

UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

REPÚBLICA DEL ECUADOR

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

INFORME DE INVESTIGACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA

TEMA:

DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES REOLÓGICAS (CONTENIDO APARENTE DE AMILOSA, DISPERSIÓN ALCALINA Y PERFIL DE VISCOSIDAD) EN ALMIDÓN DE TRES LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ DENTRO DE UN PROGRAMA DE MEJORAMIENTO GENÉTICO PRIVADO DE ECUADOR COMO INDICADORES DE CALIDAD

Autor:

EDGAR ISRAEL JARA VELASTEGUI

Director:

M.SC. MARÍA JOSÉ ANDRADE ALBÁN

Milagro, 2024

Derechos de Autor

Sr. Dr.

Fabricio Guevara Viejó

Rector de la Universidad Estatal de Milagro

Presente.

Yo, **Edgar Israel Jara Velastegui**, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales de este informe de investigación, mediante el presente documento, libre y voluntariamente cedo los derechos de Autor de este proyecto de desarrollo, que fue realizada como requisito previo para la obtención de mi Grado, de **Magíster en Biotecnología**, como aporte a la Línea de Investigación **Innovación Tecnológica en Procesos de Producción Agropecuaria** de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedo a favor de la Universidad Estatal de Milagro una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Estatal de Milagro para que realice la digitalización y publicación de este Proyecto de Investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Milagro, **31 de octubre del 2024**

Edgar Israel Jara Velastegui

C.I.: 0202048245

Aprobación del Tutor del Trabajo de Titulación

Yo, **María José Andrade Albán**, en mi calidad de tutor del trabajo de titulación, elaborado por **Edgar Israel Jara Velastegui** cuyo tema es **Determinación de propiedades reológicas (contenido aparente de amilosa, dispersión alcalina y perfil de viscosidad) en almidón de 3 líneas promisorias de arroz dentro de un programa de mejoramiento genético privado de Ecuador como indicadores de calidad**, que aporta a la Línea de Investigación **Innovación Tecnológica en Procesos de Producción Agropecuaria**, previo a la obtención del Grado **Magíster en Biotecnología**. Trabajo de titulación que consiste en una propuesta innovadora que contiene, como mínimo, una investigación exploratoria y diagnóstica, base conceptual, conclusiones y fuentes de consulta, considero que el mismo reúne los requisitos y méritos necesarios para ser sometido a la evaluación por parte del tribunal calificador que se designe, por lo que lo **APRUEBO**, a fin de que el trabajo sea habilitado para continuar con el proceso de titulación de la alternativa de Informe de Investigación de la Universidad Estatal de Milagro.

Milagro, 31 de octubre del 2024

María José Andrade Albán
C.I.: 0603559188

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO
FACULTAD DE POSGRADO
CERTIFICACIÓN DE LA DEFENSA

El TRIBUNAL CALIFICADOR previo a la obtención del título de **MAGÍSTER EN BIOTECNOLOGÍA**, presentado por **ING. JARA VELASTEGUI EDGAR ISRAEL**, otorga al presente proyecto de investigación denominado "DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES REOLÓGICAS (CONTENIDO APARENTE DE AMILOSA, DISPERSIÓN ALCALINA Y PERFIL DE VISCOSIDAD) EN ALMIDÓN DE TRES LÍNEAS PROMISORIAS DE ARROZ DENTRO DE UN PROGRAMA DE MEJORAMIENTO GENÉTICO PRIVADO DE ECUADOR COMO INDICADORES DE CALIDAD.", las siguientes calificaciones:

TRABAJO ESCRITO	60.00
SUSTENTACIÓN	40.00
PROMEDIO	100.00
EQUIVALENTE	Excelente



Firmado digitalmente por:
**JOSE FRANCISCO
FALCONI NOVILLO**

**Mgtr. FALCONI NOVILLO JOSE FRANCISCO
PRESIDENTE/A DEL TRIBUNAL**



Firmado digitalmente por:
**JUAN DIEGO
VALENZUELA COBOS**

**Ph.D. VALENZUELA COBOS JUAN DIEGO
VOCAL**



Firmado digitalmente por:
**DELIA DOLORES
NORIEGA VERDUGO**

**Dra. NORIEGA VERDUGO DELIA DOLORES
SECRETARIO/A DEL TRIBUNAL**

Dedicatoria

Quiero dedicar este trabajo a Dios por darme la vida y permitirme estudiar para continuar con mi formación académica.

También quiero dedicar este trabajo a mi esposa Gianella, pilar fundamental que siempre confía en mí, que ha estado siempre a mi lado para apoyarme y darme fuerzas para seguir. De igual manera quiero dedicarle también a nuestros hijos: María Gracia, María Isabel, Edgar José y Juan Pablo que son el reflejo más puro del amor incondicional, así como también mi inspiración para seguir adelante.

Finalmente quiero dedicar este trabajo a mis padres: Edgar, Marlene y a mi hermano Carlos que siempre están conmigo apoyándome en todos los proyectos que he decido emprender.

Agradecimientos

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a Dios primeramente porque sin Él nada sería posible.

También quiero agradecer a Joanna Dossmann por su amistad y su confianza en mis capacidades personales y profesionales para poder continuar con mi formación académica. De la misma manera quiero agradecer a Interoc S.A. ya que me ha permitido tener acceso a su base de datos, laboratorios y de igual manera han financiado mi carrera de posgrado. Así mismo quiero agradecer a todo el equipo humano del área de Semillas como compañeros de trabajo que me han ayudado también para poder alcanzar el objetivo.

Quiero expresar también mi agradecimiento al laboratorio de calidad del Fondo Latinoamericano de Arroz de Riego, especialmente a Katerine Loaiza, Erika Giraldo y todo el equipo del laboratorio por consejos y ayuda en procesamiento de muestras a analizar.

Finalmente quiero agradecer a UNEMI por abrir el programa de Maestría y que sea accesible para profesionales que deseamos seguir aprendiendo para colaborar con la investigación y de igual manera quiero agradecer a mi tutora Ms.C. María José ya que su ayuda paciente ha sido de vital ayuda para completar el proceso de titulación.

Resumen

La calidad culinaria del arroz se define por las preferencias culturales. Para Ecuador y América Latina se ha definido un arroz de buena calidad como aquel que sea suelto y consistente en la cocción. Por tal motivo el objetivo de esta investigación es determinar las propiedades reológicas (contenido aparente de amilosa, grado de dispersión alcalino y perfil de viscosidad) de tres líneas avanzadas de un programa de mejoramiento genético, para correlacionar con la calidad culinaria de los mismos contrastando con un testigo comercial de buena calidad para el mercado ecuatoriano; y de esta manera poder seleccionar materiales como candidatos a variedades comerciales. La metodología consistió en contrastar un testigo de buena calidad con las 3 líneas promisorias de arroz. Determinándose que para la variable contenido aparente de amilosa: los materiales IH-1002 e IH-1003 presentan un porcentaje similar estadísticamente al testigo comercial. Para el grado de dispersión se determinó un rango entre 6 y 7 y estadísticamente no existe diferencia significativa entre los tratamientos. Para el perfil de viscosidad evaluado por los componentes de Breakdown y Setback se determinó que existe diferencia significativa entre los tratamientos siendo el testigo el mejor tratamiento. Para la variable soltura se determinó que el mejor tratamiento fue el testigo completamente suelto, sin embargo hay otros materiales como IH-1002 que apenas presenta entre 1 a 2 agregados y para la variable textura el mejor tratamiento es IH-1002 al ser consistente pero no duro como lo es el testigo comercial. Finalmente se encontró significancia en la correlación de los componentes reológicos: contenido aparente de amilosa y perfil de viscosidad con la calidad culinaria.

Palabras clave: Arroz, amilosa, dispersión alcalina, perfil de viscosidad, calidad culinaria.

Abstract

The culinary quality of rice is defined by cultural preferences. For Ecuador and Latin America, the good quality has been defined as one that is loose and consistent when cooked. For this reason, the objective of this research is to determine the rheological properties (apparent amylose content, degree of alkaline dispersion and viscosity profile) of three advanced lines of a genetic program, to correlate with their culinary quality, contrasting with a good quality commercial witness for the Ecuadorian market; and in this way to be able to select materials for commercial varieties. The methodology consisted of contrasting a good quality control with the three advanced rice lines. It was determined that for the variable apparent amylose content: the materials IH-1002 and IH-1003 has a statistically similar percentage to the commercial control. For the alkaline dispersion, a range between 6 and 7 was determined and statistically there is no significant difference between the treatments. For the viscosity profile evaluated by the Breakdown and Setback components, it was determined that there is a significant difference between the treatments, with the control being the best treatment. For the looseness variable, it was determined that the best treatment was the completely loose control, however there are other materials such as IH-1002 that barely present between 1 to 2 aggregates and for the texture variable the best treatment is IH-1002 as it is consistent but not tough as the commercial witness is. Finally, significance was found in the correlation of the rheological components: apparent amylose content and viscosity profile with culinary quality.

