



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ECOTEC
FACULTAD DE INGENIERÍAS

TÍTULO DEL TRABAJO:

“Validación de la eficiencia del marcador molecular waxy en la evaluación de la calidad culinaria en materiales de arroz del INIAP”.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

GESTIÓN DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS AGRÍCOLAS

MODALIDAD DE TITULACIÓN:

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CARRERA:

INGENIERÍA AGRÓNOMA

TÍTULO A OBTENER:

INGENIERO AGRÓNOMO

AUTOR:

OSCAR JAVIER NAVIA PESANTES

TUTORES:

DRA. IRIS PÉREZ ALMEIDA
DR. CÉSAR ALCÁCER SANTOS

SAMBORONDÓN – ECUADOR

2023

Agradecimientos

Agradezco a todos mi familia, profesores y amigos que siempre han estado de manera constante apoyándome, alentándome y ayudándome a enfocarme en las cosas importantes para poder conseguir mis metas que he ido trabajando a lo largo de este año.

A mi grupo de amigos Lisseth, Carlos, Dayana, Michelle, Paulo, Milton, Jhalmar, Jeremy, Odalis y William que siempre han estado conmigo a lo largo de mi carrera dándome experiencias que jamás podré olvidar y con su amistad tan grande que no puedo decir lo mucho que me ayudaron en todo momento.

Al INIAP por prestarnos sus instalaciones y donarnos los cultivos para realizar las diferentes actividades y la UTB por prestarnos los equipos necesarios para las pruebas de contenido de amilosa.

A mi tutora científica la Dra. Iris Pérez Almeida que me ha tratado de la mejor forma posible y ha tenido la paciencia de una madre durante todo el trabajo de titulación, siempre dándome las instrucciones y consejos para trabajar y aprendiendo con ella siempre, siendo una de las primeras profesoras que llegue a conocer en la carrera y me inspiró aún más a seguir esta carrera que tanto me gusta.

A mi tutor metodológico que me ha ido guiando e instruyendo en la forma correcta de redactar, haciendo las correcciones y mostrándome los detalles tan pequeños que puedo mejorar.

A mi compañero extranjero Albino Rodríguez Acosta por su ayuda constante en el laboratorio y pendiente de que no ocurra un imprevisto ni se quemara el laboratorio.

A mi papá y mi mamá que siempre han estado apoyándome de las mejores formas que conocen e impulsando me a seguir mis metas y no perder el camino que quiero conseguir, haciéndolos orgullosos de lo que soy capaz y lo que puedo lograr.

A Génesis, porque a pesar de que recién este año comenzamos a hablar, me ha ayudado a relajarme y a trabajar de forma más tranquila, siempre apoyándome como solo ella sabía.

+

A mi hermano que siempre me ha apoyado con los trabajos tediosos y ayudándome con la edición de las imágenes para que queden de la manera mas visuales.

Al arroz que me ha dado tantas peleas y conocimiento, mientras uno comienza a investigar más de un tema se da cuenta que solo conoce una pequeña parte del mundo y lo incita a querer aprender más de todo, a pesar que solo sea una parte aún más pequeña de un todo infinito, sin él no podría llegar a donde estoy ahora.

Agradezco a la miss Marianella Barona por siempre ayudarme corrigiéndome y cuidándome como si fuera su hijo y siempre velando para que sigue adelante y no salga de mi camino.

UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TUTOR METODOLÓGICO Y CIENTÍFICO PARA LA
PRESENTACIÓN DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Samborondón, 30 de noviembre de 2023

Magister
Erika Asencio
Decano(a) de la Facultad
Facultad de Ingenierías
Universidad Tecnológica ECOTEC

De mis consideraciones:

Por medio de la presente comunico a usted que el trabajo de integración curricular TITULADO: "VALIDACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL MARCADOR MOLECULAR WAXY EN LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD CULINARIA EN MATERIALES DE ARROZ DEL INIAP" según su modalidad PROYECTO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR; fue revisado, siendo su contenido original en su totalidad, así como el cumplimiento de los requerimientos establecidos en la guía para su elaboración, Por lo que se autoriza al estudiante: OSCAR JAVIER NAVIA PESANTES, para que proceda con la presentación oral del mismo.

ATENTAMENTE,

CESAR|
ALCACER|
SANTOS

Firmado digitalmente
por CESAR|ALCACER|
SANTOS
Fecha: 2023.11.30
20:22:23 +01'00'

Cesar Alcacer Santos, PhD.

Tutor Metodológico



Firmado digitalmente por
IRIS BETZAIDA PEREZ
ALMEIDA

Iris Betzaida Pérez Almeida, PhD

Tutora Científica

+

UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR CERTIFICADO DEL PORCENTAJE DE COINCIDENCIAS DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Habiendo sido revisado el trabajo de integración curricular TITULADO: “VALIDACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL MARCADOR MOLECULAR WAXY EN LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD CULINARIA EN MATERIALES DE ARROZ DEL INIAP” según su modalidad PROYECTO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR elaborado por OSCAR JAVIER NAVIA PESANTES fue remitido al sistema de coincidencias en todo su contenido el mismo que presentó un porcentaje de coincidencias del (%)_4_ mismo que cumple con el valor aceptado para su presentación que es inferior o igual al 10% sobre el total de hojas del Trabajo de integración curricular. Se puede verificar el informe en el siguiente link: <https://app.compilatio.net/v5/report/22610130ba9090ab8f03af8815d405d6e5e0ca2b/summary>). Adicional se adjunta print de pantalla de dicho resultado.

ATENTAMENTE,

CESAR|
ALCACER|
SANTOS|
SANTOS|
Firmado digitalmente por
CESAR|ALCACER|
SANTOS
Fecha: 2023.12.01
18:58:44 +01'00'

**Cesar Alcacer Santos, PhD.
Tutor(a) metodológico**



Firmado electrónicamente por:
**IRIS BETZAIDA PEREZ
ALMEIDA**

**Iris Betzaida Pérez Almeida, PhD.
Tutor(a) de la ciencia**

+

CERTIFICADO DE ANÁLISIS
magister

Tesis Oscar Navia_F

4% Textos sospechosos

< 1% Similitudes
0% similitudes entre comillas

4% Idioma no reconocido

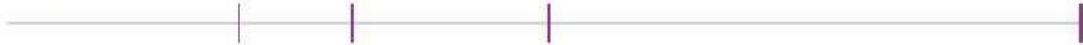
0% Textos potencialmente generados por IA

Nombre del documento: Tesis Oscar Navia_F.docx
ID del documento: 5a32d32a8beb0e29408959e4c0cd3b4d0605dfde
Tamaño del documento original: 3,27 MB

Depositante: IRIS BETZAIDA PEREZ ALMEIDA
Fecha de depósito: 1/12/2023
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 1/12/2023

Número de palabras: 9522
Número de caracteres: 59.457

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes con similitudes fortuitas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 Documento de otro usuario #5a2360 El documento proviene de otro grupo	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (14 palabras)
2	 Documento de otro usuario #3b647e El documento proviene de otro grupo	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (13 palabras)
3	 ecotec.edu.ec https://ecotec.edu.ec/contenidos/uploads/descargas/reglamentos/06.pdf	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (12 palabras)
4	 Documento de otro usuario #0579d2 El documento proviene de otro grupo	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (12 palabras)
5	 books.google.fr https://books.google.fr/books/download/Evaluacion_de_la_calidad_culinaria_y_mo.pdf?dswC9yMIXQ...	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (11 palabras)

Resumen

El arroz es uno de los cultivos más importantes tanto a nivel económico como en la alimentación básica en Ecuador. Pasa por diversos estándares de calidad, donde se evalúan diversas características, siendo el contenido de amilosa un factor crucial. En esta investigación se propuso validar la eficiencia del marcador molecular waxy en la evaluación de la calidad culinaria en cultivares promisorios de arroz del INIAP para selección de cultivares con el contenido de amilosa adecuado para el consumidor final. Se examinaron todos los procesos a los cuales es sometido el grano de arroz, utilizando 10 variedades: mediante la aplicación del molino experimental de INIAP para el proceso de calidad molinera; para la calidad culinaria se utilizaron instrumentos especializados por espectrofotometría, para ver el contenido de amilosa y la cocción de las variedades, y para finalizar se realizó el análisis molecular para comparar y evaluar el gen waxy asociado con el contenido de amilosa. Se encontró que las diferentes muestras evaluadas presentaban diferencias en varias de las variables analizadas, así como en el diagnóstico molecular de los amplicones, agrupándolas según la distancia genética entre ellas. En esta investigación se sientan las bases para futuros desarrollos que puedan mejorar y simplificar la evaluación de la calidad del arroz, beneficiando tanto a productores como a consumidores.

Palabras clave: Microsatélites, contenido de amilosa, marcadores moleculares, calidad molinera, GBSS.

Abstract

Rice is one of the most important crops both economically and as a staple food in Ecuador. It goes through various quality standards, where various characteristics are evaluated, with amylose content being a crucial factor. In this research, it was proposed to validate the efficiency of the waxy molecular marker in the evaluation of culinary quality in promising INIAP rice cultivars for the selection of cultivars with the appropriate amylose content for the final consumer. All the processes to which the rice grain is subjected were examined, using 10 varieties: through the application of the INIAP experimental mill for the milling quality process; For culinary quality, specialized spectrophotometric instruments were used to see the amylose content and cooking of the varieties, and finally, molecular analysis was performed to compare and evaluate the waxy gene associated with amylose content. It was found that the different samples evaluated presented differences in several of the variables analyzed, as well as in the molecular diagnosis of the amplicons, grouping them according to the genetic distance between them. This research lays the foundation for future developments that can improve and simplify the evaluation of rice quality, benefiting both producers and consumers.

Key words: microsatellites, amylose content, molecular markers, milling quality, GBSS.

Índice

Índice de contenido

I. Agradecimientos

II. Certificado de aprobación tutor metodológico y científico

IV. Certificado de Porcentaje de Coincidencias

VI. Resumen

VIII. Abstract

IX. Índice

Introducción	1
1.1 Planteamiento del Problema	2
1.2 Objetivos	3
1.2.1 Objetivo General	3
1.2.2 Objetivos específicos	3
1.3 Justificación	3
Marco Teórico	5
2.1 El arroz en el mundo	6
2.2 El arroz en Latinoamérica	6
2.3 El arroz en Ecuador	6
2.4 El grano de arroz	7
2.5 Composición y contenido nutricional	9
2.6 Componentes de la calidad del arroz	10
2.6.1 Clasificación del Grano	11
2.6.1.1 Tamaño del Grano	11
2.6.1.2 Centro blanco	11

+

2.6.2	<i>Calidad Molinera</i>	12
2.6.3	<i>Calidad Culinaria</i>	12
2.7	<i>Contenido de amilosa</i>	13
2.8	<i>Marcadores moleculares</i>	14
2.8.1	<i>Gen Waxy</i>	16
2.8.2	<i>Enzima GBSS</i>	17
	Metodología del Proceso de Investigación	18
3.1	<i>Ubicación</i>	19
3.2	<i>Materiales genéticos</i>	19
3.3	<i>Caracterización físico-químico</i>	20
3.3.1	<i>Porcentaje de humedad de las muestras</i>	20
3.3.2	<i>Determinación del índice de pilado</i>	21
3.3.3	<i>Porcentaje de centro blanco</i>	22
3.3.4	<i>Medición de ancho y largo del grano</i>	22
3.3.5	<i>Determinación de la calidad culinaria</i>	22
3.3.6	<i>Porcentaje de amilosa</i>	22
3.4	<i>Caracterización molecular</i>	23
3.4.1	<i>Obtención de material vegetal</i>	23
3.4.2	<i>Extracción de ADN (EDB)</i>	24
3.4.3	<i>Cuantificación y calidad del ADN</i>	25
3.4.4	<i>Amplificación del ADN</i>	25
3.4.5	<i>Corrida Electroforética</i>	25
3.5	<i>Análisis de datos</i>	25
	Resultados	27
4.1	<i>Resultados de calidad molinera</i>	27
4.1.1	<i>Porcentaje de descascarado</i>	28

+

4.1.2 <i>Porcentaje de pulido</i>	28
4.1.3 <i>Porcentaje de clasificado</i>	29
4.1.4 <i>Ancho y largo del grano</i>	30
4.1.4.1 <i>Ancho y largo del grano con cáscara</i>	30
4.1.4.2 <i>Ancho y largo del grano pulido.</i>	32
4.1.5 <i>Porcentaje de esterilidad</i>	33
4.2 <i>Resultados de calidad culinaria</i>	34
4.2.1 <i>Tiempo de evaporación del agua</i>	34
4.2.2 <i>Tiempo de cocción del grano</i>	35
4.2.3 <i>Disgregación del grano</i>	36
4.3 <i>Resultados del proceso de caracterización molecular</i>	38
4.3.1 <i>Proceso de caracterización molecular</i>	38
Discusión	42
Conclusiones	46
Recomendaciones	48
Referencias bibliográficas	49
Anexos	54

+

Índice de Tablas

Tabla 1. Materiales seleccionados para evaluar en los procesos de calidad.	19
Tabla 2. Significancia en los cuadrados medios y pruebas de comparación de medias de las pruebas cualitativas de la calidad del arroz.	27
Tabla 3. Valor medio de las variables obtenidas en un análisis de Tukey.	37
Tabla 4. Análisis del porcentaje de amilosa con el equipo Kett An-900 (elaboración propia).	38

Índice de Figuras

Figura 1. Estructura del grano de arroz (Martínez et al., 1989).	8
Figura 2. Estructura de la amilosa (a) y de la amilopectina (b) (Amaya, 2019).	10
Figura 3. Vía biosintética del almidón (Beckles y Thitisaksakil, 2010).	16
Figura 4. Diagrama de flujo del proceso del índice de pilado (elaboración propia).	21
Figura 5. Peso del grano descascarado.	28
Figura 6. Peso del grano pulido.	29
Figura 7. Peso del grano clasificado.	30
Figura 8. Ancho de los granos con cáscara.	31
Figura 9. Largo de los granos con cáscara.	31
Figura 10. Ancho de los granos pulidos.	32
Figura 11. Largo de los granos pulido.	33
Figura 12. Porcentaje de esterilidad.	34
Figura 13. Tiempo de evaporación del agua.	35
Figura 14. Tiempo de cocción del grano.	35
Figura 15. Tiempo de disgregación del grano en segundos.	36
Figura 16. Electroforesis en cámara horizontal realizada con el primer 484F y 485R, M = escalera 25 pb® (Promega) para la detección del gen <i>Waxy</i> en un gel de agarosa Metaphor 2.5% Buffer TBE 0.5X, C = Control.	39
Figura 17. Dendograma de las variedades evaluadas en el proceso de caracterización molecular.	40

+

Figura 18. Extracción de ADN en tubos eppendorf (elaboración propia).	54
Figura 19. Colocación de las muestras de PCR en los pocillos del gel de electroforesis(elaboración propia).	55
Figura 20. Medición del ancho y largo de los granos pulidos (elaboración propia).	56
Figura 21. Proceso de obtención de calidad (elaboración propia).	57

Introducción

El arroz es un cultivo de suma importancia tanto en el ámbito alimenticio como económico para el Ecuador, con más de 17 millones de habitantes (FAOSTAT, 2021)

Para determinar la calidad en el cultivo de arroz, se toman en cuenta tres procesos diferentes, los cuales son: industrial (rendimiento del grano entero, capacidad de secado), molinero (índice de pilado, longitud) y culinario (aparición del grano, tiempo de cocción, consistencia después de cocción, temperatura de gelatinización); para éste último, un parámetro muy importante es el porcentaje de amilosa que facilita la clasificación de variedades en grupos, otorgándoles diferentes características en el proceso de calidad (Sultana et al., 2022).

