo para esto del resultado de arroz oro de cada repetición se tomaron y pesaron 25 g. Se separaron a mano los granos rojos y se pesaron en la balanza. Su porcentaje de grano rojo se obtiene en base a la fórmula que se presenta en (A-17).

4.5.12. Grano dañado por insectos u otros daños. Después se procedió a la determinación de grano dañado, para esto siempre se pesaron 25 gramos de arroz oro por cada una de las repeticiones, se separaron a mano todos los granos dañados por insectos u otros daños y su porcentaje se obtuvo en base a la fórmula que se presenta en (A-18).

4.5.13. Grano entero. Por último, se procedió a realizar la determinación de grano entero para esto la cada repetición de arroz oro obtenida del rendimiento de pilada se pesó con un peso que fuera igual al resultado obtenido en el rendimiento de pilada para esto se utilizó una mesa separadora, en donde se le colocó el arroz oro en la criba superior (figura 14, a) y el arroz moviéndose desde la criba superior hasta la inferior, iba separando el grano quebrado del entero, el grano quebrado iba quedando en los alvéolos de las cribas (figura 14, b), mientras que el grano entero iba cayendo en la bandeja colocada en la parte de abajo.



Figura 14. Proceso del grano entero.

Nota. a) Colocación de arroz oro en la criba superior de la mesa separadora de grano; b) Grano quebrado en la criba de la mesa separadora de grano.

Nota. No se hizo análisis de grano verde debido a que las 48 repeticiones de arroz que se evaluaron en el laboratorio por pertenecer a la cosecha 2024, ya ingresaron como arroz granza seco y con su porcentaje de humedad requerido por la norma (BOLPROES, 2000) el cual indica que este debe ser entre un 12 y 13% y esta norma también, establece que si las repeticiones están secas no es necesario realizarle el análisis de grano verde.

4.5.14. Análisis de zinc por el método de Fluorescencia de Rayos X (XRF). El análisis de zinc mediante el método XRF se realizó con el apoyo del laboratorio de química agrícola del CENTA, el cual cuenta con las instalaciones y el equipo necesario. En el (A-19) se presenta el diagrama del proceso del análisis de zinc en arroz oro por el método XRF.

- **Recepción.** De igual manera que en el proceso de calidad molinera las repeticiones de los diferentes genotipos antes mencionados fueron proporcionadas por el Programa de Granos

Básicos, CENTA, con el porcentaje de humedad ideal y libres de impurezas.

- **Pesado.** En el laboratorio de granos básicos se pesaron 200 g por cada repetición de arroz granza. Posteriormente, las repeticiones se trasladaron al laboratorio de química agrícola.
- **Trillado y pulido.** Se efectuó el proceso de trillado y pulido de forma individual utilizando una trilladora con ambas funciones (figura 15, a). Las repeticiones que se iban procesando se almacenaron en bolsas de papel nuevas para su posterior análisis.

Después de trillar y pulir cada una de las repeticiones, con la ayuda de una brocha y una aspiradora se procedió a limpiar el equipo antes de ingresar la siguiente repetición esto para evitar la contaminación entre repeticiones.

Determinación de contenido de zinc. Una vez teniendo trilladas todas las repeticiones estas eran ingresadas al área donde se encuentra el equipo XRF. Previamente los miembros del laboratorio ya habían preparado las capsulas (figura 15, b) en donde se colocaban las repeticiones de arroz oro para realizar el análisis de contenido de zinc por método de XRF (figura 15, c). Por protocolos de calidad, se analizaron dos cápsulas por cada repetición. En cada lote de lectura se procesaron 12 repeticiones, equivalente a 24 cápsulas, con un tiempo de lectura de 2 minutos por repetición, totalizando 48 minutos por lote. Los resultados fueron entregados por el encargado del laboratorio de química agrícola para su posterior análisis y la clasificación de las variedades como convencionales y biofortificadas.

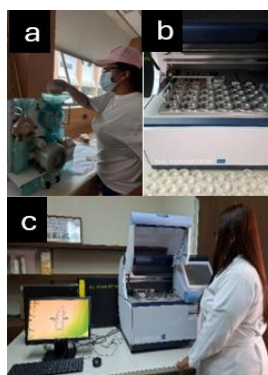


Figura 15. Determinación de contenido de zinc.

Nota. a) Trillado de las repeticiones de arroz en el laboratorio de Química Agrícola; b) Cápsulas de depósito para repeticiones de arroz; c) Análisis de zinc por método XRF.

4.6. Metodología estadística.

Objetivo del estudio. El estudio tuvo como finalidad comparar cuál de los 16 genotipos de arroz correspondientes al estudio de “Evaluación Preliminar de Rendimiento (EPR 2024)”, tienen diferencias estadísticamente significativas, considerando las variables en estudio de calidad molinera las cuales son porcentaje de rendimiento de pilada, grano yesoso, porcentaje de grano entero, grano rojo, número de semillas objetables y grano dañado por insectos. También se evaluaron los parámetros de humedad e impurezas; sin embargo, no se sometieron a análisis de diferencias estadísticamente significativas, debido a que no influyen directamente en la calidad molinera del arroz.

Diseño del estudio. El diseño experimental utilizado fue el Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) en donde los 16 genotipos de arroz constituyeron los tratamientos, los bloques estuvieron representados por las diferentes Estaciones Experimentales y la variable dependiente fueron los diferentes análisis de calidad molinera antes mencionados. Los datos recolectados fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA) conforme al modelo estadístico del (DBCA), con el fin de identificar diferencias significativas. Dentro del estudio se utilizó la prueba comparativa de Tukey. El análisis de los datos se realizó utilizando el software estadístico InfoStat, y los resultados se presentan en tablas y figuras para facilitar su interpretación, en el apartado de resultados y discusión de este documento.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se presentan los resultados del análisis de la calidad molinera de los 16 genotipos de arroz evaluados, cosechados en las tres Estaciones Experimentales del CENTA, las cuales se mencionan en el apartado 4.1 de este documento.

5.1. Resultados de impureza.

La impureza no es un factor de calidad molinera, más bien su importancia y utilidad es para determinar los requerimientos de limpieza del arroz, según (BOLPROES, 2000).

La impureza por no ser un factor que determine la calidad molinera, no se le realizó análisis estadístico del Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) sino más bien solo se le determinó el promedio del porcentaje de impurezas como se presenta en la (figura 16) y en el (A-20) se presentan los resultados obtenidos de forma general del análisis.

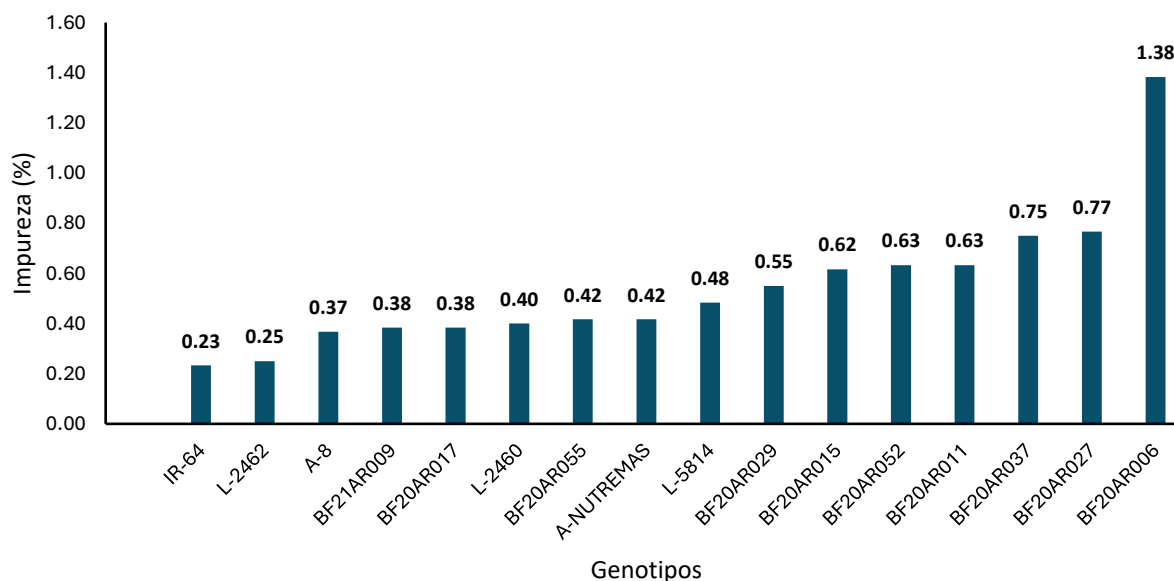


Figura 16. Promedio del porcentaje de impurezas.