Keywords: Rice, amylose, alkaline dispersion, viscosity profile, culinary quality

Lista de Figuras

Figura 1. Ejemplo de perfil de viscosidad obtenido en Rapid Visco Analyzer.....	22
---	----

Lista de Tablas

Tabla 1. <i>Análisis de varianza para dispersión alcalina</i>	31
Tabla 2. <i>Análisis de varianza contenido aparente de amilosa</i>	32
Tabla 3. <i>Prueba Tukey para diferencia de medias Contenido aparente de amilosa</i>	33
Tabla 4. <i>Análisis de varianza Breakdown</i>	33
Tabla 5. <i>Prueba Tukey Breakdown</i>	34
Tabla 6. <i>Análisis de varianza Setback</i>	34
Tabla 7. <i>Prueba Tukey Setback</i>	35
Tabla 8. <i>Análisis de varianza Soltura</i>	35
Tabla 9. <i>Prueba Tukey Soltura</i>	36
Tabla 10. <i>Análisis de varianza Textura</i>	37
Tabla 11. <i>Prueba Tukey Textura</i>	37
Tabla 12. <i>Correlaciones en parejas de Pearson</i>	39

Índice / Sumario

Derechos de Autor	iii
Aprobación del Tutor del Trabajo de Titulación	iii
Certificación de Defensa.....	ivv
Dedicatoria	v
Agradecimientos.....	vii
Resumen	viii
Abstract.....	viii
i	
Introducción.....	1
CAPÍTULO I: El Problema de la Investigación	4
1.1. Planteamiento del problema	4
1.2. Delimitación del problema	6
1.3. Formulación del problema	7
1.4. Preguntas de investigación	7
1.5. Objetivos	7
1.5.1 Objetivo general	7
1.5.2 Objetivos específicos	7
1.6. Hipótesis	8
1.7. Justificación	8
1.8. Declaración de las variables (Operacionalización)	10
CAPÍTULO II: Marco Teórico Referencial	12
2.1. Antecedentes Referenciales	12
2.2. Marco Conceptual	14
2.2.1. Origen del arroz	14
2.2.2. Grano de Arroz	15
2.2.3. Almidón	16
2.2.4. Biosíntesis del almidón	17
2.2.5. Biosíntesis de amilosa	18
2.2.6. Contenido aparente de amilosa	19
2.2.7. Dispersión alcalina	19

2.2.8. Perfil de Viscosidad	20
2.2.9. Breakdown.....	22
2.2.10. Setback	22
2.2.11. Calidad Culinaria.....	23
2.2.12. Textura	24
2.2.13. Soltura.....	24
2.3. Marco Teórico	24
CAPÍTULO III: Diseño Metodológico	27
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	27
3.2. La población y la muestra.....	27
3.3. Los métodos y las técnicas.....	28
3.3.1. Determinación del contenido aparente de amilosa.....	28
3.3.2. Dispersión Alcalina	28
3.3.3. Perfil de Viscosidad	29
3.3.4. Prueba de Cocción	30
3.4. Procesamiento estadístico de la información	30
CAPÍTULO IV: Análisis e Interpretación de Resultados	31
4.1. Análisis e Interpretación de Resultados	31
4.1.1. Dispersión Alcalina	31
4.1.2. Contenido aparente de amilosa.....	32
4.1.3. Breakdown.....	33
4.1.4. Setback.....	34
4.1.5. Soltura	35
4.1.6. Textura.....	366
4.1.7. Correlación	38
CAPÍTULO V: Conclusiones, Discusión y Recomendaciones.....	40
5.1. Discusión.....	40
5.2. Conclusiones.....	44

5.3. Recomendaciones	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	47
ANEXOS.....	57

Introducción

Según (FAO, 2023) la producción mundial de cereales en el año 2023 fue de 2,813 millones de toneladas, de los cuales el 18.61% corresponde al arroz. Así mismo el consumo per cápita en el año 2023 fue de 52.8 kg. En el Ecuador durante el año 2023 se cosecharon 343,050 hectáreas, con una producción de 1.6 millones de toneladas métricas. De las cuales, el 63.7 % se produce en la provincia del Guayas (INEC, 2024). Debido al incremento poblacional mundial, la demanda de arroz se incrementará a tal punto que es un gran desafío para los fitomejoradores generar variedades con alto potencial de rendimiento, buena calidad de grano y reduciendo impactos ambientales para la producción de los mismos (Stein et al., 2018). Ecuador supe su demanda de consumo local y el excedente de producción exporta a otros mercados, por lo cual el requerimiento de la industria en cuanto a calidad se vuelve cada vez más exigente para aceptar una variedad que pueda ser comercializada sin problema.

La calidad en el arroz enmarca varios parámetros como: molinería, cocción, apariencia y componentes nutricionales (Pérez & Montoya, 2009) y (Alam et al., 2024). Por lo cual los programas de mejoramiento genético buscan satisfacer la demanda del mercado industrial y no únicamente la demanda del agricultor. De igual manera otros autores como (Shafie et al., 2016) definen la calidad el grano de arroz como calidad culinaria a la textura del arroz al ser cocinado.

Esta investigación además de indicar los componentes que intervienen para la calidad culinaria desde su biosíntesis, busca determinar los componentes reológicos del almidón de arroz (contenido aparente de amilosa, grado de dispersión alcalina y perfil de viscosidad) en tres líneas promisorias de arroz dentro de un programa de

mejoramiento genético privado de Ecuador como indicadores de calidad, comparadas con un testigo local de buena calidad. Con el propósito de correlacionar sus variables y determinar si las líneas promisorias podrían ser candidatos a liberar como variedades comerciales al compararlas con el testigo comercial.

Cabe destacar que los programas de mejoramiento genético siempre buscan liberar materiales que cumplan con los estándares requeridos; uno de los principales componentes para que los materiales puedan ser aceptados comercialmente es que la industria compruebe la calidad de los mismos (Kim et al., 2021) y (Bassinello et al., 2020). Para el continente americano la sub especie de arroz tipo Índica según (Paredes C, et al., 2021) predomina, este fenómeno se debe a las preferencias de consumo de un arroz suelto y consistente en la cocción. Por lo cual se puede determinar que la calidad culinaria para Ecuador se define por un arroz suelto y consistente en la cocción. De esta manera el agricultor puede utilizar nuevos materiales que cumplen con requerimientos de tolerancia a plagas, enfermedades, con alta producción en campo y buena calidad culinaria. También se busca que la industria apruebe su calidad de cocción para poder asegurar la compra del arroz y evitar de esta manera seguir comprando variedades de arroz que no están adaptadas para nuestras condiciones y que normalmente se encuentran en los campos de producción de manera ilegal.

Tomando en cuenta que determinar los tres componentes reológicos no es una práctica habitual en los programas de mejoramiento genético del Ecuador. La caracterización del comportamiento fenotípico de estos componentes reológicos (especialmente el perfil de viscosidad) en las tres líneas promisorias de arroz servirá para disminuir el error para seleccionar o descartar futuros materiales. Siendo este

estudio un punto de partida en el programa de mejoramiento genético para posteriores evaluaciones de materiales; ya que al correlacionar estos parámetros con la calidad culinaria será más fácil comprender el comportamiento en cocción de los materiales y de esta manera optimizar recursos ya que la investigación para desarrollo de nuevas variedades es un proceso que demanda una gran cantidad de tiempo y recursos. De esta manera se buscará dejar de depender de pruebas de cocción con el consumidor final en etapas tempranas, debido a que la forma de cocción de cada consumidor y su apreciación de calidad son diferentes; por lo que la estandarización vuelve a este estudio una herramienta potente para toma de decisiones de manera objetiva.

CAPÍTULO I: El Problema de la Investigación

1.1. Planteamiento del problema

La calidad del grano de arroz engloba muchos parámetros, uno de ellos es la calidad culinaria que está determinada por la mezcla de polisacáridos de almidones: amilosa y amilopectina (Biselli et al., 2014). El mercado ecuatoriano prefiere el arroz con un alto contenido de amilosa; es decir mayor del 25%. Según (Kharabian-Masouleh et al., 2012) existen 7 clases de genes/enzimas que intervienen en la producción de almidón: ADP-glucose pyrophosphorylase (AGPase), granule bound starch synthase (GBSS), starch synthase (SS), branching enzyme (BE), debranching enzyme (DBE), starch phosphorylase (PHO) y glucosa-6-phosphate translocator (GPT); de los cuales el GBSSI también denominado como gen Waxy y SSIIa son 2 de los genes principales para determinar la calidad culinaria del grano. El GBSSI controla el contenido aparente de amilosa, la consistencia del gel y la viscosidad en el endospermo del grano de arroz; factores cruciales para determinar la calidad culinaria de cualquier material (Shar et al., 2020). Mientras que SSIIa se encarga de controlar la dispersión alcalina del almidón, que está relacionado con la amilopectina, la cual se expresa en el endospermo de los granos (Zhang et al., 2020).

Los programas de mejoramiento genético buscan obtener materiales con buena calidad culinaria y tradicionalmente se asocia con materiales de alto contenido aparente de amilosa, el cual se determina por medio de métodos colorimétricos y espectrofotométricos (Arnao et al., 2012). Sabemos que la calidad culinaria del arroz no se determina únicamente por el contenido aparente de amilosa ya que pueden existir materiales con similares contenidos de amilosa pero con diferente consistencia de gel y temperatura de gelatinización ya que el contenido aparente de amilosa

determina de cierta manera solo la firmeza y pegajosidad del grano al cocinarlo (Zhang et al., 2021) ; es por eso que (Shafie et al., 2016) y (Mao et al., 2021) menciona la necesidad de evaluar los perfiles de viscosidad por medio de un Rapid Visco Analyzer (RVA) que es un viscosímetro de calentamiento y enfriamiento; este viscosímetro permite obtener un perfil de viscosidad, el cual detalla información de las propiedades de la harina como: gelatinización, hidratación e hinchamiento granular, extrusión de los componentes moleculares y la ruptura de los gránulos de almidón.

Por el momento los programas de mejoramiento genético del país seleccionan materiales por el contenido aparente de amilosa, dispersión alcalina y pruebas de cocción. El uso del viscosímetro se encuentra limitado por el poco conocimiento de este parámetro y su costo elevado de implementación. Por lo tanto, con esta investigación lo que se busca es determinar las propiedades reológicas del almidón (contenido aparente de amilosa, dispersión alcalina y perfil de viscosidad) de tres líneas promisorias de arroz con un testigo comercial y correlacionar estos parámetros. Con esta correlación se desea definir criterios para tomar decisiones de selección o descarte de materiales dentro del programa de mejoramiento genético privado. Al tener toda esta información el programa será más competitivo ya que no tendrá que depender de proveedores externos para la determinación de estos parámetros. De tal forma se asegura la selección por calidad culinaria para que los materiales sean aceptados por la industria y a su vez por los agricultores. Cabe destacar que al correlacionar estos parámetros no sería necesario realizar pruebas de cocción en etapas tempranas, en las que normalmente no se cuenta con la cantidad requerida del material para este tipo de pruebas. Al tener estos parámetros definidos se tiene mayor información de los materiales y la prueba de cocción se puede realizar ya en

una etapa final previo a lanzamiento comercial ya que se dispone de mayor cantidad de muestra a procesar y menor cantidad de materiales a evaluar.