El marcador molecular *waxy* sirve para determinar el porcentaje de amilosa; este valor es determinante para la calidad culinaria en los cultivares, y es relacionado con la proporción de amilopectina en el almidón (Zhang et al., 2022). Dándole las características de aglutinamiento al arroz, formando cinco grupos desde muy bajo hasta muy alto dándole así ciertas características sensoriales a los materiales, como son tiempo de cocción, temperatura de gelatinización, textura luego de enfriarse y disgregación de grano; siendo estas propiedades más apetecibles dependiendo de la zona en la cual es consumido o para el uso en diferentes procesos industriales como en el caso del envejecimiento del arroz (Arnao et al., 2012).

Con la finalidad de medir la calidad y características de distintas variedades de arroz se realizan procesos, entre ellos los de fitomejoramiento, durante el cual estimar la calidad acompaña a la evaluación de otras cualidades agronómicas, tomando varios años el desarrollo de un material genético que garantice la seguridad alimentaria del consumidor.

1.1 Planteamiento del Problema

Las metodologías convencionales para la medición del porcentaje de amilosa llegan a ser muy costosas, lentas y delicadas, requiriendo un buen análisis químico, y no permiten el procesamiento de una gran cantidad de muestras con un correcto análisis de datos.

Actualmente se usan varios métodos como son a) método espectrofotométrico, el cual consiste en la determinación de la amilosa del arroz en donde se aplica yodo dándole una coloración azul y con un espectrofotómetro se determina la longitud de onda de las muestras, obteniendo este porcentaje por correlación; la desventaja es que la presencia de amilopectina, la cual está en el almidón, hace que la determinación de este porcentaje sea poco preciso; b) calorimetría de barrido diferencial, basada en la temperatura de gelatinización, donde las cadenas poliméricas cambian su comportamiento, debido a que la temperatura suele variar para cada una de las variedades y las celdas de medición, las cuales deben ser calibradas. Este método puede tomar mucho tiempo para su estudio y ejecución (Carolina et al., 2012). Por último, c) la espectroscopia por infrarrojo cercano (NIRS), en la que se usan una gran cantidad de muestras, las cuales pasan por una longitud adecuada en mm para leer el contenido de amilosa y a un cierto grado de reflectancia, más si no se realiza la correcta calibración del equipo, los valores que se obtienen son imprecisos y poco confiables (Loaiza y Larrahondo, 2017).

En este sentido emplear un marcador molecular para asistir al proceso de mejoramiento durante la selección de los cultivares es importante, por su eficiencia, la confiabilidad, disminución de costos, y que puede desarrollarse en etapas tempranas del cultivo, determinando los valores de amilosa de cada una de las muestras evaluadas sin usar una gran cantidad de material y realizando los procesos de manera más confiable, precisa y rápida (Bao et al., 2006; Cheng et al., 2012).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Validar la eficiencia del marcador molecular *waxy* en la evaluación de la calidad culinaria en cultivares promisorios de arroz del INIAP para selección de cultivares con el contenido de amilosa adecuado para el consumidor final.

1.2.2 Objetivos específicos

- ✓ Caracterizar las variedades de arroz del INIAP por medio de pruebas de calidad rutinarias en Ecuador.
- ✓ Evaluar la calidad culinaria (% de amilosa) de cultivares de arroz utilizando el marcador molecular *waxy*.
- ✓ Comparar los resultados obtenidos por ambas metodologías para conocer la eficiencia del marcador *waxy* en el mejoramiento asistido por marcadores.

1.3 Justificación

El contenido de amilosa tiene un valor significativo en el mercado dando características de calidad culinaria como lo es temperatura de gelatinización, la suavidad del grano y su aglutinamiento que pueden determinar la venta de la variedad a un mercado específico. Además, las metodologías actuales utilizadas para la determinación de este valor son engorrosas y los resultados obtenidos son poco precisos, costosos y requieren de gran cantidad de material, es por esto que es importante investigar nuevas metodologías que mejoren el desarrollo de este proceso.

La aplicación de marcadores moleculares para determinar el contenido de amilosa en el arroz en una etapa temprana del cultivo permitirá el descarte del germoplasma que no será aceptado en el país, facilitando la venta de semillas mejoradas para los pequeños, medianos y grandes productores beneficiándose

también los intermediarios, aminorando la cantidad de pérdidas percibidas durante los procesos industriales.

Con el desarrollo y estudio de esta metodología en variedades de arroz del Ecuador se podrán tener los valores de su contenido para utilizarlo como indicadores testigos para futuros análisis y permitiendo la selección de variedades y la facilidad de aplicación de esta metodología teniendo en cuenta las características demandadas por el mercado y cumplan con los requisitos para satisfacer la dieta de las personas.

Marco Teórico
Capítulo 1

Marco teórico

2.1 El arroz en el mundo

El arroz es uno de los productos de mayor importancia en el mundo siendo el alimento básico de más de 2,5 billones de personas, con una producción de 492,2 millones de ton (Marco et al., 2014). Ha incrementado hasta abarcar 165 millones de ha, correspondiendo al 10 % del área total disponible (Jima y Morán, 2017; Muthayya et al., 2014).

En 2021 se cosecharon aproximadamente 787 millones de toneladas (ton) de arroz paddy, siendo producido por países en vías de desarrollo o poco desarrollados con Asia como el principal productor de este rubro (FAOSTAT, 2021).

2.2 El arroz en Latinoamérica

Latinoamérica ocupa un lugar importante en la producción de este cultivo con 17 millones de ton. Su principal productor es Brasil con más de 9 millones de ton y con una superficie de 4.446.000 ha. Sin embargo, el promedio de producción es de 2,1 ton. Ha por el sistema de secano manual que utilizan (Augusto y Molina, 1994; Pérez Almeida y Montoya, 2009).

Ecuador produce 1,5 millones de ton de arroz y cuenta con un área cosechada de 340.281 ha; el principal objetivo de este producto es el consumo local (FAOSTAT, 2021). Se destaca que este cultivo, de menor importancia económica que otros productos, aporta un 20 % de las calorías consumidas (Anandan y Siddharth, 2022; Augusto y Molina, 1994).

2.3 El arroz en Ecuador

El arroz es uno de los principales alimentos en la dieta ecuatoriana, con un consumo promedio de entre 43 y 45 kg por persona, llegando hasta los 50 kg en el año 2020 (Sánchez et al., 2019).

A pesar de que Ecuador no realiza actividades de comercio exterior representativas con este cultivo, si presenta exportaciones a Colombia, Italia, Estados Unidos y España (Sánchez et al., 2019).

La producción de arroz con cáscara en el 2019 fue de 1.1 millones de ton, reflejando una reducción del 18,5 % comparado al 2018. La provincia del Guayas fue la principal productora de este cultivo (Medina, 2022).

Los programas de investigación y mejoramiento son los que se encargan del desarrollo y selección de variedades, realizando las evaluaciones de manera tradicional, enfocándose principalmente en el rendimiento y caracteres morfológicos, pero el mercado cambia constantemente generando cambios en las nuevas demandas de tanto el sector industrial como el consumidor final, por lo cual el mejorador también debe de tomar estas variables y así cumplir los objetivos de selección (Pérez Almeida y Angulo, 2020).

Gran parte de los nutrientes se pierden a consecuencia de los procesos de molienda que pasa el grano de arroz, sin embargo, el arroz integral ha disminuido su compra debido al deseo del consumidor de buscar una apariencia, color, sabor, entre otras características organolépticas en específico, prefiriendo el grano blanco y pulido. Se resalta que este producto es la forma más económica y usual de consumir proteínas y carbohidratos en países menos desarrollados (Kumar et al., 2018; Martínez et al., 1989).

2.4 El grano de arroz

En la Figura 1 se pueden observar todas las partes del grano de arroz. La cáscara del grano de arroz está compuesta por dos hojas modificadas, la lema y la palea. Ésta exteriormente posee tricomas y vellosidades, mientras que algunas variedades poseen las aristas adheridas en la parte superior de la lema. La cáscara representa aproximadamente el 20 % del peso del grano y su función es proteger a la cariósida del ataque de insectos y hongos (Martínez et al., 1989).

La cariósida está conformada por varias capas que son el pericarpio, el tegumento y el nucelo que cumplen con la función de la envoltura de la cariósida, dándole cierto color a la cariósida (Moldenhauer y Gibbons, 2003).

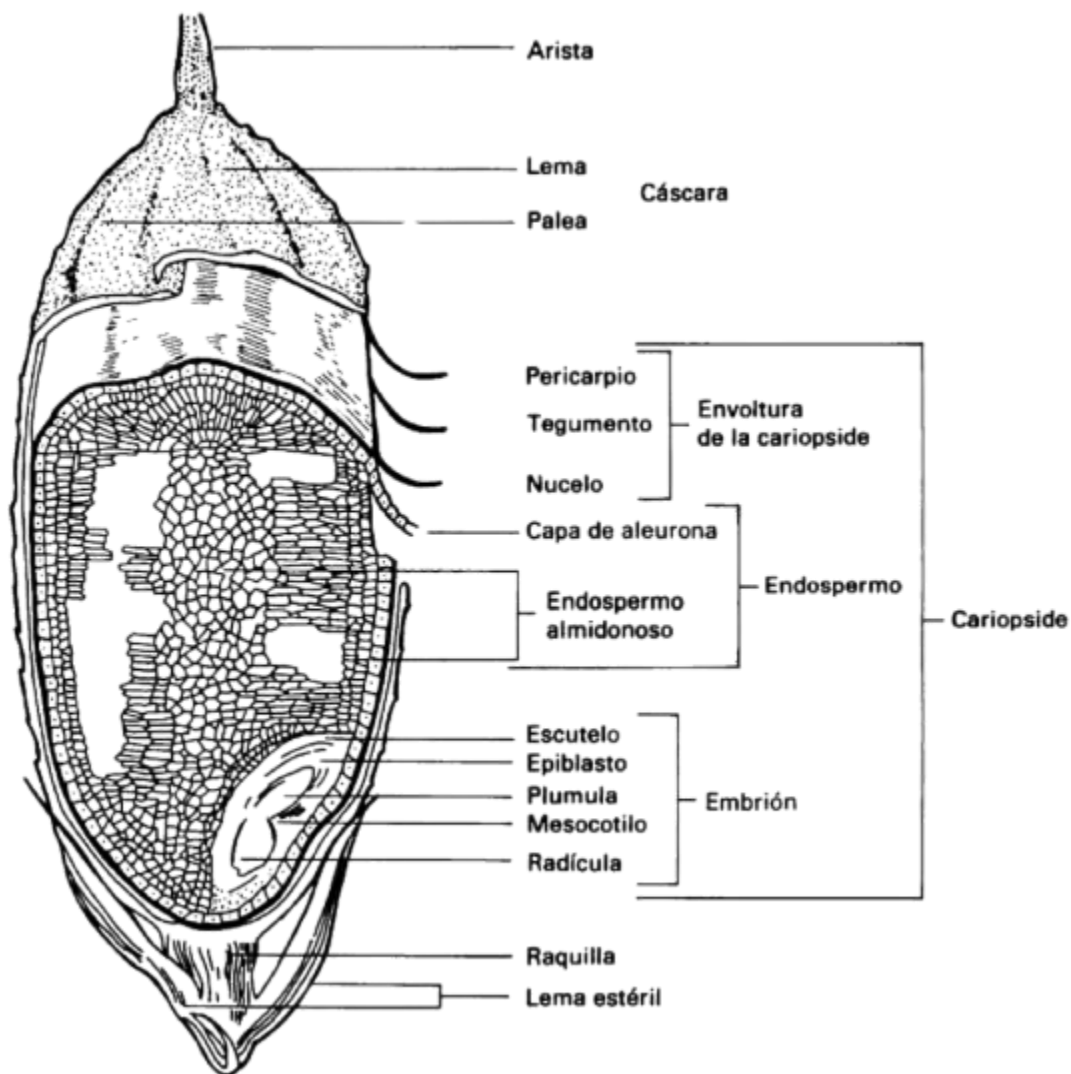


Figura 1. Estructura del grano de arroz (Martínez et al., 1989).

La capa siguiente es la capa de aleurona compuesta por células de parénquima y es rica en proteínas y lípidos, cerrando completamente el endospermo y la parte externa del embrión (Martínez et al., 1989).

El endospermo está dividido en la capa subaleurona que está inmediatamente después de la capa de aleurona y la región central que consiste en el resto del endospermo, está compuesta de células parenquimáticas con paredes delgadas con cuerpos proteicos, la presencia de la panza blanca o centro blanco está asociada en el endospermo por la aparición de áreas opacas (Moldenhauer y Gibbons, 2003).

El embrión es pequeño y está localizado en la zona inferior de la base del grano y contiene dos hojas embrionarias y la raíz embrionaria que se ven unidas por el hipocótilo (Moldenhauer y Gibbons, 2003).

2.5 Composición y contenido nutricional

El almidón está en el endospermo de todos los granos y al hidrolizarse proporciona al hombre 4 calorías gr^{-1} energéticamente (Landires y Márquez, 2013).

El almidón está constituido principalmente de amilosa y amilopectina (Figura 2). La amilosa compone el 15 al 25 % del almidón y la amilopectina ocupa el resto de este porcentaje, en caso de presentar únicamente amilopectina es considerado grano ceroso (Carolina et al., 2012).

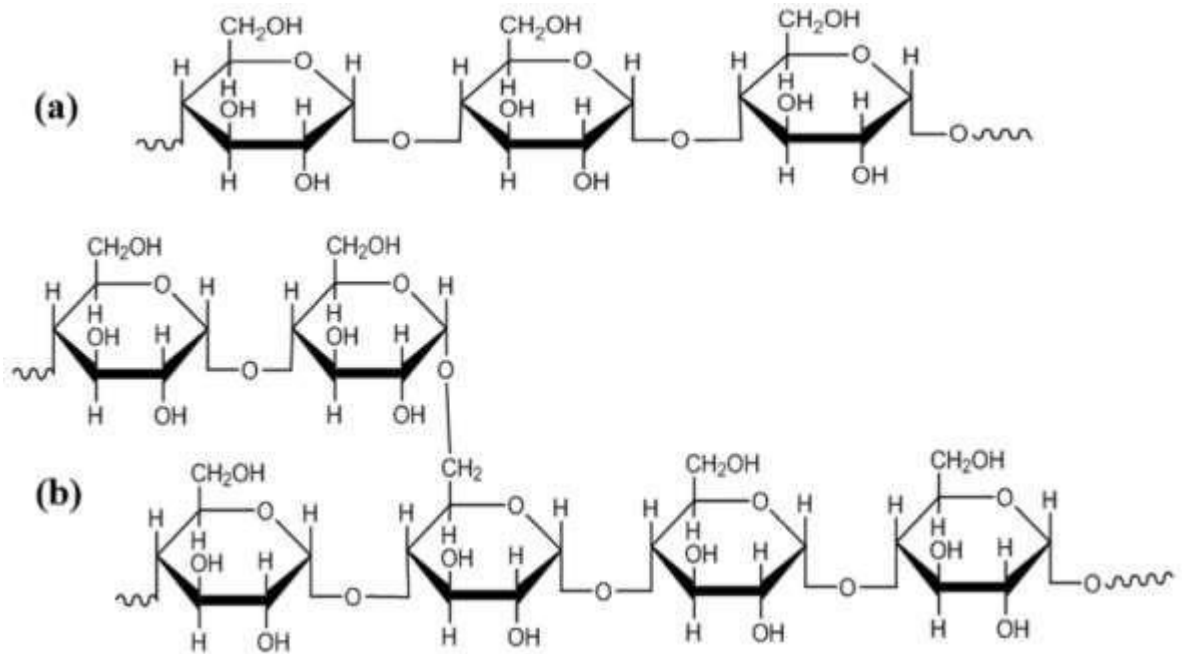


Figura 2. Estructura de la amilosa (a) y de la amilopectina (b) (Amaya, 2019).

2.6 Componentes de la calidad del arroz

La calidad del arroz se refiere al conjunto de características que determinan el valor y la utilidad del grano de arroz para satisfacer las preferencias y necesidades de los diferentes actores involucrados en su producción, procesamiento y consumo. Esta calidad es el resultado de una interacción compleja entre varios factores que abarcan propiedades físico-químicas del grano, prácticas de cultivo, cosecha, manejo posterior y expectativas de los consumidores (Lu et al., 2023; Martínez et al., 1989).