Los porcentajes de impurezas se mantuvieron entre 0.23 % y 1.38 %. La Norma (BOLPROES, 2000), indica que la calidad base de las impurezas es del 3% y el máximo permitido es del 10%. Por otro lado, el Reglamento Técnico RTCR 406:2007, indica que el máximo permitido de impurezas es de 1.5%. Por lo tanto, en ambos reglamentos, los 16 genotipos se encontraron dentro de los parámetros permitidos de ambas normativas, siendo los genotipos IR-64 y L-2462

los que presentaron mejores porcentajes de impurezas y el genotipo con mayor porcentaje de impureza fue el BF20AR006.

5.2. Resultados de porcentaje de humedad.

La humedad al igual que la impureza no es un factor de calidad molinera, más bien su importancia es para generar un buen almacenamiento y procesamiento del arroz (BOLPROES, 2000).

Debido a que la humedad no es un factor que determine la calidad molinera, no se le realizó análisis estadístico (DBCA), sino más bien solo se le determinó el porcentaje de impurezas a cada una de las repeticiones.

En el (cuadro 1) se presentan los resultados de porcentaje de humedad de los genotipos evaluados, los cuales posteriormente fueron sometidos al análisis de calidad molinera.

Cuadro 1. Resultados del porcentaje de humedad de los 16 genotipos.

N°	GENOTIPOS	% DE HUMEDAD		
		SCP.	Iz.	SA1.
1	BF21AR009	12.90%	11%	11.9%
2	BF20AR006	11.90%	11.70%	12.5%
3	BF20AR052	11.70%	11.80%	12.2%
4	BF20AR029	11.90%	11.80%	12.4%
5	BF20AR015	12.90%	12.20%	11.9%
6	BF20AR017	11.50%	11.90%	12.2%
7	BF20AR027	12.70%	11.90%	12.4%
8	BF20AR011	12.90%	12.40%	11.8%
9	BF20AR037	12.60%	12.60%	12%
10	BF20AR055	11.80%	12.20%	12.5%
11	IR-64	12.10%	11.80%	11.8%
12	A-NUTREMAS	12.30%	11.50%	11.9%
13	L-5814	11.90%	12.30%	11.9%
14	L-2460	12.30%	11.6%	12.2%
15	L-2462	11.60%	12.1%	11.8%
16	CENTA A-8	11.20%	11.9%	11.8%

Los resultados indican que todos los genotipos cumplieron con el porcentaje de humedad requerido para llevar a cabo el análisis de calidad molinera.

Según la Norma (BOLPROES, 2000) Se considera que la humedad adecuada para el almacenamiento y procesamiento del arroz debe ser con un mínimo del 10% y un máximo de 13%. Asimismo, Avila (s.f.) señala que si al arroz se le realiza el proceso de molienda con humedad mayor al 13% éstas resultan superiores a las consideradas inocuas para el almacenamiento por eso recomienda secar el arroz por períodos prolongados, en un plazo relativamente corto después de la cosecha, hasta lograr humedades de $12\pm 1\%$.

5.3. Resultados de calidad molinera.

5.3.1. Porcentaje de rendimiento de pilada. El rendimiento de pilada es importante ya que la mayor parte de la industria arrocera depende de esto en términos económicos y de calidad. En el (cuadro 2) se presentan los resultados de las medias del porcentaje de rendimiento de pilada de los 16 genotipos evaluados.

Cuadro 2. Resultados de las medias de los 16 genotipos evaluados del porcentaje de rendimiento de pilada.

Variable	Tratamientos	Medias (%)
% DE RENDIMIENTO DE PILADA	BF20AR017	66.32 A
	BF20AR037	68.18 AB
	BF20AR027	70.12 AB
	BF20AR006	70.37 AB
	BF20AR029	70.75 AB
	L-2460	71.02 AB
	BF20AR015	71.25 AB
	IR-64	71.37 AB
	BF20AR011	71.88 AB
	BF20AR055	71.90 AB
	CENTA A-8	71.92 AB
	A-NUTREMAS	72.37 AB
	L-2462	73.17 AB
	L-5814	73.52 AB
	BF20AR052	74.13 B
	BF21AR009	74.53 B

Siendo el mejor genotipo BF21AR009 con un porcentaje de 74.53% y el que presentó menor porcentaje de rendimiento de pilada fue el genotipo BF20AR017 con un porcentaje de 66.32%.

Para demostrar que el genotipo BF21AR009 es el mejor estadísticamente, se aplicó el análisis de varianza a la variable de % de rendimiento de pilada, obteniendo diferencias significativas ($p < 0.05$) en los genotipos evaluados, siendo los mejores los genotipos BF21AR009 seguido del genotipo BF20AR052, con medias de 74.53% y 74.13% y el genotipo que obtuvo menor resultado fue BF20AR017 con una media de 66.32% (figura 17).

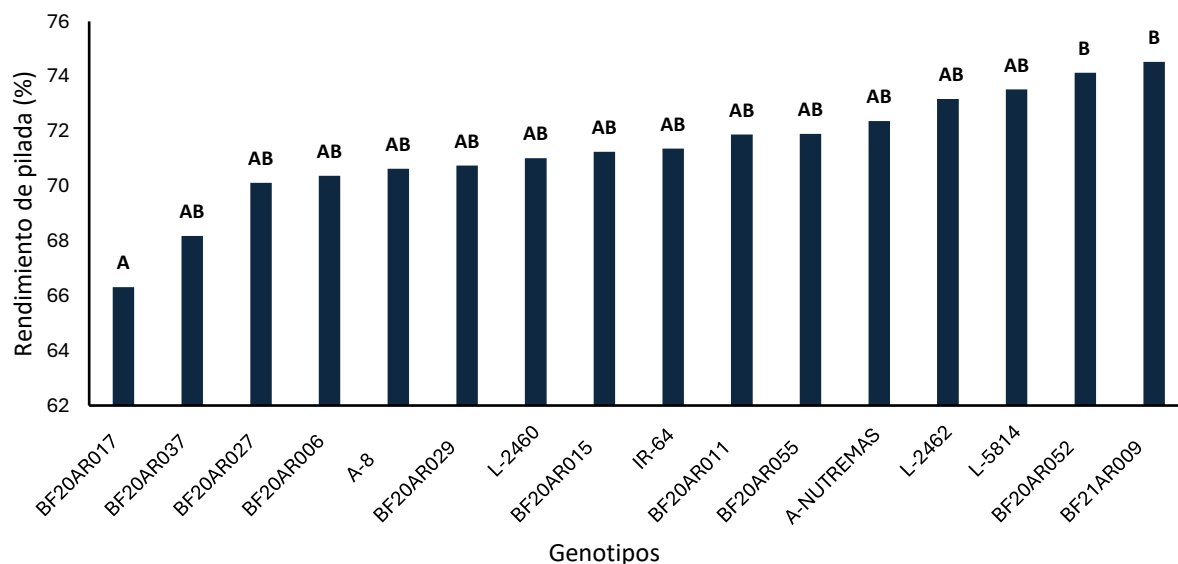


Figura 17. Comportamiento del rendimiento de pilada en 16 genotipos de arroz.

Nota. Los tratamientos con letras comunes no son significativamente diferentes para la prueba de Tukey ($p > 0.05$).

Los 16 genotipos cumplieron con el porcentaje de rendimiento de pilada establecido en la Norma (BOLPROES, 2000), la cual establece que la calidad base de porcentaje de rendimiento de pilada es del 68% y el mínimo permitido es del 60% como se presenta en el (A-21). Por otro lado, el RTCR 406:2007 también establece que el nivel permisible de rendimiento de pilada debe ser mayor o igual al 60%. Esto señala que los 16 genotipos cumplieron con los niveles requeridos de porcentaje de rendimiento de pilada. En (A-22) se presenta el cuadro de los resultados generales del estudio.

5.3.2. Porcentaje de grano yesoso. Es importante conocer el porcentaje de grano yesoso cuando se comercializa arroz, ya que el grano que presenta esta característica es más

susceptible al fisuramiento en el proceso de elaboración del arroz, especialmente en el pilado y pulido de grano (Rojas Jiménez, 2012).

En el (cuadro 3) se presentan los resultados de las medias de los 16 genotipos evaluados del porcentaje de grano yesoso.

Cuadro 3. Resultados de las medias de los 16 genotipos evaluados del porcentaje de grano yesoso.