1.2. Delimitación del problema

En este estudio se determina tres propiedades reológicas del almidón como son: contenido aparente de amilosa por medio de NIRs (Near Infrared Spectroscopy), la dispersión alcalina por medio de prueba química y el perfil de viscosidad (Breakdown y Setback) con un Rapid Visco Analyzer (RVA) en tres líneas promisorias de arroz de un programa de mejoramiento genético privado de Ecuador comparado con un testigo comercial y correlacionar estas variables con la calidad culinaria (Soltura y Textura) por medio de una prueba sensorial. Para determinar estos parámetros, como indicadores de calidad culinaria, se tomó de la Estación Experimental del Programa de Mejoramiento Genético ubicado en la provincia del Guayas, cantón Palestina en el primer semestre del año 2024 los tres materiales de interés y un testigo comercial, los cuales fueron cosechados en etapa R9; es decir, una vez se encuentren bien conformados los almidones en el endospermo del grano. Para determinar la dispersión alcalina se utilizaron granos pulidos enteros y para los otros dos parámetros se produjo harina para realizar las determinaciones de contenido aparente de amilosa y perfil de viscosidad. La determinación de los parámetros se realizó en el laboratorio del Fondo Latinoamericano de Arroz de Riego (FLAR) que cuenta con todos los equipos necesarios en Colombia. Una vez obtenidos estos componentes reológicos se procedió a realizar una prueba de cocción determinando la textura y soltura. Finalmente correlacionar los valores y determinar qué materiales cumplen con los estándares similares o superiores al testigo comercial que en este caso es SFL-11 (un material con buena calidad culinaria).

1.3. Formulación del problema

¿De qué manera se puede seleccionar materiales dentro de un programa de mejoramiento genético al caracterizar las propiedades reológicas: contenido aparente de amilosa, dispersión alcalina y perfil de viscosidad; correlacionando los mismos con la calidad culinaria?

1.4. Preguntas de investigación

¿El contenido aparente de amilosa incide en la calidad culinaria del arroz?

¿De qué manera la dispersión alcalina incide en la calidad culinaria del arroz?

¿El perfil de viscosidad de qué manera contribuye a la empresa para determinar la calidad culinaria del arroz?

¿La correlación del contenido aparente de amilosa, dispersión alcalina y el perfil de viscosidad en el almidón de arroz, cómo identifica patrones de calidad culinaria?

1.5. Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Determinar las propiedades reológicas (contenido aparente de amilosa, dispersión alcalina y perfil de viscosidad) en almidón de tres líneas promisorias de arroz dentro de un programa de mejoramiento genético privado de Ecuador, como indicadores de calidad culinaria para selección de materiales.

1.5.2 Objetivos específicos

- 1.5.2.1** Cuantificar el contenido aparente de amilosa, por medio de NIRs, dispersión alcalina mediante método químico y perfil de viscosidad mediante RVA analizando las variables de Breakdown

y Setback; en almidón de tres líneas promisorias de arroz en etapa R9 de un programa de mejoramiento genético y comparar con un testigo comercial

1.5.2.2 Definir la calidad culinaria para los parámetros de soltura y textura de las tres líneas promisorias de arroz en relación al testigo comercial considerado como referente nacional

1.5.2.3 Correlacionar las propiedades reológicas evaluadas y la prueba de cocción como indicadores de calidad para la selección de materiales como candidatos a variedades comerciales

1.6. Hipótesis

Hipótesis nula: H_0 : Las propiedades reológicas (contenido aparente de amilosa, dispersión alcalina y perfil de viscosidad) en almidón y su correlación no definen la calidad culinaria del arroz requerida por el consumidor final.

Hipótesis alterna: H_1 : Al menos una de las propiedades reológicas (contenido aparente de amilosa, dispersión alcalina y perfil de viscosidad) en almidón y su correlación definen la calidad culinaria del arroz requerida por el consumidor final.

1.7. Justificación

Existen varios estudios para destacar la relevancia del presente estudio como por ejemplo: (Shafie et al., 2016) que caracterizaron y clasificaron 72 variedades de arroz utilizando un RVA determinando los rangos de los perfiles de viscosidad en alto, medio y bajo. En otro estudio (Misra et al., 2018) mencionan la importancia de determinar la calidad culinaria para lo cual evaluaron 236 accesiones del banco de germoplasma del Instituto Internacional de Investigación de Arroz determinando el

contenido aparente de amilosa y la textura en cocción para poder validar por medio de marcadores moleculares.

Teniendo en cuenta que los parámetros que se trata de determinar son producto de la expresión fenotípica existen investigaciones como (Durbha et al., 2024), (Ge et al., 2023) y (Lu et al., 2024) en la cual determinaron que la etapa más crítica para la calidad de grano es durante la etapa reproductiva, para lo cual determinaron el contenido aparente de amilosa y amilopectinas las cuales incrementaban su cantidad al tener granos maduros en estado R9 con mayor temperatura. En concordancia con estos estudios (Zhang et al., 2021) determinaron que el contenido aparente de amilosa es uno de los factores o componentes más determinantes para la calidad del grano junto con altas temperaturas desde diferenciación de primordio floral; es decir, en etapa reproductiva. De esta manera (Zheng et al., 2023) determinan molecularmente las variedades de arroz con una calidad culinaria determinada. (Zhao et al., 2021) determinaron parámetros como el contenido aparente de amilosa y las propiedades de viscosidad del almidón por medio de un RVA y los asociaron con un mapeo QTL (Quantitative Trait Loci) para localizar las regiones específicas de la expresión de estas características. (Balet et al., 2019) y destacan la aplicabilidad del RVA para determinar las propiedades físico-químicas del almidón.

La determinación de las propiedades reológicas es importante para la aplicabilidad en la industria; sin embargo, su uso en los programas de mejoramiento genético del país por el momento no es común y actualmente se determina el contenido aparente de amilosa, dispersión alcalina y pruebas de cocción. La determinación del perfil de viscosidad ayudará a comprender de qué manera estos

componentes inciden en la calidad culinaria del grano. Al lograr determinar esta correlación entre las propiedades reológicas y la calidad culinaria se pueden optimizar recursos para no realizar pruebas de cocción en generaciones tempranas del programa de mejoramiento genético. Las cuales requieren mayor cantidad de muestra para procesar y su logística es compleja, lo cual limita el número de muestras a evaluar.

1.8. Declaración de las variables (Operacionalización)

VARIABLES	Definición Conceptual	Definición Operacional	Criterio de Medición	Técnica	Escala
Contenido aparente de amilosa	La amilosa es un almidón que determina la viscosidad en la cocción y la suavidad al momento de la masticación. Para cumplir los parámetros requeridos de soltura se necesitan tener variedades con un contenido de amilosa alto (>25%). La espectroscopia de reflectancia cercana al infrarrojo es una técnica para determinar contenido de amilosa por medio de absorción de luz infrarroja (Loaiza & Larrahondo, 2017)	Determinar el contenido aparente de amilosa en la harina en el estadío R9	0-5 % = cerosos 5-12% = muy baja amilosa 12-18% = baja amilosa 18-25% = amilosa intermedia >25% = alta amilosa (Kharshiing & Chrungoo, 2021)	NIRs	Porcentajes
Dispersión alcalina	La dispersión alcalina incide en la calidad del grano, este parámetro se relaciona con la	Determinar la dispersión alcalina en granos pulidos en el estadío R9	Grado 1 = granos inalterados Grado 2 = granos hinchados	Prueba KOH	Clases o grados

	temperatura de gelatinización (Umamoto et al., 2004). Este parámetro determina cómo los granos de arroz se vuelven gelatinosos durante la cocción (Aluko et al., 2004)		Grado 3= grano con fisuras Grado 4= grano poco agrietado Grado 5= grano completamente abierto Grado 6= grano casi desintegrado Grado 7= grano desintegrado (Puig, 2016)		
Perfil de viscosidad	El perfil de viscosidad se encarga de determinar el comportamiento del almidón en su proceso de cocción al hidratar los almidones con incrementos de temperatura y disminuyendo la temperatura (Kharabian-Masouleh et al., 2012)	Determinar el perfil de viscosidad	Unidades en centipoise (cP)	Rapid Visco Analyzer	Viscosidad expresada en Centipoise
Calidad culinaria	La calidad culinaria para este experimento se definirá por medio de la textura y soltura al realizar la cocción.	Caracterizar la textura y soltura de los materiales a evaluar	Apreciación visual para soltura y en paladar para textura	Olla arrocera	Soltura 1= Completamente agregado 2= Con muchos agregados 3= de 3 a 6 agregados 4= Con menos de 3 agregados 5= Sin agregados Textura 1= Pegajoso 2= Blando y húmedo 3= Blando 4= Consistente 5= Duro

CAPÍTULO II: Marco Teórico Referencial

2.1. Antecedentes Referenciales

A nivel mundial existen algunas investigaciones como la de (Bouchard et al., 2020) que realizaron un análisis multivariante de las propiedades culinarias de arroz, evaluando el tiempo de gelatinización, absorción aparente de agua, relación de expansión, pero de mil granos y temperatura de gelatinización. En esta investigación caracterizaron y determinaron los parámetros de calidad culinaria para 9 variedades comerciales de arroz en Argentina, con el fin de identificar o agrupar las variedades comerciales estadísticamente diferenciando sus propiedades culinarias. Permitiendo tener una mejor comprensión del mercado de acuerdo a la preferencia de los consumidores.

Para la característica reológica del perfil de viscosidad (Shafie et al., 2016) clasificaron las variedades de arroz en Malasia, ya que identificaron la necesidad de evaluar este componente reológico porque únicamente el contenido aparente de amilosa no logra explicar de manera amplia y completa la calidad culinaria del arroz. En esta investigación ellos caracterizaron cómo estaba conformado su banco de germoplasma de acuerdo al perfil de viscosidad para tener información de cómo proceder con investigaciones futuras ya que las propiedades del almidón también se ven influenciadas por la proteína y los lípidos presentes en el grano de arroz.

Investigaciones como (Misra et al., 2018) caracterizaron 236 accesiones de arroz de un programa de mejoramiento genético en Filipinas de variedades tipo Índica. En esta investigación caracterizaron los parámetros: adhesividad, dureza y cohesión junto con el contenido aparente de amilosa. De esta manera al tener la caracterización de las accesiones pudieron determinar las accesiones que cumplen con los

estándares de aceptación por parte del consumidor, para finalmente realizar una selección asistida por medio de marcadores moleculares determinando el contenido aparente de amilosa que tiene una influencia directa sobre la textura y palatabilidad del arroz.