La calidad del grano va a variar siempre entre las preferencias locales y las que son exigidas del mercado internacional. Las preferencias del grano pueden ser muy diferentes entre países, siendo la calidad demandada en un país completamente inaceptable en otro. También el significado de este término varía según el sector de la industria arrocera que se encuentre, teniendo diferentes connotaciones (Augusto y Molina, 1994; León y Carreres, 2002).

2.6.1 Clasificación del Grano

La apariencia del grano también es importante en los procesos de calidad definiéndose como todas las características externas que tiene el grano y depende del color, forma, tamaño, peso, longitud y presencia de centro blanco (Cordero y Saavedra, 2011).

2.6.1.1 Tamaño del Grano

Las propiedades varietales que tienen un impacto en múltiples etapas del procesamiento, manipulación, comercialización y categorización del arroz son su configuración y dimensiones. Las dimensiones longitudinales (L) y la proporción entre longitud y anchura (L/A) del grano cocido, se utilizan como fundamentos para categorizar los tipos de arroz en el mercado. Según la normativa de la Unión Europea, se reconocen tres categorías de granos: largos, medianos y redondos (León y Carreres, 2002).

2.6.1.2 Centro blanco

Los centros blancos representan una característica singular localizada en el interior de la semilla. Estas particularidades se originan debido a un factor genético específico de la planta, y forman parte de los elementos que influyen en la textura de los granos de arroz. Para calcular de manera representativa el grado de centros blancos, se coloca una muestra de 3 a 5 granos sobre una superficie oscura, estos granos son evaluados en función de escalas y posteriormente se calcula un valor promedio basado en la evaluación de los granos (Rendón, 2022).

Es por esto que se han ido generando diferentes criterios para la evaluación de calidad que determinan, según las características y los comportamientos de las variedades, la importancia que tendrán en el mercado. Entre estos procesos de calidad se pueden destacar los procesos de calidad molinera, la apariencia que posee el grano, sus propiedades de cocción y la calidad culinaria después de cocinar el grano (León y Carreres, 2002).

2.6.2 Calidad Molinera

La calidad molinera consiste en la proporción que se obtiene de grano entero o tres cuartos de su tamaño después de pasar por el proceso de descascarado y pulido, siendo esta calidad la de mayor importancia para los agricultores (Martínez et al., 1989).

Los factores que suelen determinar las características que posee el grano a la hora de ser sometidos al proceso son principalmente ambientales y del manejo del cultivo, tales como su cosecha, el trillado, secamiento, almacenamiento, el equipo que va a ser utilizado para la molienda y las condiciones del procesamiento, grado de molienda y proporción de granos enteros, siendo cada una de estas variables de importancia para dicho proceso (Rendón, 2022).

Por lo tanto, la evaluación de las condiciones de calidad molinera solo es válida si se conoce todo el proceso del cultivo antes de la elaboración, así como la comparación entre diferentes variedades puede ser evaluada únicamente si las condiciones a las que es sometida son homogéneas (León y Carreres, 2002).

2.6.3 Calidad Culinaria

Dentro de la calidad culinaria, las características físico-químicas son las que condicionan el proceso de cocción del grano de arroz; sin embargo, lo más importante es la textura después de cocido, la temperatura de gelatinización y el tiempo de cocción las cuales están determinadas por el contenido de amilosa en el arroz (Ávila et al., 2014).

La textura se determina por medio de la adhesividad y la firmeza, estos son los principales indicadores empleados para analizar la textura del grano cocido de manera directa. Utilizando los parámetros ya mencionados se describen dos características esenciales del arroz cocido que influyen significativamente en la apreciación sensorial por parte de los consumidores españoles: la capacidad del grano para adherirse entre sí (mayor adhesividad indica una mayor tendencia) y su nivel de resistencia a la cocción excesiva (mayor firmeza sugiere una menor

tendencia). Estos dos aspectos están estrechamente relacionados (a mayor adhesividad, menor firmeza) y la clasificación de las variedades. Según estos criterios es ampliamente aplicable en diversas cosechas (Ávila et al., 2014; Zambrano et al., 1980).

2.7 Contenido de amilosa

El almidón es el componente principal en el arroz pulido; formado por dos componentes: la amilosa y la amilopectina (Figura 2). La relación entre éstos determina el valor de calidad culinaria del arroz molinado. El contenido del almidón y amilosa están definidos genéticamente y no por el ambiente (Martínez et al., 1989; Sreenivasulu et al., 2022).

Según su contenido de amilosa los granos son clasificados en tipos cerosos o *waxy* (0-2 %), amilosa muy baja (3-9 %), amilosa baja (10-19 %), amilosa intermedia (20-24 %) y amilosa alta (>24 %) (Bergman et al., 2001).

El contenido bajo de amilosa, con un 8 a 22 %, un arroz glutinoso o ceroso, es la base de alimentación para las regiones asiáticas, el cual también es usado para la preparación de dulces, postres, pasteles y pastas precocidas. Estas variedades son las japónicas y tienen como característica la poca expansión y absorción, con una apariencia brillante, húmeda y pegajosa luego de su cocción, y sus granos se desintegran cuando son cocinados por demasiado tiempo (Augusto y Molina, 1994; Fitzgerald, Bergman, et al., 2009).

Los tipos intermedios, están en el rango de 23 a 28 % de contenido de amilosa, poseen las mismas características que las de alto contenido en amilosa, las cuales poseen mayor al 29 % pero tienen la capacidad de tener una textura suave al enfriarse y son los preferidos en el consumo de América Latina, de gran aceptación en el mercado mundial, siendo las variedades índicas las que tienen amilosa intermedia o alta (Augusto y Molina, 1994; Kim et al., 2021).

Para esto se han desarrollado variedades que puedan satisfacer las demandas del mercado nacional e internacional. La selección de estas variedades

ocurre en la cuarta o quinta generación por lo cual el tiempo que toma para su obtención y evaluación, se utilizan una gran cantidad de insumos, descartando genotipos que pudieron o no tener las características genotípicas deseadas, pero el ambiente tiene un fuerte impacto (Bretó et al., 2012).

Por ello, se han desarrollado estrategias que ayudan directamente a la selección y descarte de germoplasma observacional que no va a ser aceptado por el mercado, perdiendo una gran cantidad de insumos para su desarrollo (Bretó et al., 2012).

Para la determinación del contenido de amilosa en los programas de mejoramiento se debe de esperar hasta terminar el proceso de calidad molinera y realizar diferentes procedimientos para determinar cada aspecto con el uso de diferentes reactivos o de diferentes equipos y metodologías como lo es por espectrofotometría, colorimetría de barrido diferencial o por espectroscopia en el infrarrojo cercano (Cruz et al., 2021; Kim et al., 2021; Loaiza y Larrahondo, 2017).

En el mejoramiento genético de arroz se ha usado el proceso colorimétrico el cual es considerado rápido y reproducible, este tiene limitantes las cuales no permitan la determinación de caracteres heterocigotos, así como una gran variabilidad en los resultados en el laboratorio por los factores que están asociados a la cuantificación, haciendo difícil la confiabilidad de los datos para la selección en los programas de mejoramiento (Fitzgerald, McCouch, et al., 2009).

2.8 Marcadores moleculares

Los marcadores moleculares son secuencias de ADN que detectan las variaciones genotípicas de un gen en específico, el cual es importante para la agricultura, de manera que pueden ser utilizados para asistir los procesos de fitomejoramiento y selección de características específicas de interés sin la intervención del ambiente (Pérez Almeida et al., 2019).

En las últimas décadas aumentó el interés por los marcadores moleculares, las aplicaciones y sus utilidades que tienen en el desarrollo y análisis del estudio genético de especies animales y vegetales (Al-Samarai y Al-Kazaz, 2015).

Los marcadores moleculares que revelan diferencias genéticas pueden observarse mediante diversas técnicas, y el desarrollo de la tecnología en extracción, caracterización, amplificación y secuenciación de ADN, han hecho que sus usos sean casi ilimitados (Fujino et al., 2019).

Por esto ahora es posible controlar la estructura del almidón a través de la modificación de la proporción amilosa-amilopectina. La estructura del almidón puede parecer conceptualmente simple, pero su biosíntesis es compleja. Durante el período de llenado del grano, el almidón se acumula en el endospermo del arroz y es principalmente producido por la acción conjunta de cuatro enzimas: la pirofosforilasa de ADP-glucosa (AGPasa), las sintasas de almidón (SSs), las enzimas ramificantes de almidón (SBEs) y las enzimas des-ramificantes (DBEs). La modificación postraducciona l de estas enzimas a través de la fosforilación, el empalme alternativo y los cambios alostéricos desempeña un papel vital en la modificación del contenido de almidón y en la alteración de la composición amilosa-amilopectina (Sreenivasulu et al., 2022).

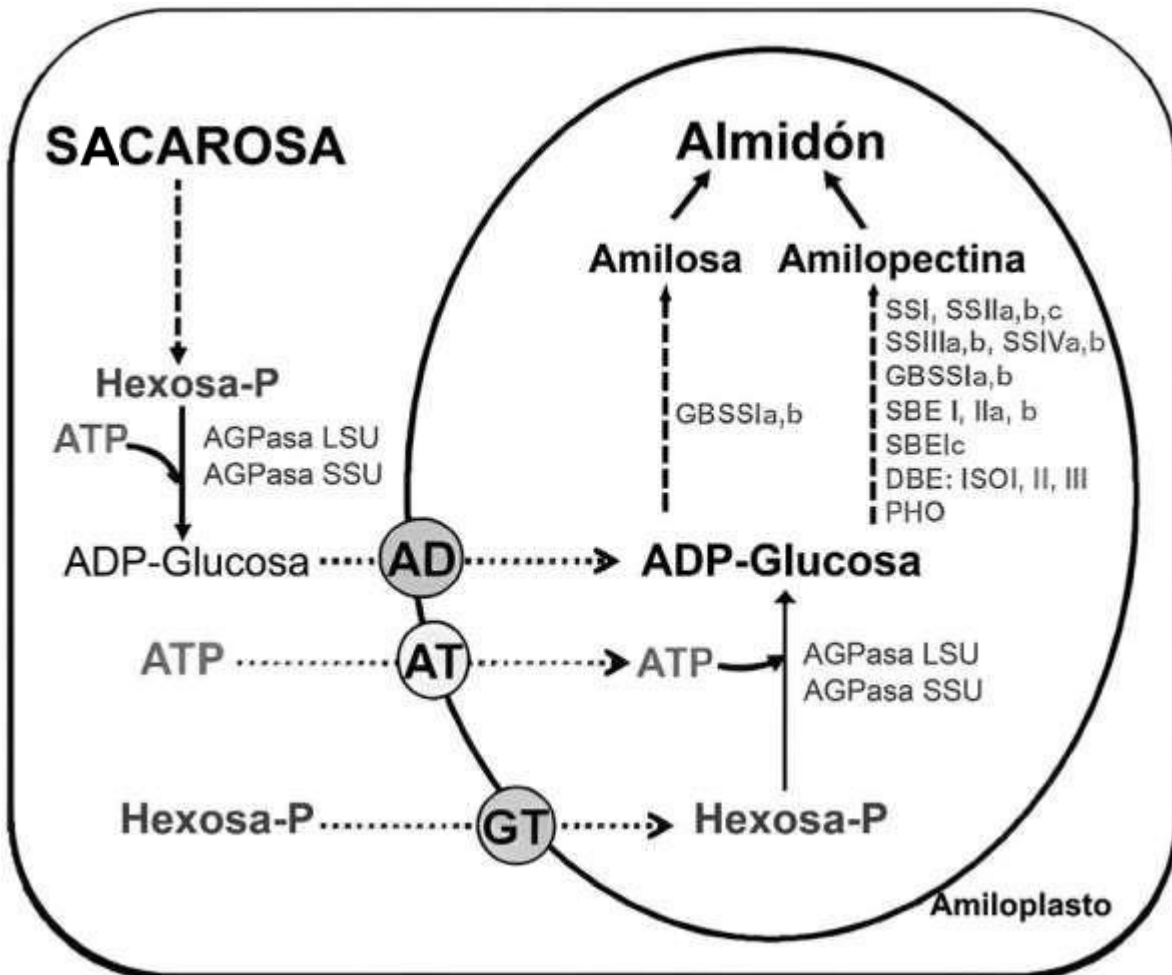


Figura 3. Vía biosintética del almidón (Beckles y Thitisaksakil, 2010).

2.8.1 Gen Waxy

El uso de marcadores moleculares puede mejorar en gran medida los procesos de desarrollo y selección de variedades mejoradas asociadas con el gen *waxy* ofreciendo varias ventajas que los otros métodos no poseen. Entre las principales ventajas se observa que la evaluación no es afectada por el ambiente y se puede hacer la selección de manera temprana, aún sin que se manifieste el carácter, no importa la etapa fenológica del cultivo, haciendo que la selección de esta característica basándose en el ADN, no sea tan dependiente del azar, sino más económica, precisa y confiable (Ayres et al., 1997; Xia et al., 2022).

Las diferencias entre las secuencias del gen *waxy* han sido ampliamente investigadas y debido a ello se ha creado un método para la determinación de estos genotipos dominantes por el medio de marcadores microsátélites (SSRs) que permiten una discriminación más precisa entre los individuos que han sido ya emparentados (Bergman et al., 2001; Bretó et al., 2012).

De allí que por medio de la aplicación de estos marcadores para la selección de cultivares con características de difícil selección, con baja heredabilidad, y cuantificación que pueden llegar a tener un valor muy alto o que solo son expresados en momentos tardíos del desarrollo del cultivo o que los efectos de heterocigosis hacen que los rasgos deseados, pero recesivos, sean enmascarados por aquellos dominantes, no expresándose fenotípicamente y afectando los resultados del mejoramiento (Wu et al., 2022).

2.8.2 Enzima GBSS

La enzima sintasa de almidón unido a gránulos (granule-bound starch synthase GBSS) es la encargada de sintetizar, codificada por el gen *waxy* en el cromosoma 6 del arroz, el contenido de almidón (CA) está mayormente afectada por la variabilidad en las formas alélicas de un gen específico, y su manifestación se ve influenciada por las diferencias en un solo nucleótido (G o T) que se encuentran en la primera posición del sitio de empalme del primer intrón (Landires y Márquez, 2013).

Metodología del Proceso de Investigación
Capítulo 2

Metodología del Proceso de Investigación

3.1 Ubicación

Esta tesis se desarrolló en dos etapas. Primero, la fase de determinación de calidad molinera e industrial, en las instalaciones del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) Estación Experimental Litoral Sur "Dr. Enrique Ampuero Pareja" en el Programa de Arroz, ubicado en el km.26 vía Durán – Tambo, Cantón Yaguachi, Provincia del Guayas. La segunda fase en el Laboratorio de Biología Molecular en la Universidad Tecnológica ECOTEC, ubicado en el Km 13.5, vía Samborondón, Guayas.

3.2 Materiales genéticos

Se evaluaron 10 materiales donados por el INIAP para los procesos de calidad, consistiendo en 5 variedades comerciales indica (Arenillas, Cristalino, Élite, Impacto y SFI-011), 4 variedades observacionales (GO-04209, GO-04304, GO-04361 y GO-04429), 1 variedad japónica (Hangang-Chal) y para la parte molecular, se utilizaron además 5 testigos de origen venezolano y colombiano (Cimarrón, Fonaiap 1, Fedearroz 50, Fedearroz 2000 y D-Sativa) donados por el INIA-Venezuela y la Fundación Danac.

Tabla 1. Materiales seleccionados para evaluar en los procesos de calidad.