Variable	Tratamientos	Medias (%)
% DE GRANO YESOSO	BF20AR006	3.60 A
	A-NUTREMAS	3.73 A
	BF20AR027	4.00 A
	IR-64	4.13 A
	L-5814	4.93 A
	BF20AR011	4.93 A
	BF20AR037	5.07 A
	L-2460	5.33 A
	BF20AR052	6.40 A
	BF20AR055	6.80 A
	CENTA A-8	7.07 A
	BF21AR009	7.60 A
	L-2462	7.60 A
	BF20AR015	9.60 A
	BF20AR029	10.53 A
	BF20AR017	18.27 A

Los porcentajes de grano yesoso se mantuvieron entre 3.60 % y 18.27 %. Siendo el mejor genotipo BF20AR006 y el genotipo con mayor porcentaje de grano yesoso fue el BF20AR017. Para demostrar que los genotipos BF20AR006 y A-NUTREMAS son mejores o todos los tratamientos son similares estadísticamente, se aplicó el análisis de varianza a la variable de porcentaje de grano yesoso, obteniendo diferencias no significativas ($p > 0.05$) en los genotipos evaluados, esto significa que tienen similar efecto los genotipos en la variable porcentaje de grano yesoso, no obstante se observó en el (cuadro 4) que los mejores genotipos son BF20AR006 y A-NUTREMAS, con medias de 3.6% y 3.73% y el genotipo que obtuvo mayor

resultado fue BF20AR017 con una media de 18.27% (figura 18). Por otro lado, el RTCR 406:2007 establece que el nivel permisible de grano yesoso debe ser del 1% al 7%. De acuerdo con este reglamento sólo 10 de los 16 genotipos cumplieron con el porcentaje permitido de grano yesoso.

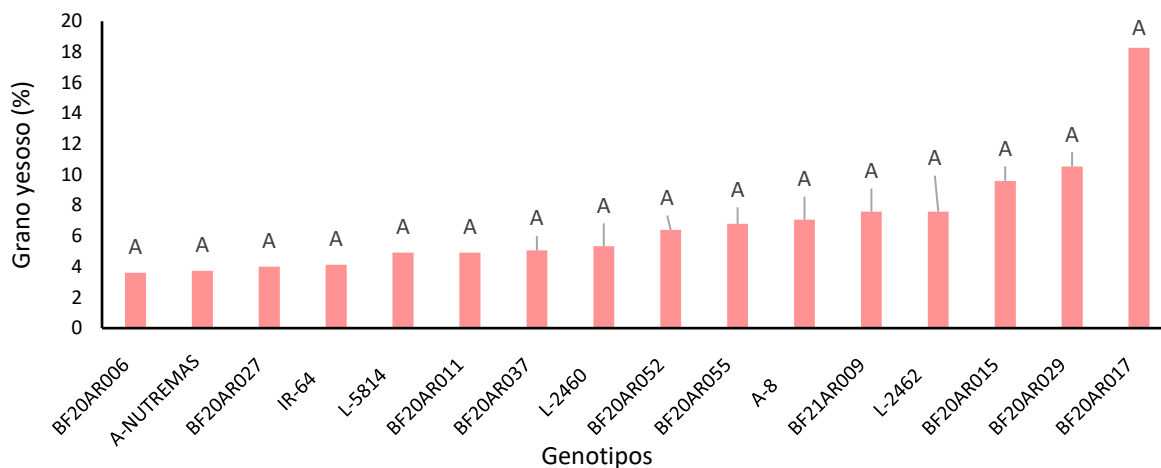


Figura 18. Comportamiento del porcentaje de grano yesoso en 16 genotipos de arroz.

Nota. Los tratamientos con letras comunes no son significativamente diferentes para la prueba de Tukey ($p > 0.05$).

A continuación, en la (figura 19, a), se presenta un grano de arroz normal y en la (figura 19, b) se presenta un grano de arroz yesoso. En (A-23) se presenta el cuadro de los resultados generales del estudio.

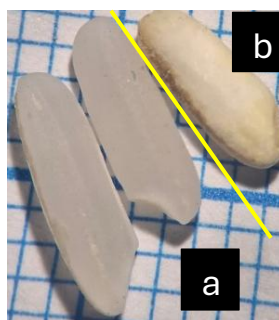


Figura 19. Grano de arroz oro normal y yesoso.

Nota. a) Grano de arroz normal; b) Grano de arroz yesoso.

5.3.3. Porcentaje de grano entero. El grano entero por su alto valor económico es uno de los parámetros del cual se debe preservar la calidad inicial, ya que los mayores ingresos de cualquier industria se deben a esta variable en particular (Rojas Jiménez, 2012).

En el (cuadro 4) se presenta los resultados de las medias de los 16 genotipos evaluados del porcentaje de grano entero.

Cuadro 4. Resultados de las medias de los 16 genotipos evaluados del porcentaje de grano entero.

Variable	Tratamientos	Medias (%)
% DE GRANO ENTERO	BF20AR017	32.94 A
	BF20AR037	50.66 AB
	IR-64	52.88 AB
	BF20AR029	57.20 AB
	BF20AR015	57.81 AB
	BF20AR055	59.39 AB
	L-2460	61.61 AB
	L-2462	63.00 AB
	BF20AR052	64.98 AB
	BF20AR006	66.94 AB
	BF20AR011	68.49 AB
	BF20AR027	68.61 AB
	CENTA A-8	69.52 AB
	A-NUTREMAS	72.48 AB
	BF21AR009	77.97 B
	L-5814	81.35 B

Los porcentajes de grano entero se mantuvieron entre 32.94 % y 81.35 %. Siendo el mejor genotipo L-5814 y el genotipo con menor porcentaje de grano entero fue BF20AR017.

Para demostrar que el genotipo L-5814 es el mejor estadísticamente, se aplicó el análisis de varianza a la variable de % grano entero, en donde se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0.05$) en los genotipos evaluados, siendo los mejores los genotipos L-5814 y BF21AR009, con medias de 81.35% y 77.97% y el genotipo que obtuvo menor resultado fue BF20AR017 con una media de 32.94% (figura 20).

De acuerdo con los resultados, 15 de los 16 genotipos cumplieron con el porcentaje mínimo de grano entero establecido en la Norma (BOLPROES, 2000), la cual indica que la calidad base de porcentaje de grano entero es del 55% y el mínimo permitido es del 40% como se presenta en el (A-21), el genotipo L-5814 obtuvo mejor porcentaje de grano entero y el genotipo BF20AR017 fue el que obtuvo menor porcentaje de grano entero. Por otro lado, el

RTCR 406:2007 establece que el nivel permisible de rendimiento de grano entero debe ser mayor o igual al 36%. De acuerdo con este reglamento de igual manera 15 de los 16 genotipos cumplieron con lo requerido para porcentaje de grano entero.

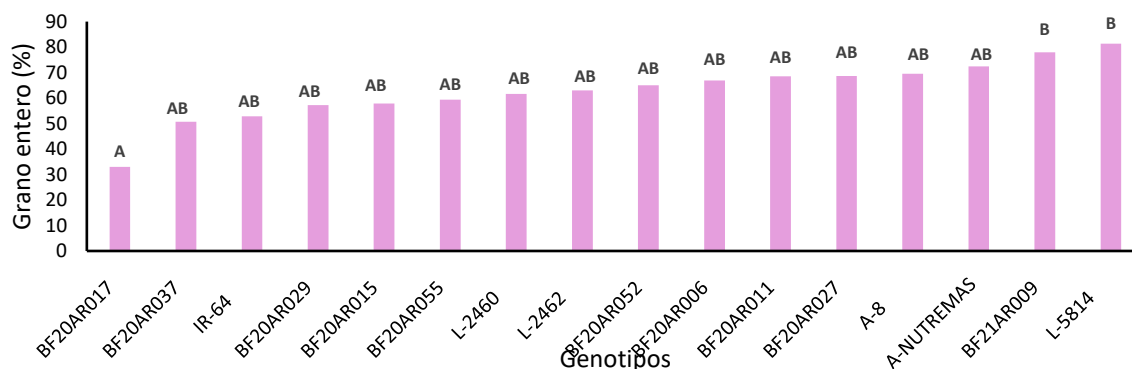


Figura 20. Comportamiento del porcentaje de grano entero en 16 genotipos de arroz.

Nota. Los tratamientos con letras comunes no son significativamente diferentes para la prueba de Tukey ($p > 0.05$).

A continuación, en la (figura 21, a), se presenta un grano de arroz oro entero, en la (figura 21, b), se presenta un grano de arroz oro miga y en la (figura 21, c) se presenta un grano de arroz oro miguilla. En (A-24) se presenta el cuadro de los resultados generales del estudio.