(Umamoto et al., 2004) investigaron la relación del efecto de la enzima SSIIa del arroz que regula la dispersión alcalina. Esta dispersión se encuentra influenciada por la estructura de la amilopectina, específicamente el largo y ramificación de la cadena de amilopectina que también incide en el perfil de viscosidad. Sin la enzima SSIIa no se forman las cadenas doble hélices de amilopectina disminuyendo el grado de dispersión de alcalina y aumentando la temperatura de gelatinización. La retrogradación del almidón también se ve afectado por la molécula de amilopectina.

En otras investigaciones como (Zhao et al., 2021) realizaron un mapeo de QTL para correlacionarlos con los parámetros del perfil de viscosidad obtenidos en el RVA, para lo cual utilizaron datos de 4 años y correlacionar estos parámetros para posteriormente identificar marcadores moleculares para ser utilizados en una selección asistida en 2 variedades de China. De igual manera (M et al., 2023) evaluaron las propiedades físicoquímicas y calidad culinaria en cinco variedades de arroz en India por medio de un estudio de expresión del gen SSRGs.

A nivel nacional hay investigaciones que determinaron las características físicas y reológicas de tres variedades de arroz (Ceavichay Coello & Valenzuela Cobos, 2012) caracterizaron las variedades INIAP 14, INIAP 15 e INIAP 17 determinando la viscosidad, temperatura de gelatinización. Como resultado de este estudio mencionado determinaron que pueden utilizar estos materiales en la industria de la panificación. Sin embargo, estas variedades ya no se encuentran presentes en el mercado ecuatoriano.

Existen otras investigaciones a nivel nacional como la de (Navia Pesantes, 2023) que determinó la calidad molinera y culinaria para variedades ecuatorianas contemporáneas. En esta investigación determinaron algunos componentes que inciden en la calidad culinaria como el contenido aparente de amilosa y para la calidad culinaria determinó el tiempo de evaporación del agua, tiempo de cocción y disgregación del grano. Adicionalmente cuantificaron por medio de una PCR en tiempo real la expresión génica para el gen *Waxy* que determina el contenido de amilosa.

Tomando en cuenta los antecedentes internacionales y nacionales en este estudio se busca caracterizar los componentes reológicos de contenido aparente de amilosa, grado de dispersión alcalina y perfil de viscosidad con el fin de correlacionar con la calidad culinaria en materiales propios de un programa de mejoramiento genético del país generando nueva información y a su vez marcando un precedente en cuanto al uso del Rapid Visco Analyzer en un programa de mejoramiento genético para poder determinar de manera indirecta la calidad culinaria de las líneas promisorias de arroz.

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. Origen del arroz

El uso del arroz data desde hace más de 10000 años (Stein et al., 2018). Existen 2 especies: *Oryza sativa* L. y *Oryza glaberrima* Steud. Destacando que la primera corresponde a la más utilizada actualmente para nuestra área geográfica. Estas especies son diploides y tetraploides con los genomas tipo: AA, BB, CC, BBCC, CCDD, EE, FF, GG, KKLL y HHJJ. Dentro de la especie *Oryza sativa* L. tenemos las sub especies: *ssp. japonica* y *ssp. indica* estas dos especies que poseen un genoma

entre 420 y 460 (Mbp) con 46 cromosomas y genoma tipo AA. En Centro América y Sudamérica también se encuentran: *O. glumaepatula* Steud y *O. rufipogon* Griff con similares números de cromosomas y tipo de genoma. Mientras que del complejo *O. officinalis* tenemos las variedades: *O. alta* Swallen, *O. grandiglumis* (D) Prodoehl y *O. latifolia* Desv; los cuales corresponden a tetraploides con 48 cromosomas y con un tipo de genoma CCDD (Paredes C, et al., 2021)

2.2.2. Grano de Arroz

El arroz tiene 9 estadios reproductivos en los cuales se desarrolla el grano siendo el último estadio en el que el grano se seca y está apto para cosechar porque los componentes del almidón se han sintetizado de manera adecuada. El grano tiene una capa protectora o cáscara que se forma de la lema y palea. El cariósipide o fruto presenta el pericarpio que contiene el endospermo y el embrión. El endospermo se forma de una capa bajo la aleurona y el almidón (Paredes C, et al., 2021). La clasificación del arroz según los Estados Unidos se da en 4 grupos: Indica, Japónica, Aromático y Glutinoso.

Tomando en cuenta la estructura del grano de arroz podemos indicar que de acuerdo al grado de molienda o procesamiento según el Codex Alimentarius (2007), mencionado por (Paredes C et al., 2021) existen tres tipos de arroz:

- El arroz semielaborado que es el grano de arroz removiendo únicamente la lema y palea; es decir el grano descascarado o integral como normalmente se lo denomina. Este tipo de arroz se caracteriza por tener fibra y tiene una densidad aparente baja en comparación al arroz elaborado por tener lípidos. Otro beneficio nutricional de este tipo de procesamiento es que al no remover

el germen, los granos de arroz conservan vitamina B: tiamina, riboflavina y niacina (Ahmed et al., 2020).

- El arroz bien elaborado en el cual a partir del grano descascarado se procesa por medio del pulido en el cual remueve parte del germen y las capas externas e internas del salvado. Sin embargo al eliminar estas capas está reduciendo las proteínas del 2 al 7 %, potasio del 20 al 41 %, tiamina del 22 al 59 %, riboflavina del 11 al 26 % y niacina del 20 al 60 % (Ahmed et al., 2020).
- El arroz muy elaborado en el cual a partir del grano descascarado se elimina casi por completo el germen, las capas externas e internas del salvado y parte del endospermo. Considerando los componentes nutricionales de los otros tipos de arroz se he determinado también que al perder los lípidos tiende a reducirse la temperatura de gelatinización y la viscosidad del gel en el almidón (Ahmed et al., 2020).

2.2.3. Almidón

El almidón es el componente principal de reserva de alimento de arroz y consta de dos polímeros: amilosa y amilopectina. La amilopectina tiene una estructura molecular ramificada con enlaces α (1,4) y α (1,6). Mientras que la amilosa tiene una estructura molecular lineal con enlaces α (1,4). La proporción de estos dos polímeros determinan las características de calidad de grano requerido (Umemoto et al., 2004). La amilosa es una cadena larga y fuerte de almidón que no se gelatiniza durante la cocción; y la amilopectina es una cadena de almidón bastante ramificada y es la responsable de la pegajosidad y consistencia del gel durante la cocción (Adegoke et al., 2021), (Hossain et al., 2019) y (Bo et al., 2019).

2.2.4. Biosíntesis del almidón

De acuerdo a (Li et al., 2018) la expresión de los 2 polímeros de glucosa que conforman el almidón: amilosa y amilopectina; se realiza por medio de la intervención de las enzimas: adenosine diphosphoglucose (ADP), pyrophosphorylase (AGPase), granule-bound starch synthase (GBSS), soluble starch syntase (SSS), starch branching enzyme (SBE) y starch debranching enzyme (DBE). Entendiendo que intervienen una serie de aspectos para la producción de almidón, existen varios estudios que tratan de aclarar el proceso de la biosíntesis de amilosa ya que es uno de los principales componentes del almidón. El gen Waxy es el principal gen para determinar el contenido de amilosa, el cual se encuentra ubicado en el cromosoma 6 y éste posee 14 exones y 13 intrones (Okpala et al., 2022) y (Liu et al., 2022). La enzima granule-bound starch synthase I (GBSSI), es responsable de la expresión de amilosa en el endospermo del grano, la cual se encuentra codificada en el gen Waxy. Este gen waxy contiene varios alelos Wx^a para alto contenido de amilosa, Wx^b para contenido intermedio de amilosa y Wx para contenido bajo de amilosa; mientras que para los tejidos vegetales la enzima responsables es la granule-bound starch synthase II (GBSII) (Nakano et al., 2023). Sin embargo según estudios recientes (Maung et al., 2021) destaca que existen otros alelos del gen Waxy que ayudan a entender de mejor manera el contenido de amilosa, como los alelos Wx^{la} , Wx^{mp} , Wx^{op} y Wx^{in} . Otros autores como (J. Wang et al., 2018) menciona que la formación de amilosa ocurre después de la formación de amilopectina; por lo cual se destacan las enzimas: BE con sus 3 isoformas (BEI, BEIIa y BEIIb), AGPase, SS y DBE como responsables de esta formación (Okpala et al., 2022); no hay todavía una claridad en cuanto a que isoforma de BE producen los tipos de cadenas porque al parecer BEI y BEIIa producen cadenas largas e intermedias de amilopectina al mismo tiempo y

dependiendo del tipo de cadena de amilopectina que se tiene se define la proporción de amilosa porque comparten el mismo espacio físico estos dos polímeros de glucano.

Siguiendo este estudio de (Okpala et al., 2022) mencionan que las enzimas SS poseen 10 isoformas: SSI, SSIIa, SSIIb, SSIIc, SSIIIa, SSIIIb, SSIVa, SSIVb, GBSSI y GBSSII. De las cuales se puede destacar que la SSIIIa es la más abundante en el endospermo. Con esta información se podría resumir que la producción de cadenas largas de amilosa tiene una correlación negativa con cadenas intermedias y largas de amilopectina; esta síntesis de ambos atribuye que ocurren en el mismo sitio de los gránulos de almidón. Determinando que cuando se disminuye la biosíntesis de amilopectina en espacio dentro del endospermo se compensa con el incremento de la biosíntesis de amilosa. En el grano de arroz se encuentran los amiloplastos que son las estructuras que sintetizan y acumulan el almidón por lo cual sirve como una fuente de reservorio de nutrientes.

2.2.5. Biosíntesis de amilosa

La biosíntesis de amilosa según (Nakamura et al., 2017) , (Okpala et al., 2022) (L. Wang et al., 2024) (Durbha et al., 2024) mencionan que los precursores de amilosa son las enzimas AGPase y las enzimas SS con sus isoformas. La AGPase produce ADP que convierten la glucosa y fructosa (degrada a partir de la sacarosa en el citoplasma de los tejidos vegetales) en fructosa 6-fosfato que se isomeriza en glucosa-6-fosfato en el amiloplasto, estos monómeros activados se convierten en almidón. Las isoformas de la enzima SS intervienen en la producción de cadenas, largas, intermedias y cortas de amilosa entre estas se encuentra GBSS y las enzimas BE también se encargan de producir las cadenas, largas, intermedias y cortas de

amilopectina. Al existir una correlación negativa entre ambas al tener mayor proporción de un polisacárido se reduce la cantidad del otro polisacárido (L. Wang et al., 2024).