No.	CULTIVARES SELECCIONADOS	PROPIETARIO	PEDIGRÍ
1	Go-04209	INIAP	FL15198-6P-6SR-1P-2P-MP
2	Go-04304	INIAP	FL15697-1P-3SR-2P-2SR-MP- MP
3	Go-04361	INIAP	FL17316-4P-2P-MP-4P-SR-MP- 48
4	Go-04429	INIAP	FL17409-8P-3SR-2P-2SR-MP-8
5	INIAP FL ARENILLAS	INIAP	FL09444-13P-6-1P-3P-M-EC

6	INIAP FL 1480 (CRISTALINO)	INIAP	FL11095-17P-3-2P-1P-M-EC
7	INIAP FL ELITE	INIAP	FL13848-3P-3SR-3P-3P-M-MP
8	HANGANG CHAL	COREANA	IR2061/KR51
9	IMPACTO	INIAP	IN559-3-1-5-M
10	SFL-011	AGRIPAC	FL05463-4P-13-1P-2P-M
T1	CIMARRÓN	VENEZUELA	CHIANUNG SIPI 611330//IR 34//IR 1563-15-3-3
T2	FONAIAP 1	VENEZUELA	P 1386-6-8M-1-3M-1// CAMPONI/TAPURIPA
T3	FEDEARROZ 50	COLOMBIA	P 1274-6-8M-1-3M-1//ORYZICA LLANOS 4
T4	FEDEARROZ 2000	COLOMBIA	P 3084-F4-56-2-2//P 3844-F3-19- 1-1B-1X//CT 8154-1-9-2
T5	D-SATIVA	VENEZUELA	P 3050-F4-52//ORYZICA 1//IR 21015-72-3-3-3-1

Los números del 1 al 10 corresponden a los materiales genéticos evaluados en este estudio. Los códigos denotados con T corresponden a los materiales utilizados como testigos.

3.3 Caracterización físico-químico

3.3.1 Porcentaje de humedad de las muestras

Se midió la humedad inicial de 1 kg de cada material seleccionado para este experimento con un medidor de humedad LDS 1H. Las muestras recolectadas se encontraban con una humedad inicial de 13 ± 2 %. Para uniformizar el porcentaje de humedad fue necesario colocar las muestras a secar durante 24 h bajo luz natural indirecta hasta alcanzar un porcentaje de humedad óptimo para el proceso de pilado (11-12 %). Posteriormente se almacenaron en el cuarto cuarentenario.

3.3.2 Determinación del índice de pilado

Se pesaron 100 g en una balanza analítica (4 repeticiones) y se limpiaron y homogeneizaron. Luego se realizó el procesamiento del arroz paddy para el descascarado usando el molino experimental modelo ZACCARIA PAZ/1-DTA, haciendo doble pase, para obtener arroz integral; de esta manera se determinó, por diferencia, el porcentaje de arroz integral y de cáscara. Posteriormente se llevó a cabo el pulido por 35 s y clasificado del grano por un periodo de 35 s (tiempo establecido por el molino experimental) para adquirir el arroz pulido y polvillo; y el arroz entero, tres cuartos ($\frac{3}{4}$), y partido, respectivamente, por medio del clasificado de las muestras.

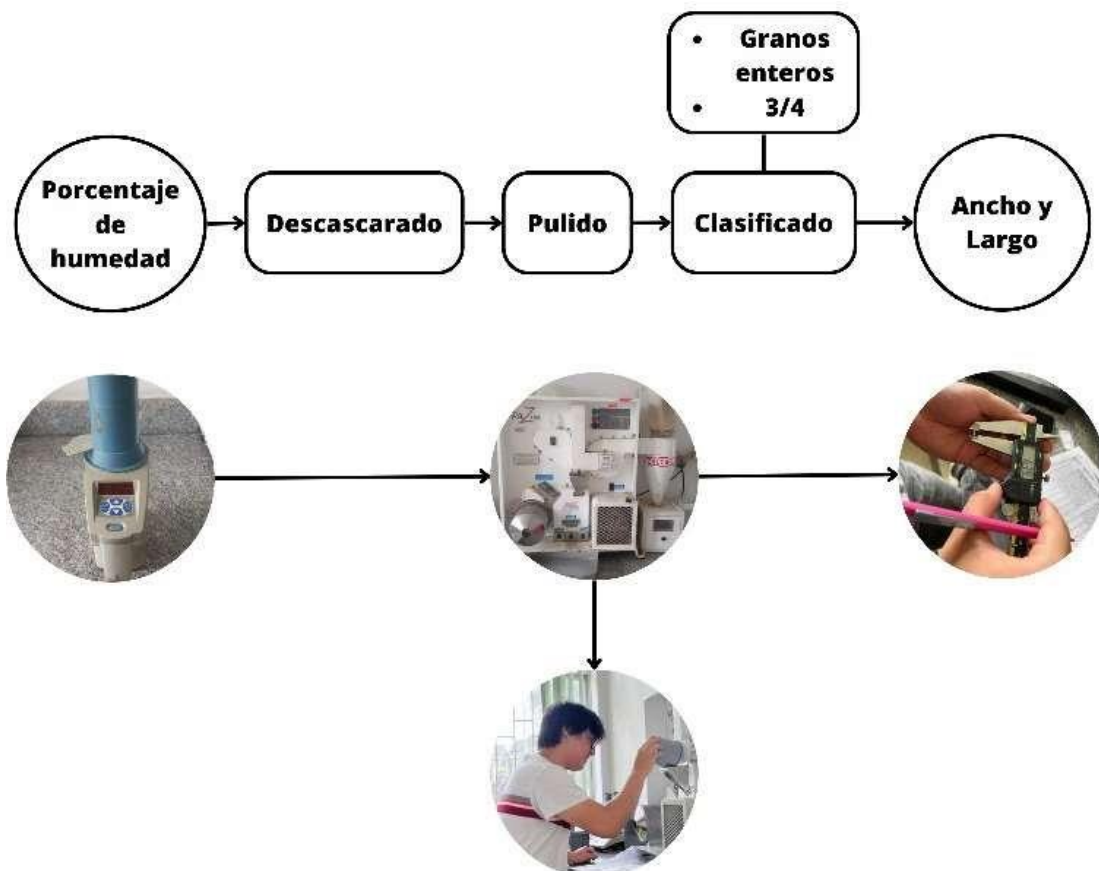


Figura 4. Diagrama de flujo del proceso del índice de pilado (elaboración propia).

3.3.3 Porcentaje de centro blanco

Sobre una base de color oscuro y en un lugar bien iluminado, se escogieron aleatoriamente 100 granos, separando aquellos que presentaron panza blanca (no totalmente transparentes) y se realizó una relación porcentual del 100 % por los granos no translúcidos encontrados.

3.3.4 Medición de ancho y largo del grano

Para ello se utilizó un calibrador o vernier digital tomando 10 granos al azar por cada muestra, realizando la medición en milímetros (mm). Luego se desarrollaron las estimaciones de los promedios para 4 repeticiones. El proceso se llevó a cabo con granos paddy y pulidos.

3.3.5 Determinación de la calidad culinaria

Para ello se procedió a cocinar cada muestra de acuerdo con el CIAT (Martínez et al., 1989), utilizando una relación (1:1) de 250 g de arroz pulido y 250 mL de agua. La cocción se realizó en una olla arrocera marca Zojirushi modelo NL-BB05C. De esta forma se estimó el tiempo de evaporación del agua (hasta donde llegaba el proceso) y el tiempo de cocción (después del cual el grano ya estaba apto para el consumo), se usó un cronómetro para la medición de los tiempos que demoraba cada proceso.

3.3.6 Porcentaje de amilosa

Se empleó el analizador infrarrojo de componentes AN-900, en el laboratorio de calidad de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Tecnológica de Babahoyo (UTB).

Primero se calibró el equipo de la siguiente manera: se colocó un blanco (cubeta vacía); luego el estándar (una muestra de valor conocido) y a continuación las muestras bajo estudio, haciendo tres repeticiones en la cual el equipo designaba la media del contenido de amilosa de cada una de las muestras.

3.4 Caracterización molecular

3.4.1 Obtención de material vegetal

Se realizó la desinfección de la cámara de flujo laminar usando rayos UV durante 15 min para evitar contaminación externa, luego se seleccionaron 15 semillas de cada genotipo a estudiar y se le aplicó hipoclorito de sodio al 10 %, enjuagando luego con agua destilada 4 veces.

Se procedió a la imbibición de las semillas en tubos eppendorf de 1.5 mL por 4 días y se realizó el crecimiento de las plántulas en el vivero de la Universidad ECOTEC en el cual se continuó a colocar sustrato para su crecimiento; pasando 15 días se extrajo el tejido vegetal de las 15 para proceder al aislamiento de ADN, seleccionando tejido sano y joven.

Se secaron las muestras por una semana en fundas de papel Kraft, utilizando sílica gel para la disminución de humedad de las muestras, con el propósito de obtener polvillo fino para el aislamiento de ADN.

3.4.1 Extracción de ADN (EDB)

Se realizó siguiendo la metodología indicada por Elías et al. (2004), basado en la metodología con buffer de extracción CTAB de Dellaporta et al. (1983), publicado en Borges et al. (2009), la cual llamaremos EDB.

1. Las hojas desecadas se trituraron hasta obtener un polvo fino en morteros de porcelana (aproximadamente 50 mg) y se añadieron 800 μ L de Buffer de extracción CTAB al 3 % [30 mM de EDTA, 0,1 M de Tris-HCl pH 8,0, 1,2 M de NaCl, 3 % de CTAB, más 3 % de β -mercaptoetanol añadido justo antes de su uso]. El macerado se transfirió a un tubo de microcentrífuga de 1,5 mL.
2. Luego, los tubos se incubaron en un agitador calentador Biosan TS-100 a 65°C durante 1 h, con agitación 850 rpm para una homogeneización adecuada.
3. Después, se agregaron 500 μ L de cloroformo-alcohol isoamílico (24:1), se

mezclaron suavemente durante 1 min y se centrifugaron a 15.000 rpm durante 10 min.

4. Se transfirieron 500 μL del sobrenadante a un tubo fresco con un volumen igual de cloroformo-alcohol isoamílico (24:1) más 200 μL de CTAB al 3 % (sin β -mercaptoetanol). Esta solución se mezcló suavemente y se centrifugó nuevamente a 15.000 rpm durante 10 min, y se transfirió una muestra de 500 μL del sobrenadante a un tubo fresco con 350 μL de isopropanol frío a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y se mezcló suavemente por inversión.
5. La solución se centrifugó a 15.000 rpm durante 10 min y el pellet resultante se dejó secar durante aproximadamente 12 h con los tubos invertidos sobre papel de filtro a temperatura ambiente.
6. El pellet se resuspendió en una solución de buffer TE, agregando 200 μL de TE y 4 μL de ARNasa (10 mg mL^{-1}). Los tubos se incubaron a $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 30 min y luego las muestras se almacenaron a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3.4.2 Cuantificación y calidad del ADN

Se usó el fluorómetro Qubit 4, según la metodología descrita por el fabricante; tomando 2 μL de ADN de cada una de las muestras a analizar.

Se corrieron las muestras en un gel de agarosa al 1 % con buffer TBE 0.5X para verificar su calidad e integridad del ADN.

3.4.3 Amplificación del ADN

Las reacciones se realizaron en tubos de microcentrífuga de 0,5 mL. Cada reacción contenía 12,5 μL del buffer GoTaq Green Master Mix 2X (Promega) (400 μM dATP, 400 μM dGTP, 400 μM dCTP, 400 μM dTTP and 3mM MgCl_2 .), 0,5 μL de los cebadores 10 mM sentido 484F (CTTTGTCTATCTCAACACAC), antisentido 485R (TTGCAGATGTTCTTCCTGAT- G) y W2R (TTTCCAGCCCAACACCTTAC), 3 μL del ADN molde (60 ng/ μL) y 9,5 μL de agua destilada estéril para completar el volumen final de 25 μL .

Se utilizó el termociclador Techne Prime y los perfiles de temperaturas que se manejaron para el proceso fueron los siguientes: desnaturalización 94 °C por 5 min, seguido por 35 ciclos de 94 °C por 45s, 52 °C por 30s, 72 °C por 1 min. Por último, un ciclo de elongación final de 72 °C por 5 min y 10°C de manera indefinida para mantener las muestras en el equipo hasta retirarlas del mismo.

3.4.4 Corrida Electroforética

Se utilizó 100 mL de TE y 2.5 g de agarosa Metaphor® para la obtención de un gel con concentración al 2.5 %, luego se tiñó con 4 uL de Diamond dye® (Promega). El gel tiene una longitud de 11 cm, 9 cm de anchura y 1 cm de espesor de modelo Owl™ EasyCast™ B1.

Se realizó comparación con una escalera de 25 pb de Promega para estimar el tamaño de bases de los amplicones de cada una de las variedades y se colocaron 4 uL de ADN del resultado de la PCR en cada uno de los pocillos.

El análisis y visualización de los geles se utilizó un transiluminador marca Vilber para obtener las imágenes de los geles y observar bandas que estaban de las muestras de ADN.

3.5 Análisis de datos

Se utilizó el software RStudio para el desarrollo de los análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de comparación de medias de Tukey con una significancia estadística del 0.05 y el desarrollo de los gráficos de diagrama de cajas y Rainclouds con el software JASP.

Para el análisis de los datos moleculares se empleó el programa ImageJ para la lectura de los geles y los tamaños de los amplicones obtenidos de la electroforesis, mediante el estudio del tamaño de bandas. Los datos se registraron en una matriz Excel.

Resultados
Capítulo 3

Resultados

4.1 Resultados de calidad molinera

En el análisis de varianza del proceso de calidad molinera hubo una diferencia significativa (p value= 0.0001) en las variedades, encontrando una baja semejanza entre sus medias. Por otro lado, en las réplicas no se encontró una significancia estadística.

Como se puede observar en la Tabla 2 para los cuadrados medios de cada una de las variables evaluadas en el proceso de calidad molinera y culinaria del arroz se obtiene un grado de significancia por cada una de ellas, siendo el tiempo de cocción, porcentaje de esterilidad y el peso en descascarado los que tienen una menor significancia en el proceso. El resto de pruebas tienen un efecto significativo en las muestras, demostrando que no existe una semejanza entre los datos obtenidos y que si se encontró variabilidad entre estos.

Tabla 2. Significancia en los cuadrados medios y pruebas de comparación de medias de las pruebas cualitativas de la calidad del arroz (elaboración propia).

Variables	Cuadrados medios	Error
Peso descascarado	1.45**	0.40
Peso pulido	4.83***	0.47
Peso clasificado	208.69***	1.56
Largo grano cáscara	2.33***	0.08
Ancho grano cáscara	0.20***	0.0034
Largo grano pulido	1.29***	0.022
Ancho grano pulido	0.14***	0.0013
Porcentaje de esterilidad	3423***	4
Evaporación del agua	7.33*	2.86
Tiempo de cocción	4.56*	1.8
Disgregación	22361***	3591

Niveles de significancia: * = 0.01, ** = 0.001, *** = 0.0001

4.1.1 Porcentaje de descascarado

En la Figura 5 la distribución de los datos en un diagrama de cajas donde se puede observar que la variedad SFL-011 tiene un gran rango entre sus datos, mientras que la distribución del resto de las muestras está en diferentes grupos con su respectiva varianza, donde la variedad con una mayor media es Arenillas y la más baja es Hangang-Chal.