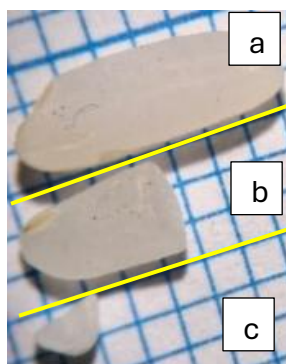


Figura 21. Representación de arroz oro entero, miga y miguilla.

Nota. a) Grano de arroz oro entero; b) Grano de arroz oro miga; c) Grano de arroz oro miguilla.

5.3.4. Porcentaje de grano dañado. La determinación de grano dañado es importante medirla ya que según (Rojas Jiménez, 2012), esta característica proviene del campo, debido a microorganismos, hongos e insectos que lo atacan en etapa de cultivo. Sin embargo, pese a eso también durante el periodo de almacenamiento este parámetro puede incrementarse debido al ataque de plagas y daño mecánico en algunas ocasiones producto del proceso de acondicionamiento al cual es sometido.

En el (cuadro 5) se presenta los resultados de los porcentajes de grano dañado de los 16 genotipos evaluados.

Cuadro 5. Resultados de las medias de los 16 genotipos evaluados del porcentaje de grano dañado.

Variable	Tratamientos	Medias
% DE GRANO DAÑADO	BF20AR017	0.00 A
	BF20AR027	0.00 A
	BF20AR029	0.00 A
	BF20AR037	0.00 A
	BF20AR052	0.00 A
	BF20AR015	0.00 A
	BF20AR055	0.00 A
	BF21AR009	0.00 A
	IR-64	0.00 A
	BF20AR006	0.00 A
	A-NUTREMAS	0.00 A
	L-2460	0.13 A
	BF20AR011	0.13 A
	L-5814	0.13 A
	L-2462	0.27 A
	CENTA A-8	0.40 A

Siendo los mejores genotipos todos aquellos que presentaron un porcentaje promedio de 0.0% y el que presentó mayor porcentaje de grano dañado fue el genotipo CENTA A-8 con un promedio de 0.40%.

Para demostrar que los genotipos son mejores o todos los tratamientos son similares estadísticamente, se aplicó el análisis de varianza a la variable de porcentaje de grano dañado, obteniendo diferencias no significativas ($p > 0.05$) en los genotipos evaluados, esto significa de que tienen similar efecto los genotipos en la variable porcentaje de grano dañado, no obstante se observó en el (cuadro 6) que los mejores genotipos son todos aquellos con medias de 0.00% y el genotipo que obtuvo mayor porcentaje de grano dañado fue CENTA A-8 con una media de 0.4% (figura 22).

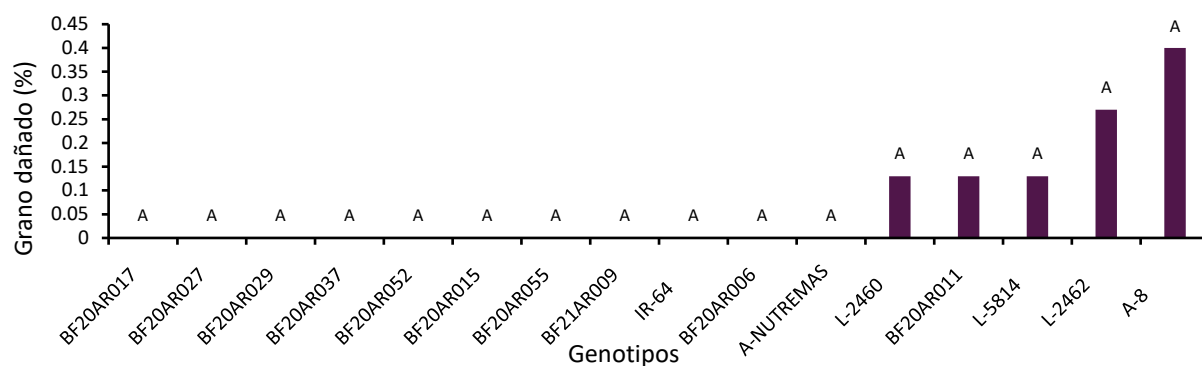


Figura 22. Comportamiento del porcentaje de grano dañado en 16 genotipos de arroz.

Nota. Los tratamientos con letras comunes no son significativamente diferentes para la prueba de Tukey ($p > 0.05$). A continuación, en la (figura 23), se presentan granos de arroz oro dañados o por insectos o también por daños mecánicos. Sin embargo, algunas repeticiones presentaron insectos muertos, los cuales con ayuda del laboratorio de fitopatología del [MAG] se determinó que las especies encontradas pertenecían a *Sitophilus oryzae* y *Rhyzopertha dominica*, los cuales se presentan en la (figura 24). En (A-25) se observa el cuadro de los resultados generales del estudio.



Figura 23. Granos de arroz oro dañados.



Figura 24. Plagas encontradas en las repeticiones de arroz evaluadas.

Nota. La figura representa al lado “a” la especie *Sitophilus oryzae* y en el lado “b” la especie *Rhyzopertha dominica*.

Aunque algunas repeticiones presentaron estas plagas, no se consideraron contaminadas, debido a que estaban muertas y el RTCR 406:2007 solo establece como infestado al “lote de arroz en granza que presenta insectos adultos vivos o larvas de estos insectos, dañinos al arroz almacenado”.

5.3.5. Porcentaje de grano rojo y número de semillas objetables. Los resultados de grano rojo y semillas objetables, aunque forman parte de la evaluación de la calidad molinera, no fueron sometidos a un análisis estadístico, debido a que la totalidad de las repeticiones de los genotipos evaluados resultaron libres de granos rojos y de semillas objetables. En (A-26) se presenta el cuadro de los resultados generales del estudio de grano rojo y en (A-27) se presenta el cuadro de los resultados generales de semillas objetables.

5.4. Resultados de análisis de zinc por el método de fluorescencia de rayos X.

El contenido de zinc en arroz es importante para determinar si los genotipos pueden ser considerados como biofortificados con zinc o considerados como genotipos convencionales. En el (cuadro 6) se presenta los resultados de las medias de los 16 genotipos evaluados del promedio de contenido de zinc.

Cuadro 6. Resultados de las medias de los 16 genotipos evaluados del porcentaje de contenido de zinc.

Variable	Tratamientos	Medias (mg/kg)
CONTENIDO DE ZINC	L-5814	15.48 A
	BF20AR011	17.78 AB
	L-2462	18.53 AB
	BF20AR029	18.55 AB
	CENTA A-8	19.72 AB
	A-NUTREMAS	19.88 AB
	BF20AR052	20.48 AB
	IR-64	21.00 AB
	BF20AR037	21.42 AB
	BF20AR055	21.65 AB
	L-2460	21.75 AB
	BF21AR009	22.87 AB
	BF20AR017	22.95 AB
	BF20AR015	23.17 B
	BF20AR027	23.60 B
	BF20AR006	24.67 B

Siendo el mejor genotipo BF20AR006 con un promedio de 24.67 mg/kg y el genotipo que presentó menor porcentaje de zinc fue L-5814 con un promedio de 15.48 mg/kg.

Para demostrar que el genotipo BF20AR006 es el mejor estadísticamente, se aplicó el análisis de varianza a la variable de contenido de zinc, en donde se obtuvieron diferencias significativas mínimas con ($p > 0.05$) en los genotipos evaluados, siendo los mejores los genotipos BF20AR027 y BF20AR006, con medias de 23.60 mg/kg y 24.67 mg/kg y el genotipo que obtuvo menor resultado fue L-5814 con una media de 15.48 mg/kg (figura 25).

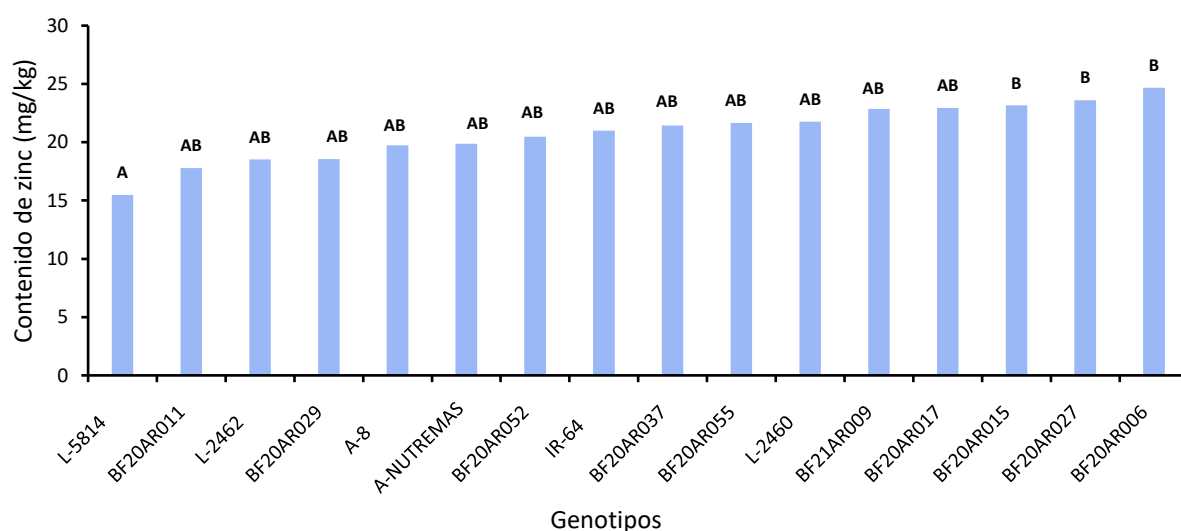


Figura 25. Comportamiento del contenido de zinc en 16 genotipos de arroz.