2.2.6. Contenido aparente de amilosa

Según (Adegoke et al., 2021) definen al contenido aparente de amilosa como el porcentaje de amilosa presente en el endospermo. Según el contenido de amilosa el arroz se clasifica en: waxy (0-5%), muy bajo (5-12 %), bajo (12-20 %), intermedio (20-25%) y alto (>25%). De esta manera los materiales que presentan un bajo contenido aparente de amilosa son granos húmedos y pegajosos al cocinarlos; mientras que el mayor contenido de amilosa produce arroz duro, y suelto al cocinarlo.

Estudios como los de (Tao et al., 2019) determinaron que un bajo contenido de amilosa en variedades de arroz contienen grandes cantidades de almidón rápidamente digerible, lo cual es perjudicial para la salud ya que inciden en un alto incremento y descenso de niveles de glucosa en la sangre. Por lo cual este tipo de materiales se asocian con patologías como la obesidad, diabetes y enfermedades cardiovasculares (Shen et al., 2022). Por el contrario, variedades de arroz con un alto contenido de amilosa tienden a tener una digestibilidad más lenta. Por lo cual cada vez es más apreciado por la industria arroz con alto contenido de amilosa ya que puede incluso ser utilizado para personas con diabetes ya que incrementa la saciedad y reduce el riesgo de diabetes por los bajos niveles de glucosa.

2.2.7. Dispersión alcalina

La dispersión alcalina se utiliza como un método para determinar de manera indirecta la temperatura de gelatinización, según (Bouchard et al., 2020) definen como la temperatura a la cual el almidón del endospermo pierde su estructura cristalina

reduciendo la resistencia mecánica del grano. Esta variable está relacionada con la dureza, absorción de agua y pegajosidad en cocción.

La dispersión alcalina se agrupa en 7 clases según (Little *et al.*, 1958) encontrado en (Puig, 2016) :

- Grado 1: grano de arroz inalterado
- Grado 2: grano de arroz hinchado
- Grado 3: grano hinchado con leves fisuras
- Grado 4: grano un poco agrietado, con un halo blanquecino alrededor
- Grado 5: grano de arroz completamente abierto
- Grado 6: grano casi totalmente desintegrado
- Grado 7: grano totalmente desintegrado

Debido a que existe un método indirecto para determinar la temperatura de gelatinización se han agrupado en grupos de la siguiente manera (Bouchard *et al.*, 2020):

- Grado 1-3 = Temperatura Gelatinización alta (74-80°C)
- Grado 4-5= Temperatura Gelatinización intermedia (69-73°C)
- Grado 6-7= Temperatura Gelatinización baja (63-68 °C)

2.2.8. Perfil de Viscosidad

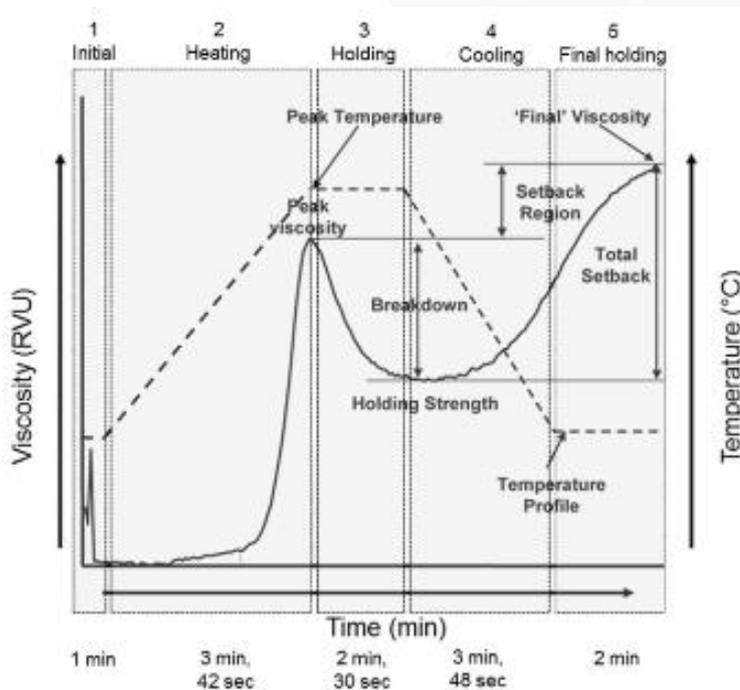
El perfil de viscosidad (Shafie *et al.*, 2016) lo define la propiedad de la pasta, un fenómeno que surge después de la gelatinización, la cual involucra la expansión molecular, extracción y la disgregación de los gránulos de almidón. Esta propiedad está directamente relacionada al contenido de: amilosa, lípidos, tipo de almidón y condiciones ambientales.

El perfil de viscosidad se determina por medio de un Rapid Visco Analyzer que determina la estabilidad del almidón durante el proceso de cocción al simular su proceso añadiendo agua y temperatura, por lo cual se relaciona con la calidad culinaria. Según (Balet et al., 2019) el RVA es un método para analizar los componentes reológicos y para realizar el análisis se divide en cinco etapas:

- 1ra etapa se adiciona el agua a la muestra de harina previamente determinada su contenido de humedad.
- 2da etapa corresponde al calentamiento que simula la cocción del almidón. En esta etapa ocurre la gelatinización del almidón por el incremento de la temperatura con la presencia del agua y se expande el almidón resultado en la ruptura de los enlaces de hidrógeno esto se denomina como Breakdown.
- 3ra etapa alcanza el pico de temperatura y desciende la viscosidad por la unión las regiones del almidón; es decir una retrogradación.
- 4ta etapa denominada de enfriamiento o Setback en la cual se incrementa nuevamente la viscosidad.
- 5ta etapa mantiene la temperatura constante mientras la viscosidad continúa incrementándose determinando la capacidad de la harina de formar una pasta viscosa después de la cocción y su enfriamiento.

Figura 1

Ejemplo de perfil de viscosidad obtenido en Rapid Visco Analyzer



Nota. Fuente (Balet et al., 2019)

2.2.9. Breakdown

En esta etapa se da el pico más alto de temperatura y se cocina el almidón, debido a la presencia de agua y temperatura el almidón se hincha por la absorción del agua y se expande rompiendo los enlaces de hidrógeno por los cuales está formado. En este punto se forma la pasta ya que ocurre la gelatinización, por lo cual en este punto se incrementa la viscosidad. Así mismo la viscosidad empieza a incrementarse solo cuando los gránulos de almidón está completamente gelatinizados (Balet et al., 2019).

2.2.10. Setback

En esta etapa la temperatura desciende; sin embargo, la viscosidad empieza a incrementarse nuevamente a medida que los gránulos de almidón empiezan a

enfriarse y retrogradarse. Un bajo Setback se relaciona con la tendencia a retrogradarse y se correlaciona de forma directa (Balet et al., 2019)

2.2.11. Calidad Culinaria

Según (Paredes et al., 2021) la calidad culinaria se define como el conjunto de características (propiedades del almidón, contenido aparente de amilosa, temperatura de gelatinización, consistencia y viscosidad) deseadas por un conjunto de usuarios, por lo cual se basan en las necesidades de los consumidores de un área determinada. La preferencia del consumo está determinada por los consumidores de cada región o país, de la misma manera las características del grano están determinadas por la interacción del genotipo-ambiente (Custodio et al., 2019). En Ecuador se tiene como buena calidad culinaria un material que sea suelto y que presente una textura consistente.

Otros autores como (Kim et al., 2021) identifican que la calidad culinaria está determinada principalmente por el contenido aparente de amilosa, consistencia del gel, temperatura de gelatinización y contenido de proteína; siendo el más importante a determinar el contenido de amilosa ya que incide directamente en la palatabilidad y viscosidad del grano cocinado. Así mismo menciona que los materiales con alto contenido de amilosa requieren una mayor cantidad de agua para ser cocidos, ya que existe una correlación directamente proporcional con la temperatura de gelatinización. Por lo tanto, al tener una alta temperatura de gelatinización se necesita una mayor cantidad de agua y tiempo para ser cocinados.

2.2.12. Textura

La textura del arroz al momento de ser cocinado se ve influenciada por varios componentes como: contenido aparente de amilosa, procesos de poscosecha y el método de cocción especialmente por la proporción de agua utilizada en relación al arroz. Existe evidencia que la estructura molecular del almidón se relaciona con la textura del grano cocinado, independientemente del contenido de amilosa. Es decir, los materiales que tienen menor peso molecular y mayor proporción de cadenas largas de amilosa tienen una textura dura en cocción en comparación a materiales con alto peso molecular y mayor proporción de cadenas cortas de amilosa. (Paredes et al., 2021). De acuerdo al Centro Internacional de Agricultura Tropical para la textura podemos clasificar los parámetros de esta manera: duro, consistente, blando, blando y húmedo y pegajoso.

2.2.13. Soltura

Uno de los atributos visuales más apetecidos para los consumidores en la región es la soltura del grano que se presente al momento de realizar la cocción. Debido a que por preferencias culturales para el continente americano se define como un buen material aquel que sea suelto y se identifiquen los granos cocidos de manera independiente y uniforme (J. Dossmann, 2024). De esta manera el Centro Internacional de Agricultura Tropical definió la soltura en las siguientes categorías: Completamente agregado, con muchos agregados, de 3 a 6 agregados, menos de 3 agregados y sin agregados.

2.3. Marco Teórico

(Pérez-Almeida & Montoya Aramburu, 2009)mencionan que en los programas de mejoramiento genético de arroz no solo se deben tomar en cuenta componentes

de rendimiento y resistencia a plagas y enfermedades; mencionan que es necesario tomar en cuenta la calidad molinera y culinaria. (Shafie et al., 2016) define a la calidad del grano como la calidad culinaria y la textura en cocción. Hay que tomar en cuenta que la calidad culinaria del grano al ser producto de la expresión de las enzimas. Dicha expresión se ve muy influenciada por factores bióticos o abióticos; destacando según (Durbha et al., 2024) y (Yang et al., 2024) que uno de los factores que tiene mayor incidencia es la temperatura en etapas reproducción y maduración. Así como también la sequía según (V et al., 2019). La amilosa sigue siendo uno de los principales componentes para determinar la calidad del grano (Alpuerto et al., 2022), por lo cual existe un rango desde 0 hasta 30% categorizando como tipo waxy y suelto.