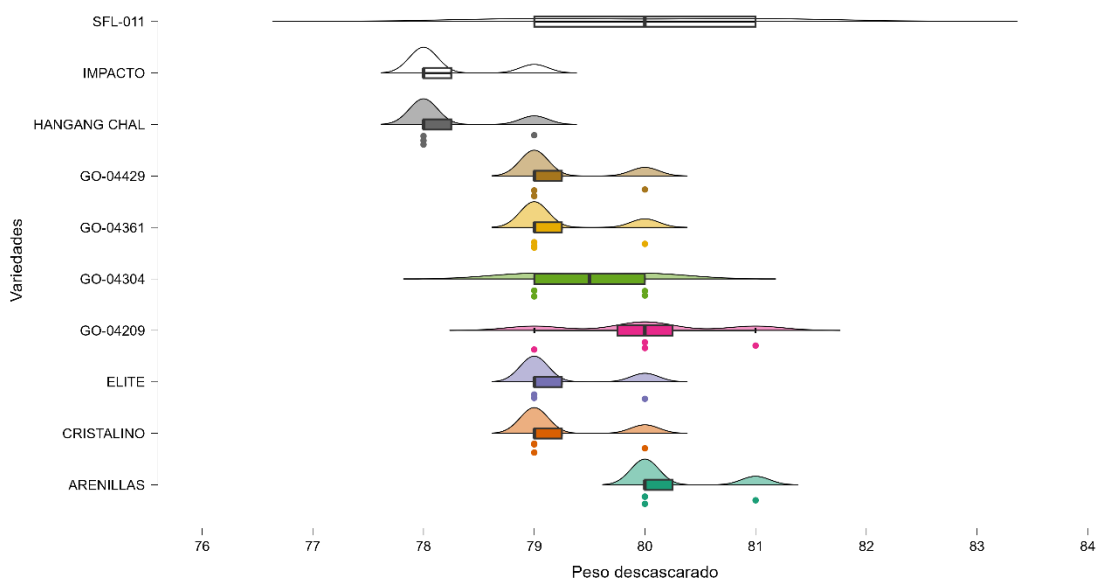


Figura 5. Peso del grano descascarado (elaboración propia).

4.1.2 Porcentaje de pulido

En la Figura 6 se observa que GO-04429, GO-04361 y Elite presentan una baja distribución de datos y variabilidad, mientras que SFL-011 presenta una alta distribución y variabilidad en sus datos.

Las variedades que presentan una media alta son GO-04209 e Impacto, Arenillas con una media de 74.5 y la media más baja Hangang-Chal con 71.

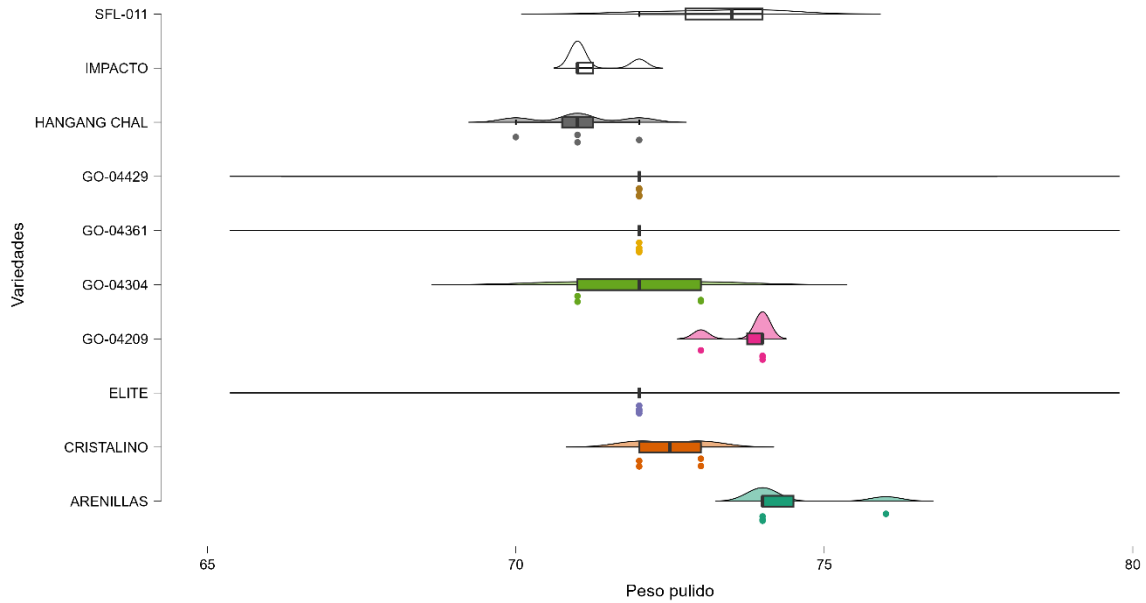


Figura 6. Peso del grano pulido (elaboración propia).

4.1.3 Porcentaje de clasificado

En cuanto al clasificado, se observa en la Figura 7 el diagrama de cajas, la agrupación de los datos y la varianza individual de cada una de las variedades, en la cual se puede destacar que GO-04209 e Impacto tienen las medias más altas de 71.25 y 67.50 respectivamente, y SLF-011, GO-04361 y Cristalino las medias más bajas con 51.75, 51.25 y 50.

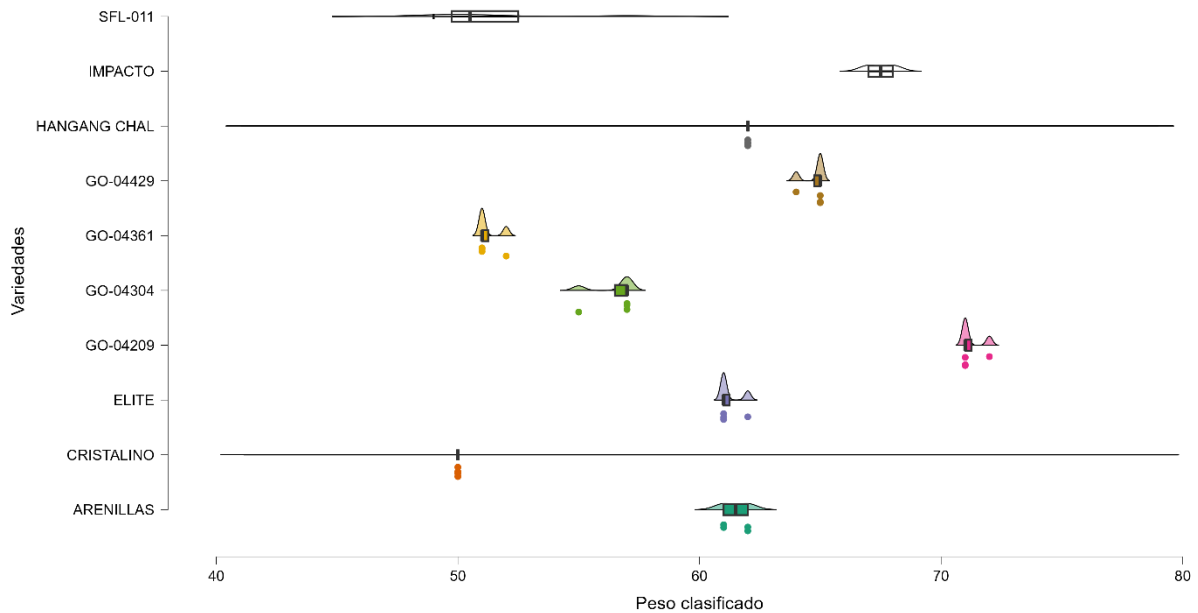


Figura 7. Peso del grano clasificado (elaboración propia).

4.1.4 Ancho y largo del grano

4.1.4.1 Ancho y largo del grano con cáscara

En la Figura 8 se puede observar que la variedad que presenta mayor anchura en sus granos al cosechar es Hangang-Chal estando muy alejado del resto de los cultivares evaluados que tienen medias mucho menores en comparación.

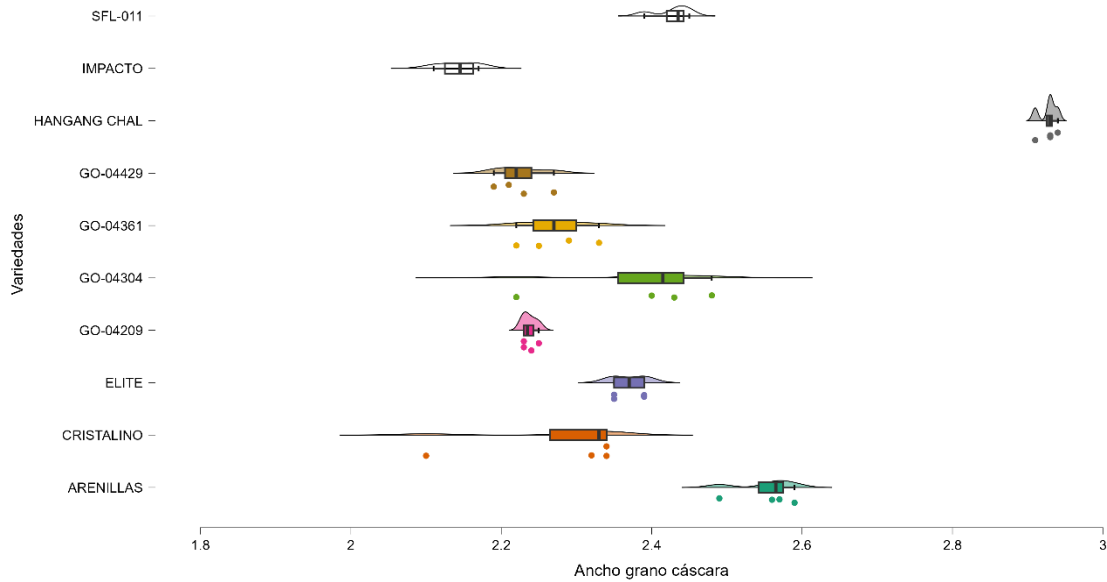


Figura 8. Ancho de los granos con cáscara (elaboración propia).

Por otro lado, en la longitud de los granos las muestras con una mayor media y una ligera varianza entre sus datos son Impacto, GO-04429 y GO-04361, mientras que Hangang-Chal es la que menor longitud presenta como se puede observar en la Figura 9.

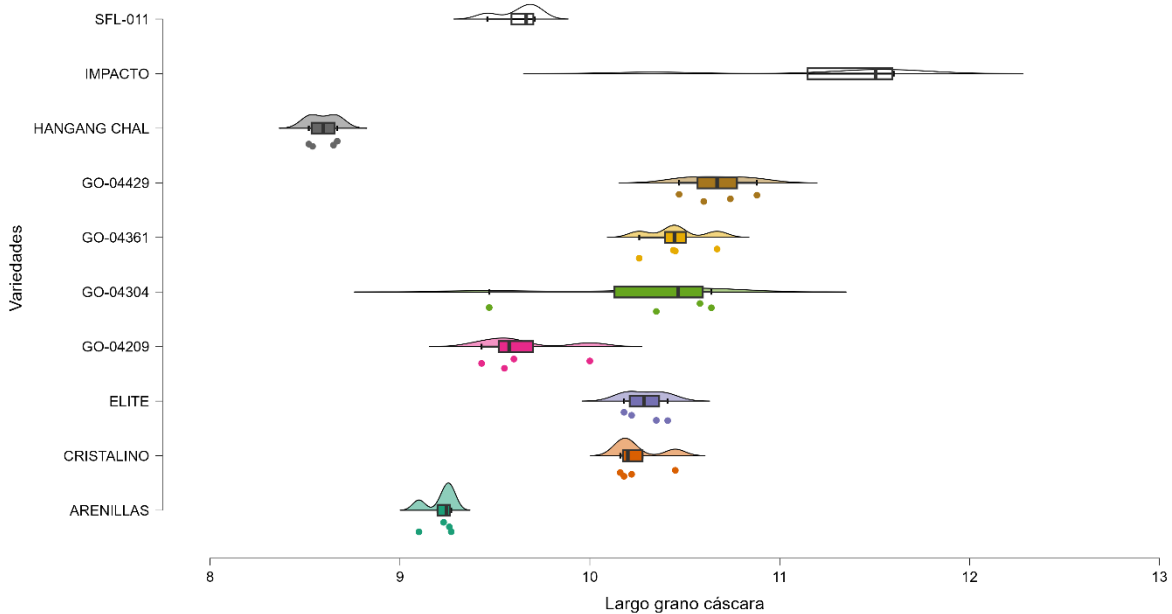


Figura 9. Largo de los granos con cáscara (elaboración propia).

4.1.4.2 Ancho y largo del grano pulido.

En los granos pulidos se aprecia una similitud en los datos obtenidos con los granos con cáscara como se puede observar en la Figura 10, donde la variedad Hangang-Chal presenta la mayor media, mientras que Impacto y GO-04429 son las variedades con menor anchura de grano pulido.

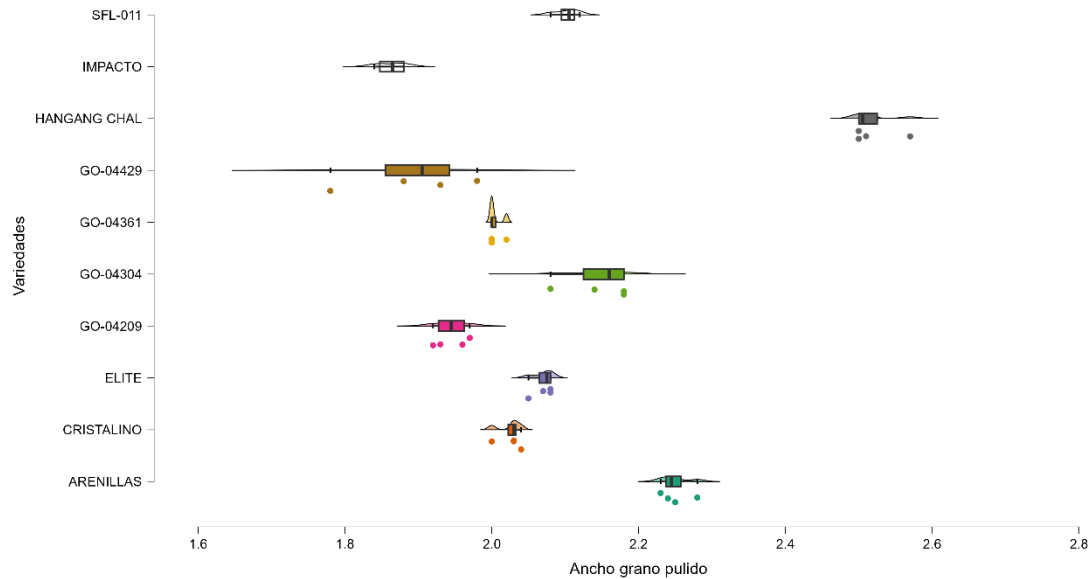


Figura 10. Ancho de los granos pulidos (elaboración propia).

En la Figura 11 se observa la agrupación de los datos donde la variedad que posee una menor longitud es Hangang-Chal, y las que tienen mayor longitud son Impacto, GO-04429, GO-04304 y GO-04361 formando una agrupación muy parecida al de la Figura 9 en donde se mencionan los granos con cáscara.

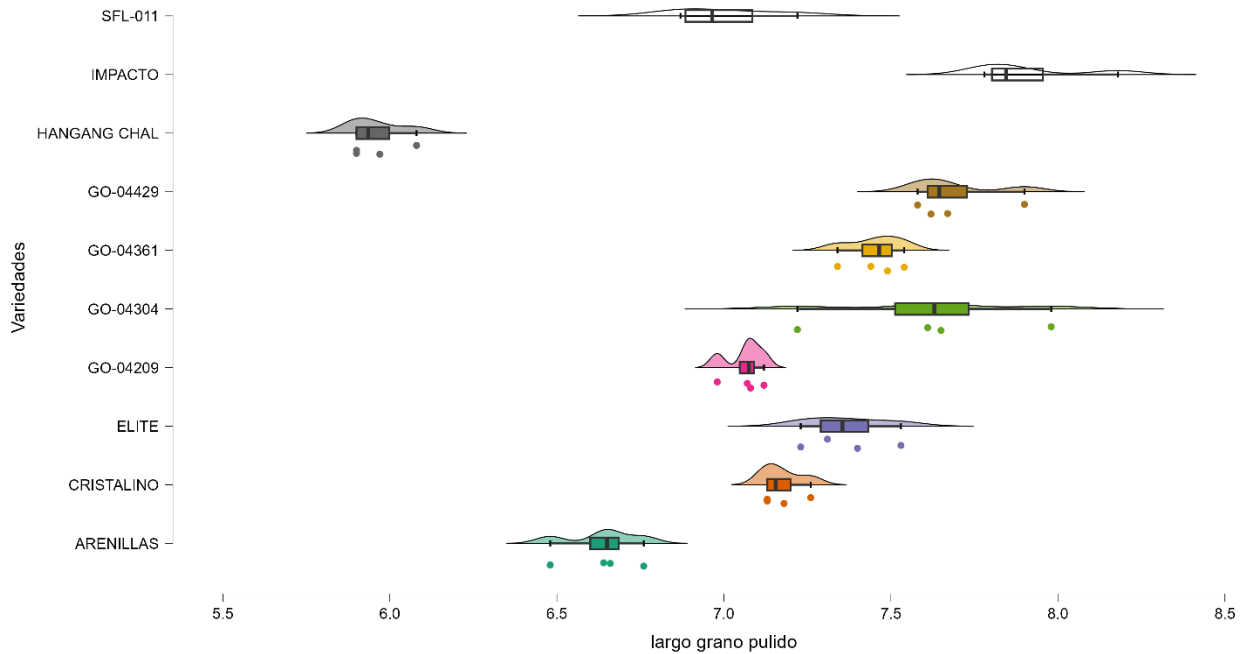


Figura 11. Largo de los granos pulido (elaboración propia).