Nota. Los tratamientos con letras comunes no son significativamente diferentes para la prueba de Tukey ($p > 0.05$).

De acuerdo con los resultados de los genotipos BF, solo BF21AR009, BF20AR017, BF20AR015, BF20AR027, BF20AR006 clasifican como biofortificados ya que según [CENTA], un arroz se clasifica como biofortificado con zinc cuando alcanza niveles significativamente más altos que el arroz convencional, resultados que suelen ser igual o mayor a 22 mg/kg, de los genotipos convencionales el L-2460, es el que más destaca con su alto contenido de zinc de 21.75 mg/kg. En el cuadro del (A-28), se presentan los resultados generales obtenidos del análisis de zinc de los 16 genotipos de arroz distribuidos en las tres localidades diferentes.

6. CONCLUSIONES

- Las impurezas y humedad de los 16 genotipos se encontraron dentro de los rangos permitidos de acuerdo con la Norma BOLPROES, lo que dio a conocer que el manejo postcosecha fue adecuado. Esto indicó que estaban aptos para su posterior proceso el cual fue calidad molinera.
- Los resultados de la evaluación de calidad molinera mostraron diferencias en el porcentaje de índice de pilada de los 16 genotipos, destacando BF21AR009 con el mayor rendimiento (74.53 %); sin embargo, todos los genotipos se mantuvieron dentro del rango aceptable para el procesamiento industrial. Asimismo, L-5814 sobresalió en porcentaje de grano entero y BF20AR006 presentó el menor porcentaje de grano yesoso. En general, los 16 genotipos evaluados cumplieron con los parámetros de calidad molinera.
- De acuerdo con el índice de contenido de zinc establecido por el CENTA (22 mg/kg o más), en este estudio solo 5 de los 16 genotipos cumplieron con el parámetro establecido siendo el mayor BF20AR006 al contener 24.67 mg/kg de contenido de zinc. Este resultado indicó que la mayoría de los genotipos de arroz aún no alcanzan el nivel requerido de biofortificación con zinc.
- El estudio evidenció las diferencias significativas de los genotipos en la calidad molinera, ya que la mayoría cumplen con los parámetros establecidos de todos los análisis realizados, siendo el genotipo BF20AR006 el que presentó el mejor desempeño integral.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda controlar los niveles de humedad entre un 10% - 12% de los granos de arroz, para mejorar el rendimiento de calidad molinera.
- Se recomienda tomar en cuenta los genotipos BF20AR006, L-5814 y BF21AR009 los cuales poseen mejores resultados de calidad molinera y contenido de zinc, para futuros programas de mejoramiento genético del arroz.
- Se recomienda cosechar el arroz en el momento óptimo de madurez, evitando cosechas tempranas o tardías ya que influyen en el rendimiento del arroz, tanto una cosecha temprana como una tardía afectan negativamente el rendimiento del grano y la molienda.
- Se recomienda realizar más estudios sobre los genotipos que no cumplieron con los parámetros establecidos en las bibliografías consultadas, para su implementación en otros rubros o para la posibilidad del mejoramiento de estos.

8. BIBLIOGRAFÍA.

- Agencia de Cooperación Internacional del Japón [JICA]. (2010). *Arroz biofortificado*. Panama. Recuperado el 12 de octubre de 2025, de https://www.jica.go.jp/Resource/project/panama/0603268/materials/pdf/02_gardening/02_Arooz_Biofortificado.pdf
- Avila, M. (s.f.). *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD MOLINERA Y SENSORIAL DE ARROZ COMO HERRAMIENTA DE APOYO AL MEJORAMIENTO GENÉTICO*. Yaracuy, Venezuela: Fundación Para la Investigación Agrícola Danac. Recuperado el 10 de noviembre de 2025
- Bolsa de Productos Agropecuarios de El Salvador [BOLPROES]. (2000). *Manual de Procedimientos Para el Muestreo y Certificación de Calidad de Arroz Granza*. El Salvador. Recuperado el 20 de agosto de 2025
- BRUKER. (2025). *BRUKER*. Recuperado el 11 de noviembre de 2025, de <https://www.bruker.com/es/products-and-solutions/elemental-analyzers/xrf-spectrometers/how-does-xrf-work.html#:~:text=Espectrometr%C3%ADa%20de%20fluorescencia%20de%20rayos,suelo%2C%20pintura%20y%20mucho%20m%C3%A1s.>
- Esquivel García, E. M., García Aguilar, J. L., & Ortez Canales, B. L. (2015). *Evolución histórica del cacao en El Salvador y propuestas de emprendimientos turísticos*. Antiguo Cuscatlán, La Libertad, El Salvador: Universidad Dr. José Matías Delgado. Obtenido de <https://webquery.ujmd.edu.sv/siab/bvirtual/BIBLIOTECA%20VIRTUAL/TESIS/01/TUR/0002382-ADTESEE.pdf>
- Flickr. (2008). *Indica and Japonica rice*. Recuperado el 5 de noviembre de 2025, de <https://www.flickr.com/photos/atemzeit/2287895325>
- Folch, E. C. (2007). *La determinacion de hierro en arroz: APLICACIÓN DE LA ESPECTROSCOPIA DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X (XRF) Y ESPECTOFOTOMETRÍA DE EMISION ATOMICA*

(ICP-AES) (Vol. 10). Rosario, Argentina: Invenio. Recuperado el 15 de noviembre de 2025, de <https://www.redalyc.org/pdf/877/87701809.pdf>

Fondo Latinoamericano para Arroz de Riego [FLAR]. (2022). *Protocolo para el análisis de calidad de arroz biofortificado* (Vols. PA-LAC-01). Recuperado el 12 de agosto de 2025

Grain of Rice. (2024). *Grain of Rice*. Recuperado el 10 de noviembre de 2025, de <https://grainofriceyeg.com/faqs#:~:text=Un%20grano%20de%20arroz%20es,poblaci%C3%B3n%20mundial%2C%20especialmente%20en%20Asia>.

Hostelerialeioa. (2025). *Grano de arroz*. Obtenido de <https://www.gastronomiavasca.net/es/gastro/glossary/arroz-grano-largo>

Kozlova, O. (2026). *Freep!k.es*. Recuperado el 10 de enero de 2026, de https://www.freepik.es/fotos-premium/textura-granos-mixtos-arroz-blanco-arroz-rojo-arroz-glutinoso_23083462.htm

MajorDifference. (2024). Diferencia entre arroz japónica y el arroz índica. Recuperado el 4 de noviembre de 2025, de https://www.majordifferences.com/2013/11/difference-between-japonica-and-indica.html#google_vignette

Ministerio De Agricultura Y Ganadería [MAG], (2021). El Salvador. CENTA DISPONE DE SEMILLAS CERTIFICADAS CON EXCELENTES CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS. (en línea, noticia). Recuperado en 31 de enero de 2026, de <https://www.mag.gob.sv/2021/09/07/centa-dispone-de-semillas-certificadas-con-excelentes-caracteristicas-agronomicas/>

Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social. (8 de febrero de 2013). Norma Técnica de Alimentos [N.T.A.]. *Diario Oficial, Tomo 398(27)*, pág. 68. Recuperado el 15 de septiembre de 2025, de https://asp.salud.gob.sv/regulacion/pdf/norma/norma_tecnica_alimentos.pdf

Monar Coello, Á. S. (2022). *Descripción de la calidad molinera del cultivo de arroz (Oryza sativa L. ssp. japonico)*. Babahoyo, Los Ríos, Ecuador: Universidad Técnica de Babahoyo [UTB]. Recuperado el 5 de noviembre de 2025, de <https://dspace.utb.edu.ec/server/api/core/bitstreams/58aab02b-db62-44f8-9d8b-e0935607c1e0/content>