(Misra et al., 2018) pudieron inferir que hay una correlación inversamente proporcional entre el contenido de amilosa en el grano y la pegajosidad del grano al momento de cocinarlo. De esta manera (Biselli et al., 2014) determinó por medio de estudios que las variedades con mayor contenido de amilosa presentan una calidad de grano con granos firme, separados, secos y con baja palatabilidad. Así mismo (Shafie et al., 2016) menciona que la clasificación del arroz por calidad no debería tomarse en cuenta únicamente por el contenido de amilosa, que es la manera más tradicional, sino que se debe tomar en cuenta el procesamiento del almidón. Por lo que se debe estudiar las propiedades físico químicas del almidón; para esto el Rapid Visco Analyzer (RVA) que es un viscómetro caliente y frío, brinda información sobre la pegajosidad, la retrogradación del almidón después de la gelatinización y el enfriamiento una vez alcanzada la gelatinización. Parámetros como la textura determinan la palatabilidad y la aceptación del consumidor por lo cual es un parámetro muy importante para los programas de mejoramiento genético. Entendiendo que existen diferentes texturas de arroz cocido como: pegajoso, blando, seco, firme y

duro; la preferencia de estas texturas depende de la cultura y ubicación geográfica, determinando una marcada preferencia en América Latina por la textura de firme (Misra et al., 2018). Determinar estos parámetros en un programa de mejoramiento genético con paneles sensoriales es un factor limitante por la cantidad de muestras necesarias y los recursos que se necesitarían para tener paneles sensoriales debidamente entrenados.

Tomando en cuenta todos estos antecedentes se determinó la necesidad de caracterizar los componentes reológicos de las líneas promisorias al ser posibles candidatos a liberarse como variedades comerciales, toda información es relevante para su selección y caracterización. De igual manera al comprender que el perfil de viscosidad no es una variable nueva a nivel mundial, si tiene relevancia a nivel nacional donde no se lo utiliza, por lo que implementar en el programa y correlacionar con la calidad culinaria será de gran ayuda para inferir el comportamiento en cocción de los materiales y de esta manera obtener una base robusta de datos para seleccionar o descartar futuros materiales como posibles candidatos a variedades comerciales.

CAPÍTULO III: Diseño Metodológico

3.1. Tipo y diseño de investigación

El presente estudio es de tipo experimental cuantitativa porque usa variables dependientes e independientes de tipo cuantitativo. De carácter cuasi investigativo porque la muestra de la población no se toma al azar sino en base a necesidades por parte de la empresa privada para evaluar estos individuos.

3.2. La población y la muestra

La población corresponde al total de accesiones de líneas tipo indica que posee el programa de mejoramiento genético privado. Para este estudio se consideró una muestra de tres líneas promisorias como posibles candidatos para liberar como variedades comerciales ya que cumplen con otros requerimientos como son rendimiento, tolerancia a enfermedades y calidad molinera; los granos de estos materiales se obtuvieron durante el mes de agosto del año 2024 en el cantón Palestina, provincia del Guayas. Los tratamientos son las líneas promisorias de arroz: IH-1001; IH-1002; IH1003 pertenecientes a la empresa privada y un testigo comercial IH-1004 que corresponde a la variedad SFL-11.

Una vez obtenidas las muestras se procedió a limpiar de impurezas y secar hasta obtener una humedad del 12%. Posteriormente se procede a procesar en el molino experimental Zaccaria 3 en 1 en el cual se separan las glumas de la cariósida y posteriormente se elimina la aleurona dejando únicamente el endospermo, también denominado como grano pilado. Este grano pilado se procedió a clasificar para tener únicamente los granos enteros para proceder a obtener las diferentes variables.

3.3. Los métodos y las técnicas

3.3.1. Determinación del contenido aparente de amilosa

La determinación del contenido aparente de amilosa se puede realizar de varias maneras, podría ser por el método químico (Dobo et al., 2010) así como también por el método de Espectrofotómetro de Infrarrojo Cercano (NIRs). Sin embargo, el método químico requiere una gran cantidad de cristalería y reactivos ya que se necesitan las curvas patrón y las muestras a evaluar; así como tiempo y experticia para determinar el contenido de amilosa, por lo cual este método sirve como un parámetro de calibración para otros métodos como el NIRs. Se utilizó el método descrito por (Loaiza & Larrahondo, 2017) para lo cual se procede a pesar 5 gramos de arroz previamente pilado y se muele en el molino FOX para obtener harina con una granulometría de 0,5 μm . Se deja reposar mínimo durante 8 horas la harina para poder procesar la muestra en el NIRSSystem 6500 con refractancia ($1/\log R$) y un rango de longitud de onda de 400-2498 nm. Esta metodología también se basa en la norma ISO: 6647-1. Para validar los resultados se realizó una comparación por el método colorimétrico de la muestra testigo encontrando una diferencia de 0,6%, por lo cual se valida la confiabilidad de los resultados obtenidos.

3.3.2. Dispersión Alcalina

Para determinar la dispersión alcalina se utiliza el método descrito por (Umamoto et al., 2004) en el cual se prepara una solución de KOH al 1,7%p/v y en cajas plásticas de color negro se colocan 10 ml de la solución y 6 granos pulidos enteros. La cantidad de granos pulidos enteros a utilizar diferimos y colocamos 10 para una mejor interpretación de los resultados ya que se realiza una medición visual. Posteriormente incubamos en una estufa a 30°C durante 23 horas y se procede a

realizar las lecturas en el cual se describen: Grado1 (grano sin afectación); grado 2 (grano hinchado); grado 3 (grano hinchado con ligeras aberturas); grado 4 (grano poco abierto, con dispersión alrededor); grado 5 (grano totalmente abierto con dispersión alrededor); grado 6 (grano casi totalmente disperso) y grado 7 (grano totalmente disperso). Este parámetro al asociarse indirectamente a la temperatura de gelatinización.

3.3.3. Perfil de Viscosidad

Para obtener el perfil de viscosidad se utiliza la metodología descrita por (AACC. 2000) en la cual la harina de arroz previamente obtenida con una granulometría de 0,5 μm , se pesa 1 gramo y se coloca en una balanza de humedad para que la misma determine el porcentaje de humedad. Una vez determinada la humedad se procede a colocar en el software para determinar la cantidad exacta de harina y agua, ya que se asemeja una relación de 25 gramos agua: 3 gramos harina. Se pesa la cantidad de harina indicada por el software y se adiciona con el agua pesada en una cánula. Posteriormente se ingresa la cánula en en RVA marca perten y se procede a correr el programa rice rapid que contiene los parámetros de evaluación para variedades tipo Índica. En esta metodología determinada por la Asociación Americana de Química de Cereales en su 11va edición con el método 61-02.01. En el cual aparte de las cantidades de muestra descrita anteriormente se utiliza una temperatura inicial de 50 °C y 960 rpm de velocidad de agitación, la temperatura se mantiene constante hasta el 1er minuto y se incrementa hasta llegar a un pico de 95°C en el minuto 4:48 y se mantiene constante hasta el minuto 7:18; a partir de este momento la temperatura empieza a descender hasta llegar nuevamente a los 50°C en el minuto 11:06. Por medio de un software específico del equipo se obtiene el perfil

de viscosidad en el cual nos brinda los valores de: Breakdown y Setback. Ambos expresados en cP (centipoins).

3.3.4. Prueba de Cocción

Para determinar la prueba de cocción se siguió la metodología descrita por (CIAT, 1989) con unas adaptaciones por disponibilidad de los tratamientos. En la cual se pesó 100 gramos de arroz pilado, posteriormente se pesa 200 gramos de agua y se procede a llenar las cuatro ollas arroceras al mismo tiempo y conectar de manera simultánea la corriente eléctrica para brindar las mismas condiciones de cocción a los cuatro tratamientos. Una vez completada la cocción se procedió a desconectar la arrocera y esperar 10 minutos para realizar una evaluación visual para soltura y textura a la masticación por triplicado.

3.4. Procesamiento estadístico de la información

Para realizar el análisis de los datos se utilizará un DCA de 4 tratamientos con 3 repeticiones, para realizar un Análisis de Varianza y determinar también la correlación de los mismos, mediante el Software estadístico Minitab versión 22.

CAPÍTULO IV: Análisis e Interpretación de Resultados

4.1. Análisis e Interpretación de Resultados

Para las variables: grado de dispersión alcalina, contenido aparente de amilosa, breakdown, setback, textura y soltura. Se tomaron los datos de los cuatro tratamientos: IH-1001, IH-1002, IH-1003 e IH-1004 con sus tres réplicas y mediante la prueba de Shapiro se determinó que los valores de las variables siguen una distribución normal al tener un valor $p > 0,05$.

Una vez realizado este previo análisis se procedió a realizar un análisis de varianza en cada una de las variables para los cuatro tratamientos determinando los siguientes resultados.

4.1.1. Dispersión Alcalina

En la tabla 1 podemos destacar que el modelo aplicado indica que no existe evidencia estadística para determinar una diferencia entre los tratamientos al tener un valor $p > 0.05$. Así mismo se debe mencionar que el modelo tiene un R^2 del 60% y un valor S de 0.288.

Tabla 1

Análisis de varianza para dispersión alcalina

Fuente	GL	SC Ajustada	MC Ajustada	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	1	0.333	4	0.052
Error	8	0.667	0.083		
Total	11	1.667			

Al no existir varianza significativa ($p < 0.05$) concluimos que los valores de dispersión alcalina de los 4 tratamientos o materiales evaluados son similares

estadísticamente que tienen una media de 7 para los tratamientos IH-1002, IH-1003 e IH-1004 Finalmente el tratamiento IH-1001 presentó un grado de dispersión de 6.3 pero no difiere de los otros tratamientos.

4.1.2. Contenido aparente de amilosa

Para el contenido aparente de amilosa se realizó el análisis de varianza utilizando un ANOVA determinando que existe diferencia estadística ($p < 0.05$) entre las medias de los tratamientos (tabla 2). Este modelo tubo un R^2 del 96.65%.