4.1.5 Porcentaje de esterilidad

En la Figura 12 se puede observar el porcentaje de esterilidad o centro blanco que poseen las variedades. Hangang-Chal al ser un grano yesoso tiene el mayor porcentaje de centro blanco con un 100 % de esterilidad contrastando con las demás variedades como es el caso de Arenillas y SFL-011 que presentan un alto porcentaje de esterilidad, pero muy por debajo que Hangang-Chal. El resto de variedades muestran similitud entre sus medias agrupándolos entre sí.

Se puede ver una amplia distribución en los datos en las variedades Impacto, SFL-011 y Arenillas a diferencia del resto de cultivares con una menor distribución.

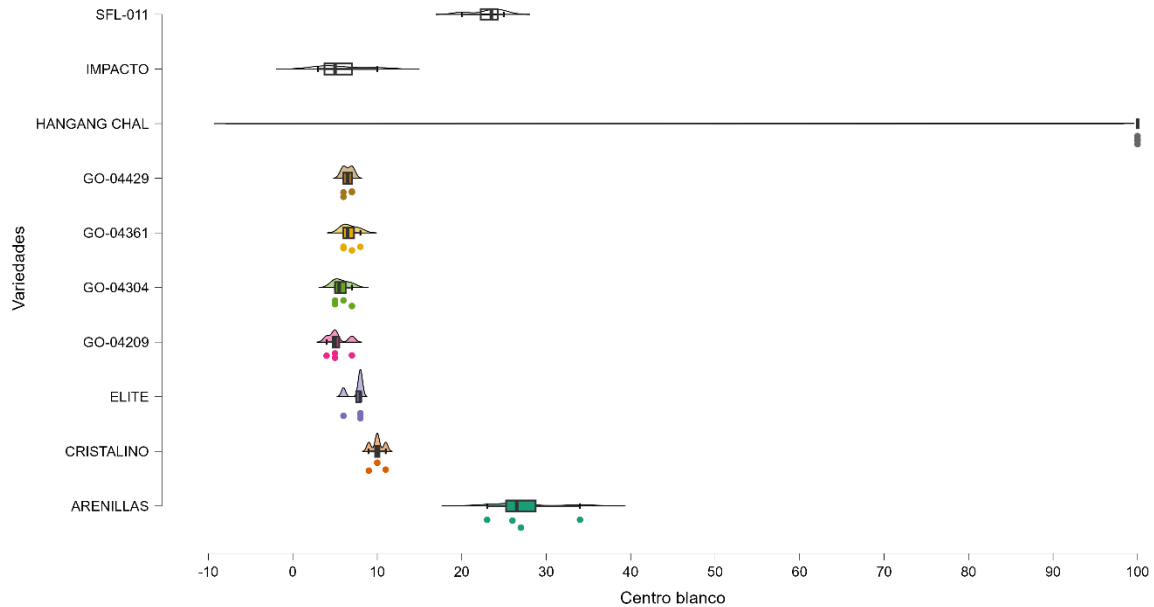


Figura 12. Porcentaje de esterilidad (elaboración propia).

4.2 Resultados de calidad culinaria

4.2.1 Tiempo de evaporación del agua

Los datos en la Figura 13 tienen una variabilidad y distribución alta, pero los que menor variabilidad presentan entre sus datos son Cristalino y Hangang-Chal.

Por otro lado, la variedad que menor tiempo toma evaporar y absorber el agua es Impacto con una media de 28 min y Hangang-Chal es la que mayor tiempo demora en evaporar el agua.

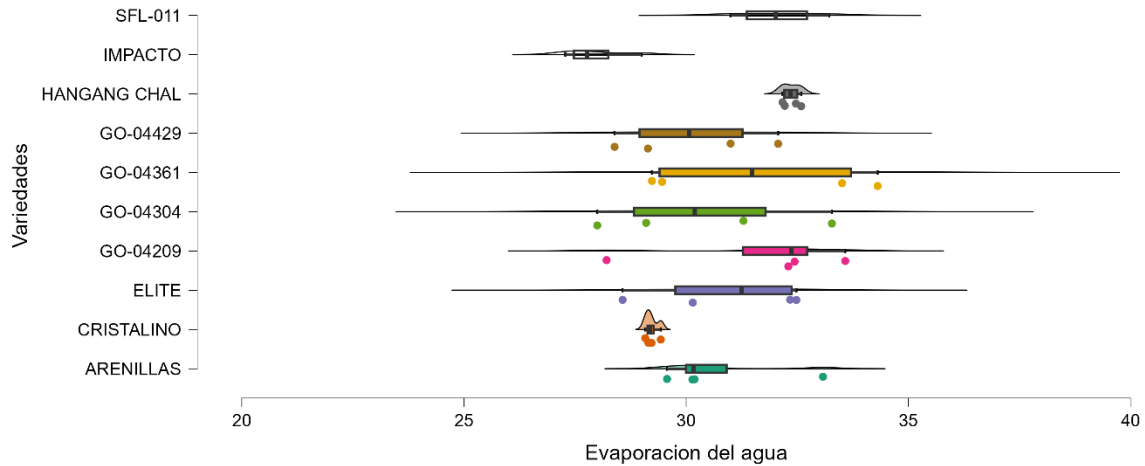


Figura 13. Tiempo de evaporación del agua (elaboración propia).

4.2.2 Tiempo de cocción del grano

En el tiempo de cocción del grano de las diferentes variedades no hay una significancia entre las diferentes variedades, pero se puede ver en la Figura 14 que la distribución de los datos es muy diferente, donde SLF-011, Impacto y Hangang-Chal tienen una baja distribución y alta varianza entre sus datos, contrario al resto de variedades.

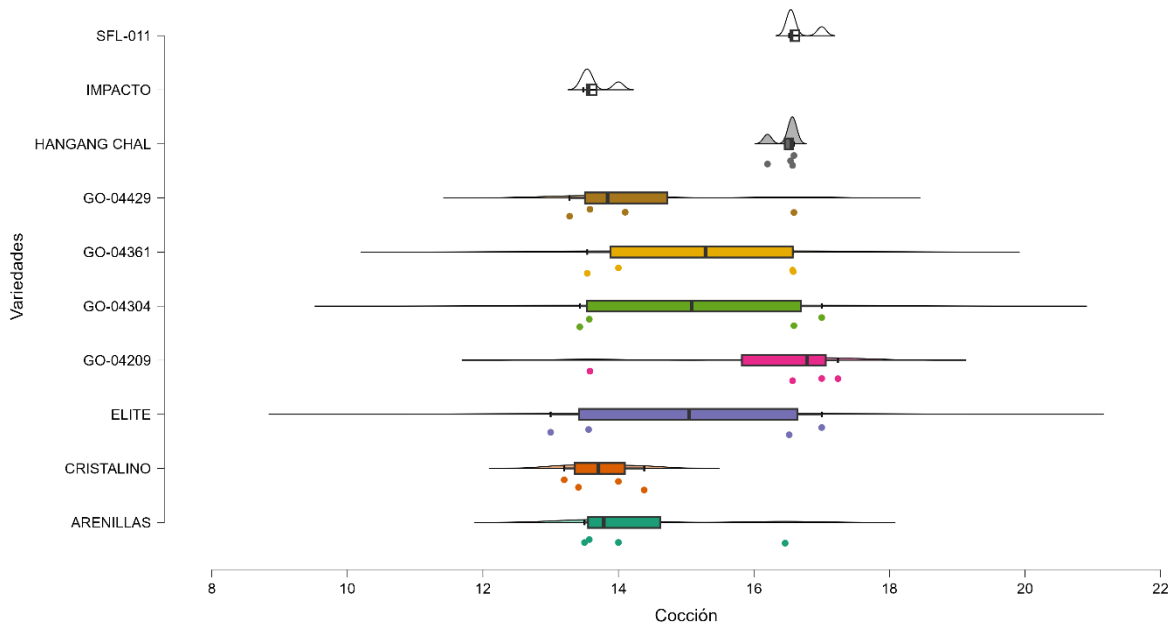


Figura 14. Tiempo de cocción del grano (elaboración propia).

4.2.3 Disgregación del grano

En la disgregación del grano las variedades que tienen una característica más glutinosa luego de haber sido cocinados son las variedades Hangang-Chal, Cristalino y GO-04429, que tienen un mayor tiempo de disgregación del grano. Por otro lado, las demás variedades tienen un tiempo de disgregación mucho menor.

En la Figura 15 se puede observar que solo Cristalino y Hangang-Chal poseen una amplia distribución entre sus datos con una baja varianza, mientras que, para el resto de las muestras, sus medias están concentradas en ciertos puntos de la figura.

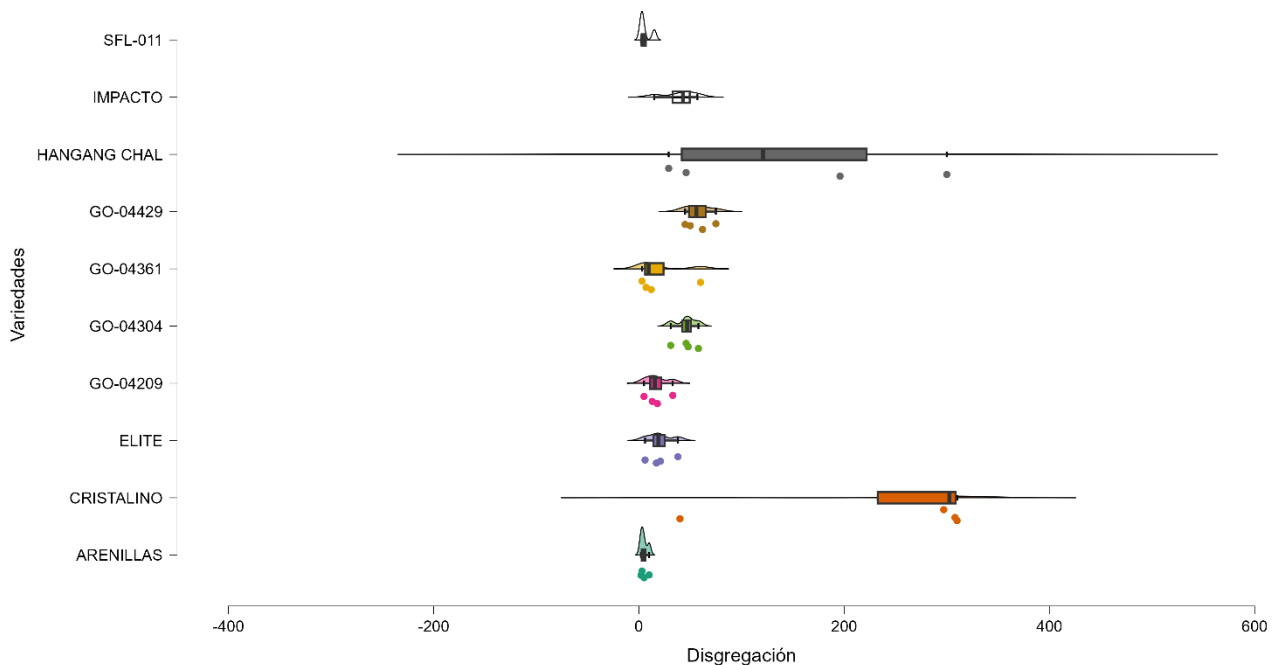


Figura 15. Tiempo de disgregación del grano en segundos (elaboración propia).

En la Tabla 3 se puede observar la agrupación de las diferentes variedades por análisis de Tukey, siendo las variables con mayor media en sus datos las que se les coloca la letra A.

Tabla 3. Valor medio de las variables obtenidas en un análisis de Tukey (elaboración propia).

Variables	GO-04209	GO-04304	GO-04361	GO-04429	ARENILLAS	CRISTALINO	ELITE	HANGANG-CHAL	IMPACTO	SFL-011
Peso descascarado	80 A	79.50 AB	79.25 AB	79.25 AB	80.25 A	79.25 AB	79.25 AB	78.25 B	78.75 AB	80.00 A
Peso pulido	73.75 AB	72.00 CD	72.00 CD	72.00 CD	74.50 A	72.50 BCD	72.00 CD	71.00 D	71.25 CD	73.25 ABC
Peso clasificado	71.25 A	56.50 D	51.25 E	64.75 BC	61.50 D	50.00 E	61.25 D	62.00 CD	67.50 B	51.75 E
Largo grano cáscara	9.65 CD	10.26 BC	10.46 B	10.67 AB	9.22 DE	10.25 BC	10.29 ABC	8.60 E	11.24 A	9.63 CD
Ancho grano cáscara	2.24 DE	2.38 BCD	2.27 CDE	2.23 DE	2.55 B	2.28 CDE	2.37 BCD	2.93 A	2.14 E	2.43 BC
Largo grano pulido	7.06 DE	7.62 ABC	7.45 ABCD	7.69 AB	6.64 E	7.18 CD	7.37 BCD	5.96 F	7.91 A	7.01 DE
Ancho grano pulido	1.95 EF	2.15 BC	2.01 DE	1.89 F	2.25 B	2.03 DE	2.07 CD	2.52 A	1.86 F	2.10 CD
Porcentaje de esterilidad	6.50 C	5.75 C	6.75 C	5.25 C	27.50 B	10.00 C	7.50 C	100.00 A	5.75 C	23.00 BC
Evaporación del agua	31.63 AB	30.42 AB	31.63 AB	30.15 AB	30.75 AB	29.22 AB	30.89 AB	32.36 AB	27.96 A	32.07 ABC
Tiempo de cocción	16.10 A	15.15 A	15.17 A	14.39 A	14.38 A	13.75 A	15.02 A	16.48 A	13.65 A	16.66 A
Disgregación	17.25 B	45.75 B	20.50 B	58.00 AB	5.00 B	238.75 A	20.50 B	142.75 AB	39.50 B	6.00 B

4.3 Resultados del proceso de caracterización molecular

Para el análisis del contenido de amilosa (CA) utilizando el instrumento Kett AN-900 se puede observar que, en la Tabla 4, la variedad Impacto presenta el mayor promedio de CA, mientras que la que menor porcentaje presenta es GO- 04304.

Tabla 4. Análisis del porcentaje de amilosa con el equipo Kett An-900 (elaboración propia).

Variedades	Promedio contenido de amilosa (%)
GO-04209	17.3
GO-04304	16.4
GO-04361	20.5
GO-04429	20.1
ARENILLAS	19.5
CRISTALINO	20.0
ELITE	18.0
HANGANG	20.6
CHAL	
IMPACTO	26.5
SFL-011	19.3

4.3.1 Proceso de caracterización molecular

En la Figura 16 se observa la corrida electroforética del gel donde solo se evaluó los 10 materiales seleccionados, se realizó con los marcadores sentido 484F y antisentido 485 en el cual se puede apreciar que la presencia o ausencia de las bandas en las diferentes muestras al igual que el tamaño que se tienen por sus pares de base tomando la escalera 25 pb® (Promega) ubicada en el sexto carril, en el carril 1, 2, 3, 6 y 10 no hay presencia de ADN.