Paredes C, M., Becerra V, V., Donoso Ñ, G., & Loiza, K. (2020). *Calidad del grano de arroz* (Vol. Capítulo). Recuperado el 5 de noviembre de 2025, de <https://cgspace.cgiar.org/server/api/core/bitstreams/cfd3054a-be67-4442-a761-1e4320d11b0d/content>

Real Academia Española [RAE]. (2024). *Amilosa*. Recuperado el 15 de noviembre de 2025, de <https://dle.rae.es/amilosa>

Reglamento Técnico de Costa Rica [RTCR] 406:2007. (2008). *RTCR 406-2007. Arroz en Granza. Especificaciones y Métodos de Análisis para la Comercialización e Industrialización*. Recuperado el 1 de noviembre de 2025, de <https://www.mag.go.cr/legislacion/2008/de-34487.pdf>

Rojas Jiménez, S. (2012). *"Evaluación de la calidad molinera del arroz en granza (Oryza sativa) almacenado en silo de compañía arrocera industrial Planta Industrial Rio Claro"*. Costa Rica: Universidad de Costa Rica. Recuperado el 02 de febrero de 2026, de <https://www.ingbiosistemas.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/6EVALUACIONDELACALIDADDELARROZ.pdf>

Secretaría de la Seguridad Alimentaria y Nutricional [SESAN]. (2020). *La biofortificación como alternativa complementaria en el mejoramiento de la SAN*. Guatemala. Recuperado el 05 de febrero de 2026, de <https://portal.sesan.gob.gt/2020/01/22/la-biofortificacion-como-alternativa-complementaria-en-el-mejoramiento-de-la-san/>

Singh, A. (2022). *Biofortificación con zinc en arroz (Oryza sativa L.)*. En Revisión de bioestimulantes vegetales. IntechOpen. Recuperado el 02 de febrero de 2026, de <https://doi.org/10.5772/intechopen.104440>

Suarez Alarcon, S. M. (2018). *PASANTIA ESTUDIO Y MEJORA DEL SECADO DE ARROZ PADDY, EN EL AUMENTO DEL RENDIMIENTO DE TRILLA DE LA EMPRESA ARROZ BARICHARA S.A.S. - YOPAL*. YOPAL: UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS. Recuperado el 10 de enero de 2026, de <https://repositorio.unillanos.edu.co/server/api/core/bitstreams/9ab83d12-2499-4d2e-a392-5b6a9c5074b8/content>

Superintendencia de Competencia [SC]. (2012). *"Actualización del estudio sobre la caracterización de la agroindustria arrocera y sus condiciones de competencia en El Salvador, a julio 2012"*. La Libertad, El Salvador. Recuperado el 10 de noviembre de 2025, de https://www.sc.gob.sv/wp-content/uploads/estudios_IE/estudios_PDF/Estudio_Arroz_2013.pdf

V. D., Berrío, L. E., & Charry, R. E. (s.f.). *Origen, taxonomía, anatomía y morfología de la planta de arroz (Oryza sativa L.)* (Vol. Capítulo). Recuperado el 1 de noviembre de 2025, de <https://cgspace.cgiar.org/server/api/core/bitstreams/2ada1d4f-1b9e-4c3a-8950-43088993491d/content>

Valencia, M. (1994). *EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL ARROZ* (1:2; ed., Vol. Programa de Investigación Agrícola). Achagua, Colombia: Corpola. Recuperado el 10 de noviembre de 2025, de <https://repository.agrosavia.co/server/api/core/bitstreams/9f8a69b8-01c3-464a-9857-c9db069b377b/content>

9. ANEXOS

A- 1. Clasificación por tamaño y ancho de los granos de arroz.

Clasificación por tamaño		Clasificación del grano relación largo/ancho	
Corto	Largo de grano < 5,5 mm	Delgado	Relación larga/ancho > 3,0
Mediano	Largo de grano varía de 5,51 a 6,60 mm	Medio	Relación larga/ancho entre 2,1 y 3,0
Largo	Largo de grano varía de 6,61 a 7,50 mm	Grueso	Relación larga/ancho entre 1,1 y 2,0
Extralargo	Largo de grano > 7,5 mm	Redondo	Relación larga/ancho < 1,0.

Paredes C, et al., (2020).

A- 2. Contenido de vitaminas y minerales de fracciones del grano de arroz. (14 % humedad).

Vitaminas/minerales	Fracciones				
	Arroz paddy	Arroz integral	Arroz elaborado	Salvado	Cáscara
Tiamina, Vit B1, (mg)	0,26-0,33	0,29-0,61	0,002-0,11	1,20-2,40	0,09-0,21
Riboflavina, Vit B2 (mg)	0,06-0,11	0,04-0,14	0,02-0,06	0,18-0,43	0,05-0,07
Niacina (mg)	2,9-5,6	3,5-5,3	1,3-2,4	26,7-49,9	1,6-4,2
α -Tocoferol (mg)	0,90-2,00	0,90-2,50	0,0-0,3	2,60-13,3	0
Calcio (mg)	10,0-80,0	10,0-50,0	10,0-30,0	30,0-120,0	60,0-130
Hierro (mg)	1,4-6,0	0,2-5,2	0,2-2,8	8,6-43,0	3,9-9,5
Zinc (mg)	1,7-3,1	0,6-2,8	0,6-2,3	4,3-25,8	0,9-4,0
Fósforo (mg)	0,17-0,39	0,17-0,43	0,08-0,15	1,1-2,5	0,03-0,07

Paredes C, et al., (2020).

A- 3. Composición química del arroz y sus subproductos.

Composición química				
		Salvado germen	Pulido	Arroz sin cáscara
Materia seca (%)				
Proteína Nx6,25 (%)	2,8	90,8	90,4	88,2
Grasa (%)	0,8	12,5	12,5	8,4
Fibra cruda (%)	41,1	13,1	11,8	1,7
Extracto no nitrogenado (%)	29,2	12,5	3,2	0,9
Cenizas (%)	18,4	42,0	56,1	76,3
		10,8	6,9	1,0

Paredes C, et al., (2020).

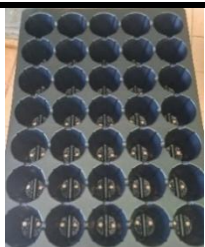
A- 4. Normativas y regulaciones para calidad molinera de arroz.

Norma	Enfoque
Norma de Calidad para el Arroz Granza BOLPROES. Manual de Procedimientos para el Muestreo y Certificación de Calidad de Arroz grazna	La presente norma de calidad será la base para realizar las actividades de compra-venta de arroz granza producido por los agricultores de arroz en El Salvador, y que será adquirido por los Molinos de Arroz integrados en la Asociación de Beneficiadores de Arroz (ASALBAR).
Reglamento Técnico RTCR 406:2007. Arroz en granza. Especificaciones y Métodos de Análisis para la Comercialización e Industrialización.	Este Reglamento Técnico tiene como propósito establecer las características de calidad e inocuidad y métodos de análisis que debe cumplir el arroz en granza <i>Oryza sativa</i> L., tipo largo, nacional o importado que se comercializa para industrializar en el país.
CODEX NORMA PARA EL ARROZ CXS 198-1995	La presente Norma se aplica al arroz descascarado, al arroz elaborado y al arroz sancocado, todos ellos destinados al consumo humano directo, es decir listo para su uso previsto como alimento humano, presentado en forma envasada o vendido suelto directamente del envase al consumidor. No se aplica a otros productos derivados del arroz, o al arroz glutinoso.
Norma Técnica de Alimentos	La presente Norma técnica tiene por objeto establecer los requisitos sanitarios que deben cumplir los establecimientos dedicados al procesamiento, producción, envasado, almacenamiento, distribución y comercialización de alimentos; para otorgar la autorización de funcionamiento.

A- 5. Materiales y equipo de campo.



Material. Papel de germinación.
Función. Sirve para la germinación de las semillas.



Material. Almacigos.
Función. Se utilizan para germinar y cultivar plantas antes de trasplantarlas a su ubicación final.



Material. Macetas.
Función. Sirven para cultivar plantas en ambientes controlados, facilitar el drenaje de agua y proteger la planta.



Equipo. Estadia.
Función. Regla cuadrada de 4 a 5 m sirve para medir altura en campo.

A- 6. Formula de germinación de semillas.

$$\frac{\text{germinadas}}{\text{totales}} \times 100)$$

A- 7. Genotipos de la Evaluación Preliminar de rendimiento 2025.