Tabla 2

Análisis de Varianza Contenido aparente de amilosa

Fuente	GL	SC Ajustado	MC Ajustado	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	155.256	51.7519	76.86	0.000
Error	8	5.387	0.6733		
Total	11	160.642			

Una vez determinada la diferencia estadística entre las medias de los tratamientos se procedió a realizar una prueba de Tukey (tabla 3) determinando que los materiales: IH-1004; IH-1003 e IH-1002 poseen una media de contenido aparente de amilosa de 32.93%; 31.87% y 30.93% que no difieren estadísticamente entre ellos. Sin embargo, estas medias si difieren del material IH-1001 que posee un contenido aparente de amilosa de 23.77 %; el cual es inferior estadísticamente a los otros materiales. Es decir que a pesar de que el valor más alto para contenido de amilosa es para el testigo comercial SFL-11; este no difiere estadísticamente de las líneas promisorias IH-1003 e IH-1002.

Tabla 3

Prueba Tukey para diferencia de medias Contenido aparente de amilosa

Tratamiento	N	Media	Agrupación
IH-1004	3	32.933	A
IH-1003	3	31.867	A
IH-1002	3	30.933	A
IH-1001	3	23.767	B

Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

4.1.3. Breakdown

Para la variable Breakdown del perfil de viscosidad realizamos un análisis de varianza determinando que existe diferencia estadística entre las medias de los tratamientos; lo cual podemos corroborar en la tabla 4. Este modelo presentó un R² de 96.9%.

Tabla 4

Análisis de Varianza Breakdown

Fuente	GL	SC Ajustado	MC Ajustado	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	252826	84275	83.45	0.000
Error	8	8079	1010		
Total	11	260905			

Una vez determinado que existe diferencia estadística se procedió a realizar una prueba de Tukey (tabla 5) determinando el tratamiento IH-1001 con un valor de 1172 cP que corresponde al valor más alto, seguido de los materiales IH-1002 e IH-1003 con valores de 1010 y 978 cP que no difieren estadísticamente entre ellos.

Finalmente, el material IH-1004 tiene un valor de 765 cP es el menor estadísticamente. Por lo cual se puede inferir que el testigo comercial SFL-11 posee el valor más bajo estadísticamente de Breakdown entre los tratamientos evaluados.

Tabla 5

Prueba Tukey Breakdown

Tratamiento	N	Media	Agrupación
IH-1001	3	1172,3	A
IH-1002	3	1010,3	B
IH-1003	3	978,3	B
IH-1004	3	764,7	C

Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

4.1.4. Setback

Se realizó el análisis de varianza para la variable Setback encontrando que existe significancia estadística de diferencia entre los tratamientos representada en la tabla 6. Adicionalmente el modelo presentó un R² de 99,4%

Tabla 6

Análisis de Varianza Setback

Fuente	GL	SC Ajustado	MC Ajustado	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	2744706	914902	441.91	0.000
Error	8	16563	2070		
Total	11	2761269			

Una vez determinada la significancia estadística de diferencia entre los tratamientos se determinó por medio de una prueba de Tuckey con un $\alpha=0.05$ (tabla

7). Demostrando que los tratamientos: IH-1004, IH-1003 e IH-1002 poseen valores de Setback similares entre ellos de 1141, 1130 y 1071 cP respectivamente; sin embargo, difieren estadísticamente del material IH-1001 que posee el valor inferior de 11 cP. Es decir que la variedad comercial SFL-11 posee un valor de Setback similar estadísticamente a los tratamientos IH-1003 e IH-1002.

Tabla 7

Prueba Tukey Setback

Tratamiento	N	Media	Agrupación
IH-1004	3	1141.3	A
IH-1003	3	1129.7	A
IH-1002	3	1071.3	A
IH-1001	3	11.3	B

Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

4.1.5. Soltura

Se procedió a realizar el análisis de varianza de un solo factor para la variable soldadura encontrando que existe diferencia significativa para los tratamientos, lo que se expresa en la tabla 8. Adicionalmente el modelo presentó un R^2 de 93.75 %.

Tabla 8

Análisis de Varianza Soltura

Fuente	GL	SC Ajustado	MC Ajustado	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	10.000	3.333	40.00	0.000
Error	8	0.667	0.083		
Total	11	10.667			

Posteriormente al encontrar diferencia estadísticamente significativa se procedió a realizar una prueba Tukey con una probabilidad del 95%, la cual se visualiza en la tabla 9. En donde el tratamiento IH-1004 presenta el valor más alto expresándose como un arroz sin agregados y difiere significativamente del tratamiento IH-1002 que presenta un valor de 4 que corresponde a un arroz con menos de tres agregados. Finalmente, los tratamientos IH-1003 e IH-1001 no difieren estadísticamente entre ellos, pero sí de los otros con valores de 3 y 2.7 respectivamente que corresponde a un arroz con presencia de 3 a 6 agregados.

Tabla 9

Prueba Tukey Soltura

Tratamiento	N	Media	Agrupación
IH-1004	3	5.000	A
IH-1002	3	4.000	B
IH-1003	3	3.000	C
IH-1001	3	2.667	C

Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

4.1.6. Textura

Para la variable textura se realizó un análisis de varianza encontrando significancia para los tratamientos, lo cual se expresa en la tabla 10. Adicionalmente el modelo presentó un R^2 de 93.75 %.

Tabla 10

Análisis de Varianza Textura

Fuente	GL	SC Ajustado	MC Ajustado	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	10.0000	3.33333	40.00	0,000
Error	8	0.6667	0.08333		
Total	11	10.6667			

Al determinar la diferencia entre los tratamientos se procedió a realizar una prueba de Tukey con un 95 % de confianza expresado en la tabla 11. En la cual podemos observar que el tratamiento IH-1004 que corresponde al testigo presenta el valor más alto significativamente con un valor de 5 que corresponde a una textura dura. Seguido del tratamiento IH-1002 con una media de 4 que corresponde a una textura consistente ideal como indicativo de calidad culinaria. Los tratamientos IH-1003 e IH-1001 con medias de 3 y 2.7 que corresponden a texturas blandas y que difieren significativamente de los otros materiales, pero no entre ellos.

Tabla 11

Prueba Tuckey Textura

Tratamiento	N	Media	Agrupación
IH-1004	3	5.000	A
IH-1002	3	4.000	B
IH-1003	3	3.000	C
IH-1001	3	2.667	C

Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

4.1.7. Correlación

Finalmente se realizó una correlación de Pearson entre las variables expresado en la tabla 12. En la cual podemos observar que la amilosa se correlaciona significativamente y de manera positiva con el grado de dispersión alcalina. Así mismo la amilosa se correlaciona de manera negativa con el Breakdown y es estadísticamente significativa. La amilosa se correlaciona de manera positiva con el Setback y es estadísticamente significativa. La amilosa se correlaciona de manera positiva con la soltura y textura y para ambas correlaciones son significativas estadísticamente. De esta manera también podemos verificar las correlaciones de las otras variables encontrando que el grado de dispersión se correlaciona de manera negativa con el Breakdown y esta correlación es significativa estadísticamente. El grado de dispersión se correlaciona de manera directa con el Setback y es estadísticamente significativa. El grado de dispersión se correlaciona de manera positiva con la soltura y textura. Pero en ambos casos no es estadísticamente significativa ($p=0,062$) probablemente se deba a que no existió diferencia para la dispersión alcalina en el ANOVA. El Breakdown se correlaciona de manera negativa con el Setback y es estadísticamente significativa. El Breakdown se correlaciona de manera negativa con la textura y soltura y en ambos casos es estadísticamente significativa. El Setback se correlaciona de manera positiva con la soltura y textura; siendo esta correlación estadísticamente significativa. Finalmente, la textura y la soltura se correlacionan de manera positiva y es estadísticamente significativa.

Tabla 12

Correlaciones en parejas de Pearson

Muestra 1	Muestra 2	N	Correlación	IC de 95% para ρ	Valor p
Amilosa	Dispersión Alcalina	12	0,749	(0,306; 0,925)	0,005
Breakdown	Dispersión Alcalina	12	-0,622	(-0,881; -0,075)	0,031
Setback	Dispersión Alcalina	12	0,784	(0,383; 0,937)	0,003
Soltura	Dispersión Alcalina	12	0,553	(-0,030; 0,856)	0,062
Textura	Dispersión Alcalina	12	0,553	(-0,030; 0,856)	0,062
Breakdown	Amilosa	12	-0,852	(-0,958; -0,545)	0,000
Setback	Amilosa	12	0,979	(0,925; 0,994)	0,000
Soltura	Amilosa	12	0,681	(0,176; 0,902)	0,015
Textura	Amilosa	12	0,681	(0,176; 0,902)	0,015
Breakdown	Setback	12	-0,778	(-0,935; -0,369)	0,003
Soltura	Breakdown	12	-0,875	(-0,965; -0,606)	0,000
Textura	Breakdown	12	-0,875	(-0,965; -0,606)	0,000
Soltura	Setback	12	0,629	(0,086; 0,884)	0,029
Textura	Setback	12	0,629	(0,086; 0,884)	0,029
Textura	Soltura	12	1,000	(*, *)	*

Nota. * altamente significativo

CAPÍTULO V: Conclusiones, Discusión y Recomendaciones

5.1. Discusión

Tomando en consideración que en América se encuentra ampliamente distribuido la sub especie de arroz tipo Índica según (Paredes C, et al., 2021), este fenómeno se debe a las preferencias de consumo de un arroz suelto en la cocción. Los polímeros: amilosa y amilopectina son los responsables de determinar la calidad culinaria (Umemoto et al., 2004). Donde la amilosa es una cadena larga que no se gelatiniza durante la cocción y la amilopectina es una cadena ramificada es la responsable de la pegajosidad durante la cocción (Adegoke et al., 2021). En concordancia con esto, se puede evidenciar que el testigo comercial SFL-11 presenta el mayor contenido aparente de amilosa con el 32,93%; sin embargo, estadísticamente no difiere de los tratamientos IH-1003 e IH-1002 que poseen el 31,87 % y 30,93 % respectivamente, lo que permitiría la utilización de estos materiales como variedades comerciales, descartando IH-1001 que tiene el 23,77% siendo este valor menor significativamente al deseado desde un punto de vista comercial. Al ser este uno de los principales criterios de selección en los programas de mejoramiento genético se evidencia que los criterios previos de selección están en concordancia con las exigencias del mercado ecuatoriano. Cabe destacar que el alto contenido de amilosa para nuestro mercado brinda un beneficio nutricional como lo explica (Maung et al., 2021) y (Tao et al., 2019) porque estos materiales tienden a tener una menor digestibilidad del almidón, lo cual se traduce en menos niveles de glucosa en sangre.