Se puede observar que los materiales que presentan similitud en sus bandas son 5-7 y 8-9, mientras que la banda 4 es la única que no está al mismo nivel que las demás.

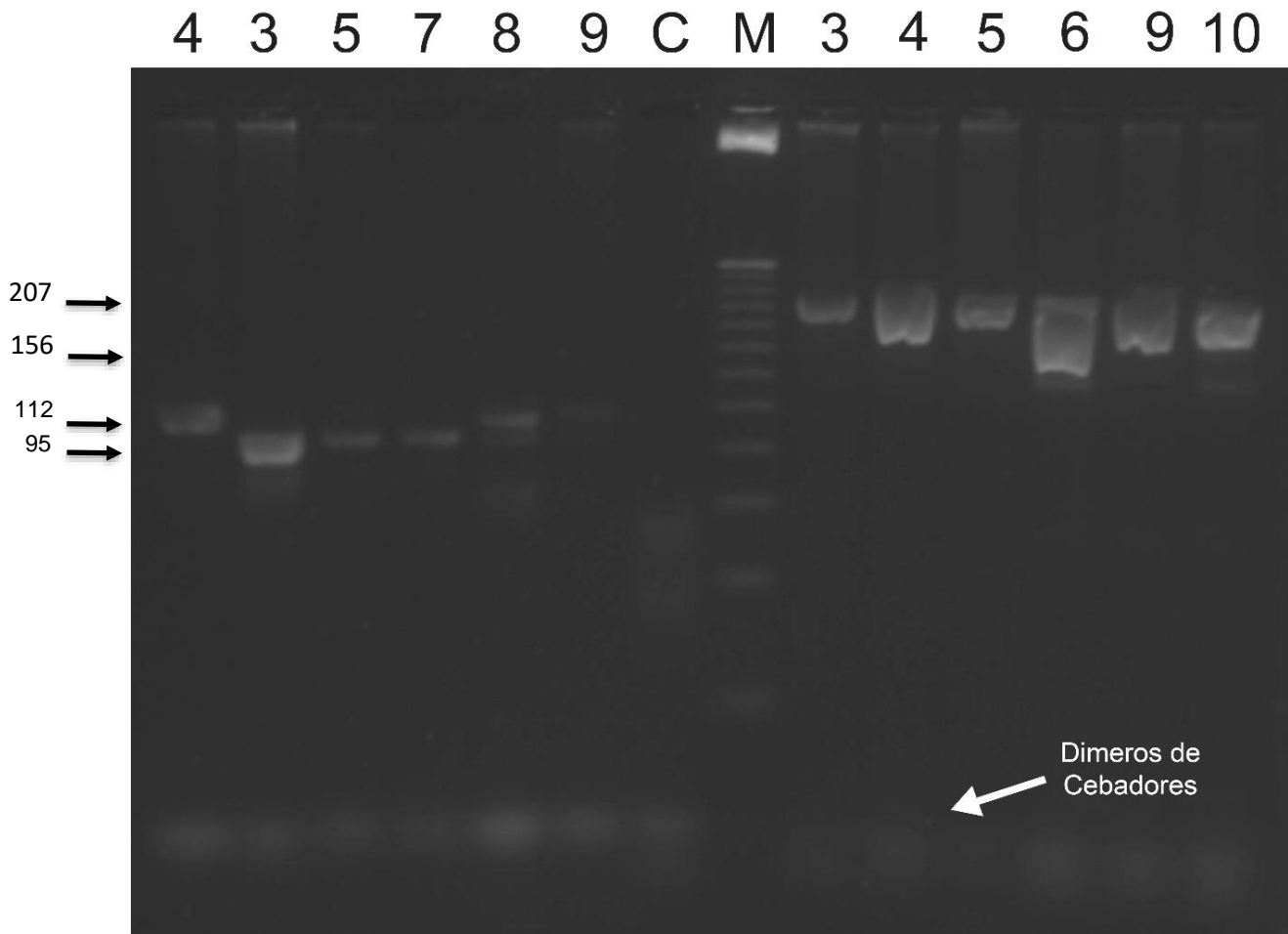


Figura 16. Electroforesis en cámara horizontal realizada con el primer 484F y 485R, M = escalera 25 pb® (Promega) para la detección del gen *Waxy* en un gel de agarosa Metaphor 2.5% Buffer TBE 0.5X, C = Control (elaboración propia).

En la Figura 17 se puede observar la agrupación que tienen los datos de las muestras evaluadas basadas en las distancia que se tienen entre los pares de base de cada una de las variedades, midiendo así la similitud que se tienen entre ellos y agrupándolos entre sí en diferentes grupos y subgrupos. De esta manera las variedades que presentan una menor distancia entre sus datos son Cimarrón y Fedearroz 50.

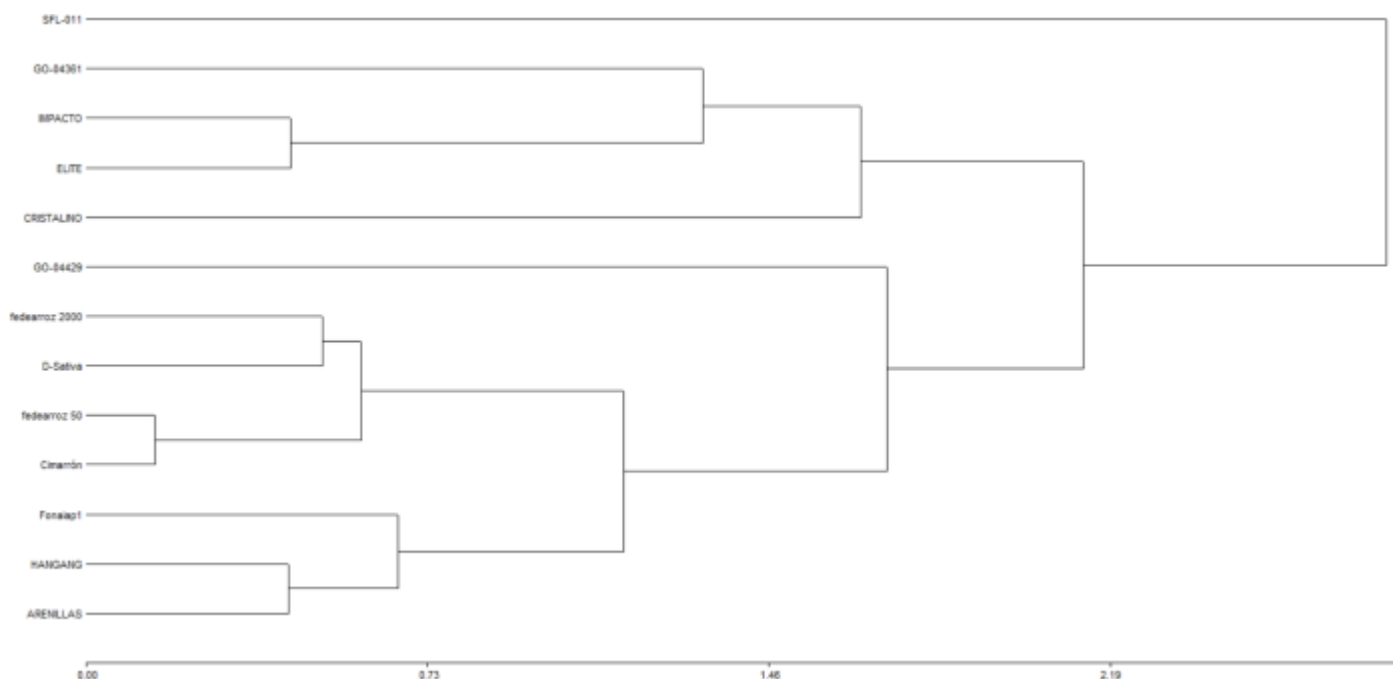


Figura 17. Dendrograma de las variedades evaluadas en el proceso de caracterización molecular (elaboración propia).

De esta manera las variedades que presentan una menor distancia entre sus datos son Cimarrón y Fedearroz 50, y la variedad SFL-011 no presenta semejanza con ninguna otra, estando separada del resto de grupos y sub-grupos que se generan.

Discusión
Capítulo 4

Discusión

Se observó que en el peso de descascarado las variedades Hangang-Chal e Impacto son las que presentan una mayor disminución de su peso inicial, al reducirse un 21.75 % y un 21.25 % respectivamente, y la variedad con una menor pérdida de peso por cáscara es Arenillas con un 19.75 % de su peso. En la cual según Rendón (2022) obtuvo porcentajes similares con el mayor peso perdido por el proceso de descascarado con 19% siendo esta Cristalino y una línea promisoría con 23% de pérdida de su peso inicial.

Por otro lado, el peso de pulido de los granos se puede comparar según los datos de Vélez (2018) en el cual el porcentaje de pérdida que se obtuvo de las muestras con Cimarrón fue de 68.35% y otra variedad evaluada con el menor porcentaje con promedio de 62.25%. Donde se puede percatar que los porcentajes de pulido entran en un rango del 21% al 30%, donde los datos obtenidos entran en este rango siendo estos desde el 29% al 26% del peso inicial de las muestras.

Según Rendón (2022) demostró mediante la evaluación del proceso de calidad molinera que ninguno alcanzó el rendimiento agrícola estimado en ninguna de las muestras evaluadas y la que mayor rendimiento fue la línea promisoría GO-04848. Sin embargo, esta difiere con los datos obtenidos, debido a que el estudio realizado se obtiene la línea promisoría GO-04209 evaluada en el proceso de integración curricular nos da un alto rendimiento final con un peso medio de 71.25 g, entrando en el rendimiento agrícola siguiendo Impacto con 67.50 y GO-04429 con 64.75 y Cristalino con un promedio de 50 g, este es uno de los valores más bajos obtenidos.

En cuanto a la presencia de centro blanco en los granos se aprecia que Hangang Chal es la variedad con mayor porcentaje, esta diferencia es debido a que es una variedad yesosa con un 100 % de sus granos con centro blanco, mientras que solo se ve significancia entre las variedades Arenillas y SFL-011 que poseen medias entre el 20 %; aunque el resto de variedades tienen un porcentaje de

esterilidad menor o igual al 10 % y siendo Impacto la que menor tiene como los datos que obtuvo Rendón (2022)

En la variable del porcentaje de esterilidad como se puede observar que al ser una variedad japónica Hangang-Chal presenta un grano completamente yesoso con una media del 100 % las variedades que es más vistosa es GO-04209 con una media de 5.25 % teniendo mayor cantidad de granos translucidos que son más aceptados en el mercado.

En los procesos de calidad culinaria la variable de la evaporación del agua (medida en minutos) solo se distingue una diferencia significativa entre las variedades Cristalino e Impacto, con un tiempo medio de evaporación de agua mucho menor al resto de variedades. Por otro lado, hay una baja diferencia significativa entre los cultivares en el tiempo de cocción y el tiempo de disgregación entre ellos, siendo estas variables las que menos afectan. Esto difiriendo con los datos de Rendón (2022) que si tuvo valores de significancia en este proceso.

La variedad Hangang-Chal es la que mayor tiempo de evaporación, mientras que el que menor tiempo fue Impacto, con 28 min, aunque para Rendón (2022) la que menor tiempo obtuvo era GO-04209 con 4 min.

En el tiempo de cocción la variedad que menos tardó fue GO-04209 con 11 min según Rendón (2022), a pesar de que esto es opuesto con los datos obtenidos, ya que ésta es una de las que más demora en cocinarse; mientras, Impacto es la que menor tiempo en cocción toma con 13 min.

En el tiempo de disgregación, las variedades que tomaron más de 60 min en disgregarse fueron GO-04429, Hangang-Chal y Cristalino, mientras que las demás medias de las demás variedades se encuentran en un rango menor a 1 min.

En el proceso de análisis molecular de las muestras se obtuvieron tamaños de 96 a 125 pares de base en donde Arnao (2012) indica que los alelos obtenidos en las muestras entre estos pares de base son variedades de contenido de amilosa bajo e intermedio. Entonces como se puede ver en el dendrograma, y con el análisis

del AN- 900, la variedad SFL-011 es la única que no presenta similitud y no se agrupa de ninguna manera con el resto de muestras evaluadas, mientras que Cimarrón y Fedearroz 50 que son dos testigos evaluados son los que presentan una mayor similitud entre su porcentaje de amilosa y le siguen las muestras Arenillas y Hangang-Chal, a pesar de que esta es una variedad japónica y su porcentaje de amilosa es bajo, puede ser que por la época del año en la cual fue cosechada afecta a este porcentaje.

Conclusiones

Se determinó que el proceso de índice de pilado es una de las variables más importantes en el proceso de calidad molinera, donde la variedad GO-04209 la que reduce solo el 29 % del peso inicial entrando en el rango del potencial de rendimiento agrícola estimado, teniendo una alta diferencia significativa en este proceso de calidad. En el largo y ancho de los granos se puede apreciar que la longitud y el ancho del grano son inversamente proporcional en las variedades siendo Hangang-Chal un grano corto en largo, pero el ancho que tiene es el mayor con el resto de variedades, mientras que la variedad Impacto, a pesar de ser el grano más largo entre los materiales evaluados, es el que menos ancho tiene en su promedio.

En el proceso de calidad molinera también es evaluado el porcentaje de centro blanco o esterilidad que también afecta en el proceso de molienda del grano, haciendo que se presenten más granos partidos o no, es por esto que Hangang-Chal es un grano Yesoso y una variedad japónica fue usado para la comparación en la diferencia con los granos de variedades índicas que se busca en el mercado un grano translucido, las variedades Arenillas y SFL-011 son las que más presentan un centro blanco siendo menos atractivas en el mercado comercial, a diferencia de GO-04209 la que menor porcentaje de panza blanca tiene y siendo más llamativa a la hora de su venta.

En el proceso de calidad culinaria no existe una diferencia significativa entre las variables presentando cierta semejanza entre sus datos y poca diferencia entre sus medias, siendo dividida.

En el proceso de caracterización molecular, mediante la aplicación del ADN genómico extraído de plantas de arroz de múltiples variedades, se probó la especificidad y eficiencia de estos cebadores, y también se determinaron los fenotipos correspondientes.

De esta manera se evaluó dos combinación de marcadores moleculares diferentes, se observó que la combinación 484F-485R generaba una amplificación

menor en pares de bases que la combinación 484F-W2R que presenta una mayor cantidad de pares de bases.

Tomando en cuenta esto, se puede evaluar que la primera combinación busca amplificar de forma más específica el gen *waxy*, mientras que la segunda amplifica el gen de una manera más completa, pero ambos cumplen con la función de determinar la diferencia que presentan las variedades con respecto al contenido de amilosa que tienen las diferentes variedades.

Los materiales evaluados en este proceso se pueden observar que la mayoría presenta grano con contenido de amilosa intermedio, por lo que pueden ser favorables para la venta en el mercado del sector litoral, mientras que Impacto que es una variedad que presenta un mayor tamaño de pares de base se infiere que es una variedad que al tener un grano largo y con una mayor translucidez que las demás variedades.

De esta manera se pudo comprobar que los marcadores moleculares cumplen con la función de determinar el contenido de amilosa en los granos de arroz para asistir a la selección de las variedades para vender comercialmente, pero estas necesitan ser refinados para que los valores que son obtenidos sean más precisos y más exactos con las diferentes muestras obtenidas.

Recomendaciones

Se recomienda la evaluación de una mayor cantidad de variedades en el proceso de calidad culinaria, así como en el proceso de caracterización molecular para poder comprobar la efectividad que tienen los marcadores moleculares en la determinación del contenido de amilosa que están presentes en el arroz.

Hay que tomar en cuenta que las variables que son tomadas en los procesos de calidad culinaria y molinera son afectadas por el ambiente, es por eso que lo más factible es el desarrollo de las actividades de manera controlado para poder la correlación que existe entre el contenido de amilosa obtenido en el proceso de calidad culinaria con el proceso de caracterización molecular. Aunque otra forma de evaluar es realizando la recolección de las muestras en época de invierno y verano, para evaluar las diferencias que se pueden encontrar.