Genotipos			
BF21AR009	BF20AR011	L-2462	IR-64
L-2460	BF20AR027	CENTA A-8	BF14AR037
L-5814	BF20AR017	BF20AR006	BF20AR052
BF20AR029	BF20AR015	CENTA A-Nm	BF20AR055

A- 8. Materiales y equipo de laboratorio.



Equipo. Balanza digital con capacidad de 1,500 g.

Función. Utilizada para pesar los genotipos y sub productos de arroz.



Equipo. Soplador de granos
Función. Limpia y separa impurezas (tierra, pelusa, granos vanos) de granos básicos utilizando un flujo de aire de alta velocidad.



Equipo. Criba de arroz.
Función. Separa el arroz granza de impurezas como polvo, piedras o insectos.



Equipo. Medidor de humedad.
Función. Se utiliza para determinar la humedad del grano de arroz.



Equipo. Trilladora de arroz.
Función. Separa los granos de arroz de la cáscara.



Equipo. Pulidora de arroz.
Función. Elimina las capas de salvado restantes y el polvo mediante fricción y abrasión, mejorando el brillo, suavidad y aspecto del grano.



Equipo. Mesa separadora de arroz
Función. Separa el arroz entero del quebrado y la miguilla, mediante gravedad y movimiento vibratorio.

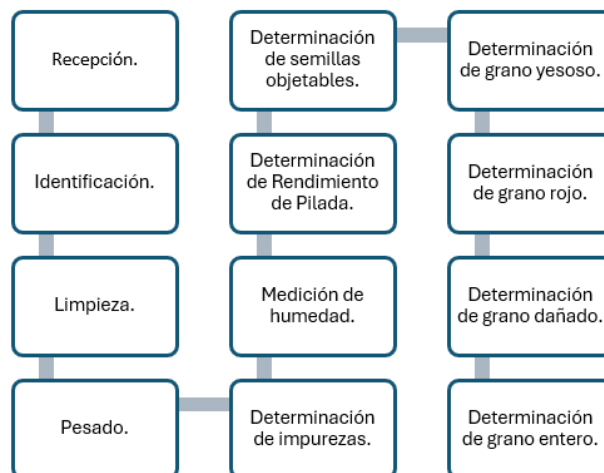


Equipo. Trilladora de doble función.
Función. Esta cuenta con las 2 funciones trillar y pulir los granos de arroz.



Equipo. Espectrómetro de fluorescencia de rayos X.
Función. Determina la composición elemental de materiales sólidos, líquidos o en polvo con rayos X.

A- 9. Diagrama del proceso de Calidad Molinera de arroz (*Oryza sativa* L.).



A- 10. 16 genotipos utilizados en el desarrollo de la pasantía de calidad molinera.

Genotipos			
BF21AR009	BF20AR015	BF14AR037	L-5814
BF20AR006	BF20AR017	BF14AR055	L-2460
BF20AR052	BF20AR027	IR-64	L-2462
BF20AR029	BF20AR011	CENTA A-Nm	CENTA A-8

A- 11. Localidades pertenecientes al estudio EPR 2024.

Localidades	Coordenadas Geográficas		Altura (MSNM)
Estacion Experimental-Santa Cruz Porrillo.	13°26'20.6"N	88°48'04.7"W	28
Estacion Experimental-Izalco.	13°45'21.1"N	89°42'08.5"W	385
Estacion Experimental-San Andrés 1.	13°48'23.3"N	89°23'52.0"W	437

A- 12. Cuadro de los genotipos con su respectivo número de lote.

N°	Genotipo	Localidad	Número de lote
1	BF21AR009	Santa Cruz Porrillo	EPRSCP1-2024
2	BF20AR006	Santa Cruz Porrillo	EPRSCP2-2024
3	BF20AR052	Santa Cruz Porrillo	EPRSCP3-2024
4	BF20AR029	Santa Cruz Porrillo	EPRSCP4-2024
5	BF20AR015	Santa Cruz Porrillo	EPRSCP5-2024
6	BF20AR017	Santa Cruz Porrillo	EPRSCP6-2024
7	BF20AR027	Santa Cruz Porrillo	EPRSCP7-2024
8	BF20AR011	Santa Cruz Porrillo	EPRSCP8-2024

9	BF20AR037	Santa Cruz Porrillo	EPRSCP9-2024
10	BF20AR055	Santa Cruz Porrillo	EPRSCP10-2024
11	IR-64	Santa Cruz Porrillo	EPRSCP11-2024
12	A-NUTREMAS	Santa Cruz Porrillo	EPRSCP12-2024
13	L-5814	Santa Cruz Porrillo	EPRSCP13-2024
14	L-2460	Santa Cruz Porrillo	EPRSCP14-2024
15	L-2462	Santa Cruz Porrillo	EPRSCP15-2024
16	CENTA A-8	Santa Cruz Porrillo	EPRSCP16-2024
17	BF21AR009	Izalco	EPRIz17-2024
18	BF20AR006	Izalco	EPRIz18-2024
19	BF20AR052	Izalco	EPRIz19-2024
20	BF20AR029	Izalco	EPRIz20-2024
21	BF20AR015	Izalco	EPRIz21-2024
22	BF20AR017	Izalco	EPRIz22-2024
23	BF20AR027	Izalco	EPRIz23-2024
24	BF20AR011	Izalco	EPRIz24-2024
25	BF20AR037	Izalco	EPRIz25-2024
26	BF20AR055	Izalco	EPRIz26-2024
27	IR-64	Izalco	EPRz27-2024
28	A-NUTREMAS	Izalco	EPRIz28-2024
29	L-5814	Izalco	EPRIz29-2024
30	L-2460	Izalco	EPRIz30-2024
31	L-2462	Izalco	EPRIz31-2024
32	CENTA A-8	Izalco	EPRIz32-2024
33	BF21AR009	San Andrés 1	EPRSA133-2024
34	BF20AR006	San Andrés 1	EPRSA134-2024
35	BF20AR052	San Andrés 1	EPRSA135-2024
36	BF20AR029	San Andrés 1	EPRSA136-2024
37	BF20AR015	San Andrés 1	EPRSA137-2024
38	BF20AR017	San Andrés 1	EPRSA138-2024
39	BF20AR027	San Andrés 1	EPRSA139-2024
40	BF20AR011	San Andrés 1	EPRSA140-2024
41	BF20AR037	San Andrés 1	EPRSA141-2024
42	BF20AR055	San Andrés 1	EPRSA142-2024
43	IR-64	San Andrés 1	EPRSA143-2024
44	A-NUTREMAS	San Andrés 1	EPRSA144-2024
45	L-5814	San Andrés 1	EPRSA145-2024
46	L-2460	San Andrés 1	EPRSA146-2024
47	L-2462	San Andrés 1	EPRSA147-2024
48	CENTA A-8	San Andrés 1	EPRSA148-2024

A- 13. Fórmula para determinar el porcentaje de impurezas.

$$\% \text{ de impurezas} = \frac{\text{Peso muestra limpia} - \text{Peso muestra sucia}}{200} \times 100$$

A- 14. fórmula para determinar el promedio de humedad.

$$\text{Promedio} = \frac{\text{Suma de los valores}}{\text{Cantidad total de los valores}}$$

A- 15. Fórmula para determinar el rendimiento de pilada.

$$\text{Rendimiento de pilada} = \frac{\text{Peso del arroz oro}}{\text{Peso del arroz granza inial}} \times 100$$

A- 16. Fórmula para determinar el porcentaje de grano yesoso.

$$\% \text{ de grano yesoso} = \frac{\text{Peso de granos yesosos}}{25 \text{ gramos}} \times 100$$

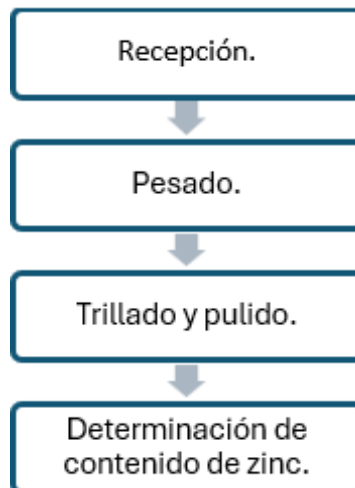
A- 17. Fórmula para determinar el porcentaje de granos rojos.

$$\% \text{ de grano rojo} = \frac{\text{Peso de granos rojos}}{25 \text{ gramos}} \times 100$$

A- 18. Fórmula para determinar el porcentaje de granos dañados.

$$\% \text{ de grano dañado} = \frac{\text{Peso de granos dañados}}{25 \text{ gramos}} \times 100$$

A- 19. Diagrama del proceso de evaluación de contenido de zinc.



A- 20. Resultados de porcentaje de impureza.

N°	GENOTIPOS	% DE IMPUREZA		
		SCP.	Iz.	SA1.
1	BF21AR009	0.1	0.3	0.75
2	BF20AR006	1.15	1.6	1.4
3	BF20AR052	1.15	0.35	0.4
4	BF20AR029	0.4	0.4	0.85
5	BF20AR015	0.5	0.25	1.1
6	BF20AR017	0.3	0.3	0.55
7	BF20AR027	1.45	0.3	0.55
8	BF20AR011	0.5	0.3	1.1
9	BF20AR037	0.6	0.6	1.05
10	BF20AR055	0.2	0.4	0.65
11	IR-64	0.35	0.15	0.2
12	A-NUTREMAS	0.5	0.25	0.5
13	L-5814	0.15	0.6	0.7
14	L-2460	0.15	0.6	0.45
15	L-2462	0.15	0.3	0.3
16	CENTA A-8	0.3	0.5	0.3

A- 21. Norma de Calidad para la compra de arroz granza.

N°.	Factores y Defectos de calidad	Mínimo (%)	Máximo (%)
1	Humedad	10	13
2	Impurezas	3	10
3	Grano Verde	5	10
4	Rendimiento de Pilada	60	68
5	Rendimiento Grano Entero	40	55
6	Grano Yesoso	3	10
7	Grano Rojo	1	5
8	Semillas Objetables	2/100 grs	5/100 grs

Tomado de BOLPROES (2000).

Notas. ¹ La calidad base será la referencia para establecer bonificaciones o descuentos.

² Las tolerancias máximas son las condiciones que si se sobrepasa no se recibe el producto.

³ Obsérvese que los porcentajes de rendimiento de pilada y de grano entero son lo mínimo permitido.

⁴ Semillas Objetables se miden en numero de 100 gramos de muestra de arroz oro.

La Humedad mínima de recibo será de 10%.

A- 22. Resultados de porcentaje de rendimiento de pilada.

N°	GENOTIPOS	RENDIMIENTO DE PILADA %		
		SCP.	Iz.	SA1.
1	BF21AR009	76.55	76.3	70.75
2	BF20AR006	65.7	73.8	71.6
3	BF20AR052	71.55	76.95	73.9
4	BF20AR029	68.9	75.3	68.05
5	BF20AR015	69.05	75.85	68.85
6	BF20AR017	63.1	71.9	63.95
7	BF20AR027	63.6	75	71.75
8	BF20AR011	69.2	77.45	69
9	BF20AR037	69.7	67.35	67.5
10	BF20AR055	70.65	72.6	72.45
11	IR-64	66.75	76.25	71.1
12	A-NUTREMAS	72.65	74.7	69.75
13	L-5814	74	74.2	72.35
14	L-2460	71.55	73.5	68
15	L-2462	71.75	76.7	71.05
16	CENTA A-8	72.7	74.5	68.55

A- 23. Resultados de porcentaje de grano yesoso.

N°	GENOTIPOS	GRANO YESOSO %		
		SCP.	Iz.	SA1.
1	BF21AR009	6.4	7.2	9.2
2	BF20AR006	0.4	2	8.4
3	BF20AR052	7.6	5.6	6
4	BF20AR029	4	9.6	18
5	BF20AR015	6	12.8	10
6	BF20AR017	42	6.4	6.4
7	BF20AR027	1.6	4	6.4
8	BF20AR011	2.8	5.6	6.4
9	BF20AR037	1.6	4.8	8.8
10	BF20AR055	4.4	11.6	4.4
11	IR-64	6	1.2	5.2
12	A-NUTREMAS	3.2	4	4
13	L-5814	4	4.4	6.4
14	L-2460	2.8	6	7.2
15	L-2462	4.8	5.2	12.8
16	CENTA A-8	6	6.4	8.8

A- 24. Resultados de porcentaje de grano entero.

N°	GENOTIPOS	GRANO ENTERO %		
		SCP.	Iz.	SA1.
1	BF21AR009	68.84	90.43	74.63
2	BF20AR006	44.90	84.28	71.65
3	BF20AR052	55.63	73.68	65.63
4	BF20AR029	33.09	82.07	56.43
5	BF20AR015	63.43	56.56	53.45
6	BF20AR017	15.37	62.17	21.27
7	BF20AR027	58.02	75.07	72.75
8	BF20AR011	63.15	87.67	54.64
9	BF20AR037	70.88	24.05	57.04
10	BF20AR055	49.82	76.45	51.90
11	IR-64	64.72	44.98	48.95
12	A-NUTREMAS	71.85	78.05	67.53
13	L-5814	80.00	81.40	82.65
14	L-2460	55.35	73.74	55.74
15	L-2462	48.22	77.44	63.34
16	CENTA A-8	70.98	70.34	67.25

A- 25. Resultados de porcentaje de grano dañado.

N°	GENOTIPOS	GRANO DAÑADO %		
		SCP.	Iz.	SA1.
1	BF21AR009	0.00	0.00	0.00
2	BF20AR006	0.00	0.00	0.00
3	BF20AR052	0.00	0.00	0.00
4	BF20AR029	0.00	0.00	0.00
5	BF20AR015	0.00	0.00	0.00
6	BF20AR017	0.00	0.00	0.00
7	BF20AR027	0.00	0.00	0.00
8	BF20AR011	0.00	0.40	0.00
9	BF20AR037	0.00	0.00	0.00
10	BF20AR055	0.00	0.00	0.00
11	IR-64	0.00	0.00	0.00
12	A-NUTREMAS	0.00	0.00	0.00
13	L-5814	0.00	0.00	0.40
14	L-2460	0.00	0.40	0.00
15	L-2462	0.00	0.40	0.40
16	CENTA A-8	0.40	0.80	0.00

A- 26. Resultado de porcentaje de grano rojo.

N°	GENOTIPOS	GRANO ROJO %		
		SCP.	Iz.	SA1.
1	BF21AR009	0.00%	0.00%	0.00%
2	BF20AR006	0.00%	0.00%	0.00%
3	BF20AR052	0.00%	0.00%	0.00%
4	BF20AR029	0.00%	0.00%	0.00%
5	BF20AR015	0.00%	0.00%	0.00%
6	BF20AR017	0.00%	0.00%	0.00%
7	BF20AR027	0.00%	0.00%	0.00%
8	BF20AR011	0.00%	0.00%	0.00%
9	BF20AR037	0.00%	0.00%	0.00%
10	BF20AR055	0.00%	0.00%	0.00%
11	IR-64	0.00%	0.00%	0.00%
12	A-NUTREMAS	0.00%	0.00%	0.00%
13	L-5814	0.00%	0.00%	0.00%
14	L-2460	0.00%	0.00%	0.00%
15	L-2462	0.00%	0.00%	0.00%
16	CENTA A-8	0.00%	0.00%	0.00%

A- 27. Resultados de n° de semillas objetables / 100 g de muestra.

N°	GENOTIPOS	N° SEMILLAS OBJETABLES/100g		
		SCP.	Iz.	SA1.
1	BF21AR009	0	0	0
2	BF20AR006	0	0	0
3	BF20AR052	0	0	0
4	BF20AR029	0	0	0
5	BF20AR015	0	0	0
6	BF20AR017	0	0	0
7	BF20AR027	0	0	0
8	BF20AR011	0	0	0
9	BF20AR037	0	0	0
10	BF20AR055	0	0	0
11	IR-64	0	0	0
12	A-NUTREMAS	0	0	0
13	L-5814	0	0	0
14	L-2460	0	0	0
15	L-2462	0	0	0
16	CENTA A-8	0	0	0

A- 28. Resultado general de análisis de contenido de zinc.

N°	GENOTIPOS	RESULTADO DE ZINC (mg/kg)		
		SCP.	Iz.	SA1.
1	BF21AR009	23.25	21.40	23.95
2	BF20AR006	24.60	24.80	24.60
3	BF20AR052	15.75	23.45	22.25
4	BF20AR029	17.35	19.00	19.30
5	BF20AR015	19.50	23.00	27.00
6	BF20AR017	21.60	21.25	26.00
7	BF20AR027	23.25	24.85	22.70
8	BF20AR011	18.40	16.30	18.65
9	BF20AR037	26.85	15.70	21.70
10	BF20AR055	18.75	23.60	22.60
11	IR-64	21.15	22.75	19.10
12	A-NUTREMAS	21.85	18.35	19.45
13	L-5814	15.95	15.10	15.40
14	L-2460	21.10	21.85	22.30
15	L-2462	18.05	19.65	17.90
16	CENTA A-8	16.85	21.80	20.50