Se tomó en cuenta que las variables de caracterización molecular pueden ser evaluadas mediante la extracción de una mayor cantidad de ADN para la obtención de una mayor concentración de ADN, de esta manera se podrá realizar las pruebas en la cual las bandas pueden ser visibles de manera clara.

Para el proceso de análisis molecular se deben utilizar pipetas correctamente calibrados y una extracción de ADN con mayor calidad para la correcta visualización de las bandas en la cámara translaminar.

Referencias bibliográficas

- Al-Samarai, F. R., & Al-Kazaz, A. A. (2015). Molecular Markers: an Introduction and Applications. *European Journal of Molecular Biotechnology*, 9(3), 118-130.
<https://doi.org/10.13187/ejmb.2015.9.118>
- Amaya Pinos, J. B. (2019). Estudio de la dosificación del almidón extraído del banano en un polímero de tipo termoplástico. *Revista Colombiana de Química*, 48(1), 43-51. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.quim.v48n1.74469>
- Anandan, A., & Siddharth, P. (2022). Advances in rice breeding: stress tolerance, climate resilience, Quality & high yield. *National Rice Research Institute*.
- Arnao, E., Labrín, N., Ávila, M., Sanz, S., Jayaro, Y., Graterol, E., & Galindo Castro, I. (2012). Validacion de un marcador microsatelite asociado al gen waxy para la evaluacion del contenido de amilosa en accesiones de un banco de germoplasma Venezolano. *Interciencia*, 37(9), 684-688.
- Augusto, C., & Molina, V. (1994). Evaluacion de la calidad del arroz. *Corpoica*, 1(2), 35-48.
- Ávila, M., Uribe, J., Jayaro, Y., Alezones, J., Romero, M., Alejos, Y., Clisanchez, N., & López, W. (2014). Comparación de variables físicas, culinarias y amilográficas del cultivar de arroz (*Oryza sativa* L.) MD248 con dos cultivares comerciales de arroz en Venezuela. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos.*, 5(2), 70-88.
- Ayres, N. M., Mcclung, A. M., Larkin, P. D., Bligh, H. F. J., Jones, C. A., Park, W. D., & Mcclung, A. M. (1997). Microsatellites and a single-nucleotide polymorphism differentiate apparent amylose classes in an extended pedigree of US rice germ plasm. En *Theor Appl Genet* (Vol. 94). Springer-Verlag.
- Bao, J. S., Corke, H., & Sun, M. (2006). Nucleotide diversity in starch synthase IIa and validation of single nucleotide polymorphisms in relation to starch gelatinization temperature and other physicochemical properties in rice (*Oryza sativa* L.).

Theoretical and Applied Genetics, 113(7), 1171-1183.

<https://doi.org/10.1007/s00122-006-0355-6>

Beckles, D., & Thitisaksakil, M. (2010). Use of Biotechnology to Engineer Starch in Cereals. En *Encyclopedia of Biotechnology in Agriculture and Food* (pp. 1-8). CRC Press. <https://doi.org/10.1081/E-EBAF-120051354>

Bergman, C. J., Delgado, J. T., McClung, A. M., & Fjellstrom, R. G. (2001). *An Improved Method for Using a Microsatellite in the Rice Waxy Gene to Determine Amylose Class* (Vol. 78, Número 3).

Borges, A., Rosa, M. S., Recchia, G. H., Jurema, ;, De Queiroz-Silva, R., De Andrade Bressan, E., Elizabeth, ;, & Veasey, A. (2009). CTAB methods for DNA extraction of sweetpotato microsatellite analysis. *Sci. Agric*, 66(4), 529-534.

Bretó, M. P., Cebolla, R., García de Yzaguirre, Á., & Carreres, R. (2012). *Selección asistida por marcadores de variedades de arroz con alto valor culinario*. <http://www.gra->

Carolina, V., Ortiz, C., Cristina, C., & Barcia, G. (2012a). *Análisis de Propiedades Térmicas durante Gelatinización en tres variedades de arroz INIAP aplicando el Calorímetro Diferencial de*.

Carolina, V., Ortiz, C., Cristina, C., & Barcia, G. (2012b). *Análisis de Propiedades Térmicas durante Gelatinización en tres variedades de arroz INIAP aplicando el Calorímetro Diferencial de*.

Cheng, A., Ismail, I., Osman, M., & Hashim, H. (2012). Simple and rapid molecular techniques for identification of amylose levels in rice varieties. *International Journal of Molecular Sciences*, 13(5), 6156-6166. <https://doi.org/10.3390/ijms13056156>

Cordero, K., & Saavedra, F. (2011). Manual de procedimientos para la medición de la calidad industrial del arroz en Chile. En *Invest* (Vol. 230).

- Cruz, M., Arbelaez, J. D., Loaiza, K., Cuasquer, J., Rosas, J., & Graterol, E. (2021). Genetic and phenotypic characterization of rice grain quality traits to define research strategies for improving rice milling, appearance, and cooking qualities in Latin America and the Caribbean. *Plant Genome*, 14(3).
<https://doi.org/10.1002/tpg2.20134>
- FAOSTAT. (2021). [o.org/faostat/en/#data](https://www.fao.org/faostat/en/#data).
- Fitzgerald, M. A., Bergman, C. J., Resurreccion, A. P., Möller, J., Jimenez, R., Reinke, R. F., Martin, M., Blanco, P., Molina, F., Chen, M. H., Kuri, V., Romero, M. V., Habibi, F., Umemoto, T., Jongdee, S., Graterol, E., Reddy, K. R., Bassinello, P. Z., Sivakami, R., ... Mestres, C. (2009). Addressing the dilemmas of measuring amylose in rice. *Cereal Chemistry*, 86(5), 492-498.
<https://doi.org/10.1094/CCHEM-86-5-0492>
- Fitzgerald, M. A., McCouch, S. R., & Hall, R. D. (2009). Not just a grain of rice: the quest for quality. *Trends in Plant Science*, 14(3), 133-139.
<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2008.12.004>
- Fujino, K., Hirayama, Y., & Kaji, R. (2019). Marker-assisted selection in rice breeding programs in Hokkaido. En *Breeding Science* (Vol. 69, Número 3, pp. 383-392). Japanese Society of Breeding. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.19062>
- Jima, K., & Morán, G. (2017). *Estudio de la comercialización del arroz en las provincias de Guayas y Los Ríos*.
- Kim, M. S., Yang, J. Y., Yu, J. K., Lee, Y., Park, Y. J., Kang, K. K., & Cho, Y. G. (2021). Breeding of high cooking and eating quality in rice by marker-assisted backcrossing (Mabc) using kasp markers. *Plants*, 10(4).
<https://doi.org/10.3390/plants10040804>
- Kumar Verma, D., Prakash Srivastav, P., & Nadaf, A. B. (2018). *Agronomic Rice Practices and Postharvest Processing: Production and Quality Improvement* (CRC Press, Ed.).

- Landires Gaspar, D. G., & Márquez Borbor, G. C. (2013). *Análisis del Contenido Amilosa - Amilopectina en seis Variedades de Arroz Ecuatoriano*.
- León, J. L., & Carreres, amón. (2002). *Calidad del arroz: criterios para una adecuada valoración*.
- Liu, Y., Zhang, A., Wang, F., Wang, J., Bi, J., Kong, D., Zhang, F., Luo, L., Liu, G., & Yu, X. (2019). Development and validation of a pcr-based functional marker system for identifying the low amylose content-associated gene wxhp in rice. En *Breeding Science* (Vol. 69, Número 4, pp. 702-706). Japanese Society of Breeding. <https://doi.org/10.1270/jsbbs.19043>
- Loaiza, J. K., & Larrahondo, J. E. (2017). Evaluación del contenido de amilosa en arroz mediante espectroscopia de infrarrojo cercano-NIRS. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 67(1), 56-61.
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222017000100008&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Lu, Z., Fang, Z., Liu, W., Lu, D., Wang, X., Wang, S., Xue, J., & He, X. (2023). Grain quality characteristics analysis and application on breeding of Yuenongsimiao, a high-yielding and disease-resistant rice variety. *Scientific Reports*, 13(1).
<https://doi.org/10.1038/s41598-022-21030-9>
- Marco, A. B., Álvarez, ;, Rosa, P., Torres, ;, Orlando, A., Margelys, S., Iris, P. A., Edicta, R. R., Orlando, M., & Arroz, E. (s. f.). *NUEVO PRODUCTO DEL CONVENIO INIA-FUNDARROZ: «SOBERANA FL» VARIEDAD DE ARROZ CON RIEGO*.
- Martínez, C., Cuevas, F., & Medina, L. M. (1989). *Evaluación de la calidad culinaria y molinera del arroz*.
- Medina Piza, J. A. (2022). *Calidad molinera de las principales variedades de arroz (Oryza sativa L.) que se comercializan en nuestro país*.

- Moldenhauer, A. K., & Gibbons, J. H. (2003). *Rice morphology and development* (C. Wayne Smith & R. H. Dilday, Eds.). John Wiley & Sons, Inc.
- Monar Coello, Á. S. (2022). *Descripción de la calidad molinera del cultivo de arroz (Oryza sativa L. ssp. japonico)*.
- Muthayya, S., Sugimoto, J. D., Montgomery, S., & Maberly, G. F. (2014). An overview of global rice production, supply, trade, and consumption. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1324(1), 7-14. <https://doi.org/10.1111/nyas.12540>
- Pérez Almeida, I. B., & Angulo Gratero, L. R. (2020). Marcadores moleculares como apoyo al fitomejoramiento. *TAYACAJA*, 4(2), 83-89. <https://doi.org/10.46908/tayacaja.v4i2.175>
- Pérez Almeida, I. B., Celi Herán, R., Sánchez Mora, F., Paz Carrasco, L., & Ramos Viteri, B. (2019). ASSESSMENT OF MOLECULAR GENETIC DIVERSITY OF ECUADORIAN RICE CULTIVARS USING SIMPLE SEQUENCE REPEAT MARKERS. *Bioagro*, 31(1), 3-12.
- Pérez Almeida, I., & Montoya Aramburu, M. A. (2009). Calidad del grano y variabilidad genética de variedades y líneas de arroz del Instituto nacional de investigaciones agrícolas (INIA). *Agronomía Tropical*, 59(4).
- Rendón, C. (2022). *Evaluación de la calidad molinera y culinaria de 40 cultivares de arroz (Oryza sativa L.) en la estación experimental litoral sur*.
- Sánchez, A. M., Vayas, T., Mayorga, F., & Freire, C. (2019). *EL ARROZ EN ECUADOR*.
- Shao, Y., Peng, Y., Mao, B., Lv, Q., Yuan, D., Liu, X., & Zhao, B. (2020). Allelic variations of the Wx locus in cultivated rice and their use in the development of hybrid rice in China. *PLoS ONE*, 15(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232279>

- Sreenivasulu, N., Zhang, C., Tiozon, R. N., & Liu, Q. (2022). Post-genomics revolution in the design of premium quality rice in a high-yielding background to meet consumer demands in the 21st century. En *Plant Communications* (Vol. 3, Número 3). Cell Press. <https://doi.org/10.1016/j.xplc.2021.100271>
- Sultana, S., Faruque, M., & Islam, M. R. (2022). Rice grain quality parameters and determination tools: a review on the current developments and future prospects. En *International Journal of Food Properties* (Vol. 25, Número 1, pp. 1063-1078). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2071295>
- Vélez Chávez, J. P. (2018). Análisis de la calidad molinera en 14 genotipos de arroz (*Oryza sativa* L. ssp. *indica*) cultivadas en el área del proyecto CEDEGE, cantón Babahoyo, provincia de Los Ríos.
- Wu, Y. P., Chang, Y. C., Kuo, H. I., Lin, B. N., Wang, S. M., & Tseng, Y. C. (2022). The Development of Two High-Yield and High-Quality Functional Rice Cultivars Using Marker-Assisted Selection and Conventional Breeding Methods. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(9). <https://doi.org/10.3390/ijms23094678>
- Xia, D., Wang, Y., Shi, Q., Wu, B., Yu, X., Zhang, C., Li, Y., Fu, P., Li, M., Zhang, Q., Liu, Q., Gao, G., Zhou, H., & He, Y. (2022). Effects of Wx Genotype, Nitrogen Fertilization, and Temperature on Rice Grain Quality. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.901541>
- Zambrano, J. M., Francisco Chavarro, C. C., & González Franco, J. A. (1980). *Efecto de la época de aplicación del fosforo y el potasio en el rendimiento, calidad molinera y culinaria del arroz (Oriza sativa L.)*.
- Zhang, Y., Zhao, J., Hu, Y., Zhang, Y., Ying, Y., Xu, F., & Bao, J. (2022). Combined Effects of Different Alleles of FLO2, Wx and SSIIa on the Cooking and Eating Quality of Rice. *Plants*, 11(17). <https://doi.org/10.3390/plants11172249>

Anexos



Figura 18. Extracción de ADN en tubos eppendorf (elaboración propia).

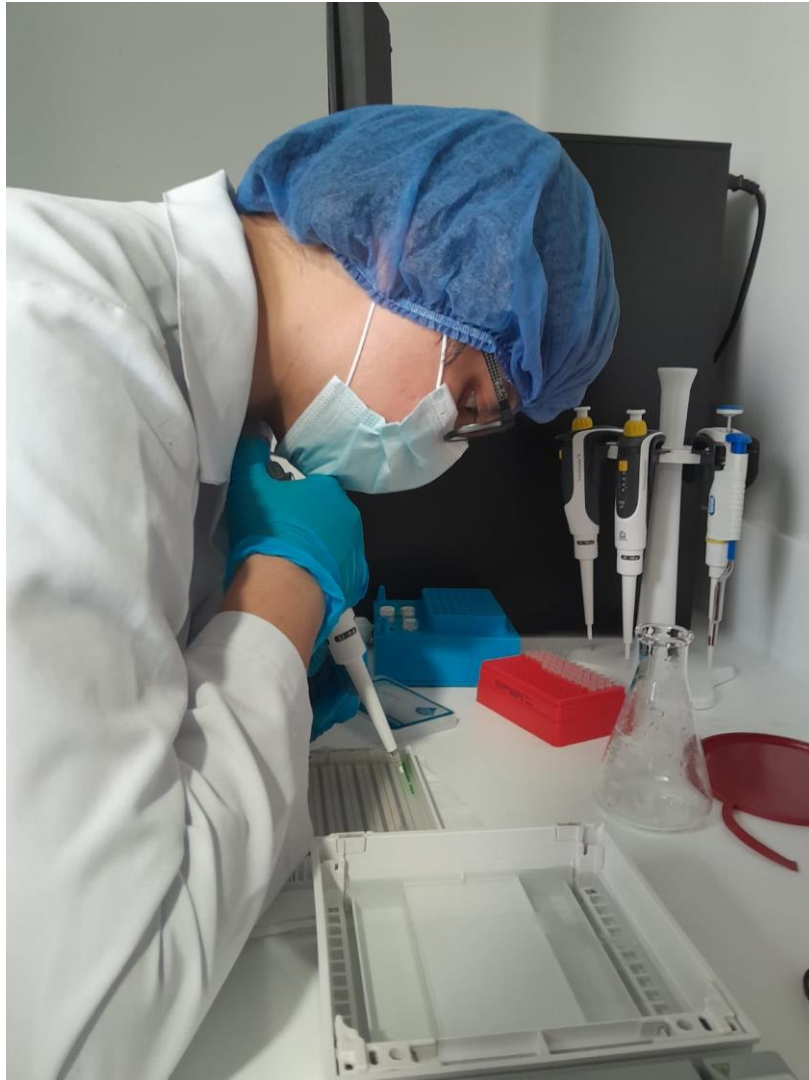


Figura 19. Colocación de las muestras de PCR en los pocillos del gel de electroforesis (elaboración propia).



Figura 20. Medición del ancho y largo de los granos pulidos (elaboración propia).



Figura 21. Proceso de obtención de calidad (elaboración propia).