Al momento de analizar la variable dispersión alcalina se evidencia que no existe diferencia significativa entre los cuatro tratamientos al tener una de dispersión alcalina en promedio entre 6,3 a 7. Comprendiendo que de manera indirecta la

dispersión alcalina determina la temperatura de gelatinización que es directamente proporcional al tiempo de cocción y la capacidad de absorber agua; estudios como los de (Kim et al., 2021) señalan que los materiales con alto contenido de amilosa tienen una estructura molecular más densa del almidón y una temperatura inicial de gelatinización más alta que materiales glutinosos o de menor contenido de amilosa. Coincidiendo con los resultados de esta investigación en la cual se tienen contenidos aparentes de amilosa y grados de dispersión alcalina altos evidenciando que, al ser parámetros medidos frecuentemente, se confirma la correlación significativa de Pearson y es directamente proporcional. En este sentido se concuerda también con la investigación de (Umemoto et al., 2004) que mencionan que la ausencia de la enzima SSIIa en variedades tipo waxy está asociado con una disminución de la temperatura de gelatinización y disminución en la retrogradación del almidón. Finalmente esta investigación concuerda con lo expresado por (Bouchard et al., 2020) y (Roy et al., 2020) en donde menciona que los grados de dispersión alcalina de 6 y 7 comparten un mismo rango de temperatura alta de gelatinización.

Ahora al determinar que prácticamente dos materiales son similares al testigo comercial, el perfil de viscosidad analizado por medio de las variables Breakdown y Setback nos indica que la viscosidad empieza a incrementarse solo cuando los gránulos de almidón está completamente gelatinizados (Balet et al., 2019). Esto concuerda con esta investigación ya que el tratamiento IH-1001 presenta el valor más alto con 1172 cP el cual difiere significativamente de los otros tratamientos y a pesar de que estadísticamente los tratamientos IH-1002 e IH-1003 presentaban un contenido aparente de amilosa significativamente similar al testigo comercial SFL-11 al evaluar la variable Breakdown si se encuentra diferencia estadística presentando un valor más bajo por lo cual evaluar este parámetro ayuda a comprender de mejor

manera la viscosidad o el comportamiento del almidón al ser cocinado tendiendo a ser menos viscoso al presentar un valor más bajo y concuerda con lo expresado por (Shafie et al., 2016) que determinaron la necesidad de evaluar el perfil de viscosidad para explicar de manera más detallada el comportamiento en calidad culinaria al tener contenidos aparentes de amilosa similares. Al revisar la correlación de Pearson existe concordancia con lo expresado ya que existe una correlación significativa e inversamente proporcional con el contenido aparente de amilosa y el grado de dispersión alcalina.

El perfil de viscosidad evalúa también la variable Setback en la cual la viscosidad sube de manera directamente proporcional a este parámetro, expresando según (Balet et al., 2019) un bajo Setback la mayor capacidad de retrogradación. Al evaluar los tratamientos se determinó que para esta variable los tratamientos IH-1003 e IH-1002 no difieren significativamente del testigo comercial SFL-11 sin embargo si difieren significativamente del tratamiento IH-1001 que presenta el menor Setback, sin embargo, con estos datos se puede inferir que la retrogradación del almidón probablemente sea mejor al tener un valor más bajo que el Breakdown pero no tan distante probablemente por los cambios demasiado bruscos que puedan presentarse. Estos resultados son coherentes al evaluar la correlación que existe entre las variables Setback, contenido aparente de amilosa y grado de dispersión alcalina al existir una correlación significativa y directamente proporcional.

Teniendo en cuenta los tres componentes reológicos que se correlacionan entre ellos al realizar la prueba de cocción y determinar la soltura se determinó que el tratamiento IH-1004 que corresponde al testigo comercial presenta el mayor valor que corresponde a un material completamente suelto. Seguido del material IH-1002 que presenta menos de 3 agregados. Este comportamiento concuerda con los

componentes reológicos para el tratamiento IH-1002 y al realizar la correlación se determina que son altamente significativas y directamente proporcionales con el contenido aparente de amilosa y grado de dispersión alcalina lo que concuerda con lo expresado por (Misra et al., 2018) que determinaron una correlación inversamente proporcional entre el contenido de amilosa en el grano y la pegajosidad del grano al momento de cocinarlo. De igual manera coincide con (Biselli et al., 2014) que determinaron que las variedades con mayor contenido de amilosa presentan una calidad de grano con granos firme, separados, secos y con baja palatabilidad. Tomando en consideración esto, podemos destacar que determinar los componentes reológicos son importantes para seleccionar materiales; sin embargo, no reemplazan la prueba de cocción, pero es un medio válido para realizar selección en estados tempranos del programa de mejoramiento genético.

Para la variable textura se observa que el tratamiento IH-1004 que corresponde al testigo comercial y con el mayor porcentaje de amilosa y grado de dispersión presenta una textura dura que concuerda con la investigación de (Biselli et al., 2014) que determinaron que las variedades con mayor contenido de amilosa presentan una calidad de grano con granos firme, separados, secos y con baja palatabilidad. Sin embargo, hay que tomar en cuenta que el material que se encuentra en mejor posición es IH-1002 que presenta una textura consistente y es más palatable. Al evaluar esta variable en comparación con lo determinado por los componentes reológicos se corrobora lo mencionado por Pearson respecto a la correlación de manera proporcional y altamente significativo con la soltura y a su vez con los otros componentes reológicos. Finalmente se concuerda con (Paredes et al., 2021) donde mencionan que la textura se ve influenciado por una serie de factores como el contenido aparente de amilosa, los procesos de poscosecha, la proporción de agua

al cocinar el arroz y la estructura molecular del almidón ya que al tener mayor peso molecular tiene mayor proporción de cadenas cortas de amilosa y más cadenas largas de amilopectina.

Por lo tanto, con esta información podemos rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alterna, debido a que el contenido aparente de amilosa y el perfil de viscosidad y su correlación definen la calidad culinaria del arroz.

5.2. Conclusiones

5.2.1. El contenido aparente de amilosa determinado por medio de NIRs para el material IH-1004 que corresponde al testigo comercial SFL-11 fue de 32,93% siendo el porcentaje más alto; sin embargo, estadísticamente no difiere de los materiales IH-1003 e IH-1002 que presentan un contenido aparente de amilosa de 31,87 % y 30,93 % respectivamente. Estos materiales difieren estadísticamente del material IH-1001 que presentó el valor más bajo con 23,77%. Resultados que concuerdan con los valores esperados ya que uno de los principales objetivos del programa de mejoramiento genético es obtener materiales con un contenido aparente de amilosa intermedio y alto. Para la variable dispersión alcalina mediante el método químico utilizando KOH se determinó que estadísticamente no hay diferencia entre los tratamientos presentando los tres tratamientos un grado de dispersión de 7 y únicamente el material IH-1001 presenta un menor grado de dispersión, en promedio 6,3. Para el perfil de viscosidad mediante RVA se determinó por medio de las variables Breakdown y Setback en las cuales el testigo presentó el valor más bajo para Breakdown con 764,7 cP, seguido de los materiales IH-1003 e IH-1002 con 978 y 1010 cP respectivamente. Para la variable Setback se

determinó que tanto el testigo como los tratamientos IH-1003 e IH-1002 no difieren significativamente y presentan valores de 1141, 1130 y 1071 cP respectivamente. Por lo cual se puede concluir que tomando en cuenta los tres parámetros reológicos se debe proceder a seleccionar los materiales: IH-1002 e IH-1003 ya que presentan parámetros similares al testigo comercial SFL-11.

5.2.2. La calidad culinaria para el parámetro de soltura de las tres líneas promisorias de arroz en relación al testigo comercial considerado como referente nacional determinaron que el testigo SFL-11 presentó la mayor soltura en cocción al no tener ningún agregado, seguido del material IH-1002 que presentó de 1 a 2 agregados y para los tratamientos IH-1003 e IH-1004 presentaron la menor soltura con más de 5 agregados. Para la variable textura se determinó que el testigo es duro en la masticación. El tratamiento IH-1002 presentó una textura consistente en la masticación, lo cual lo vuelve como uno de los tratamientos con mejor calidad culinaria por parámetros de soltura y textura, los tratamientos IH-1001 e IH-1003 presentaron una textura blanda.

5.2.3. Se correlacionaron las propiedades reológicas evaluadas y la prueba de cocción como indicadores de calidad para la selección de materiales como candidatos a variedades comerciales, determinando que todas las variables de los componentes reológicos se correlacionan de manera significativa con la soltura y textura; esta correlación es directamente proporcional. Al analizar estas variables con la calidad culinaria también se puede observar que existe significancia a excepción de la dispersión alcalina.

5.3. Recomendaciones

5.3.1. Sobre la base de los resultados obtenidos se recomienda en estudios posteriores utilizar un testigo de arroz tipo Índica pero con bajo contenido de

amilosa para determinar los extremos y ampliar la visión para verificar cómo se comportan las correlaciones.

5.3.2. Se puede partir del presente estudio para caracterizar todo el programa de mejoramiento genético para determinar la calidad culinaria del mismo y evaluar progenitores.

5.3.3. Finalmente se recomienda a partir de este trabajo de investigación realizar estudios de expresión génica para poder contar con una selección asistida por medio de marcadores moleculares que permitan reducción de costos de avances generacionales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AACC. 2000. American Association of Cereal Chemists. Approved Methods. (11th. ed.). Determination of the pasting properties of rice with the Rapid Visco Analyser. Method 61-02.01. Saint Paul, MN, USA.
- Adegoke, T. V., Wang, Y., Chen, L., Wang, H., Liu, W., Liu, X., Cheng, Y.-C., Tong, X., Ying, J., & Zhang, J. (2021). Posttranslational Modification of Waxy to Genetically Improve Starch Quality in Rice Grain. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(9), Article 9. <https://doi.org/10.3390/ijms22094845>
- Ahmed, F., Abro, T. F., Kabir, M. S., & Latif, M. A. (2020). Rice Quality: Biochemical Composition, Eating Quality, and Cooking Quality. En *The Future of Rice Demand: Quality Beyond Productivity* (pp. 3-24). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37510-2_1
- Alam, M., Lou, G., Abbas, W., Osti, R., Ahmad, A., Bista, S., Ahiakpa, J. K., & He, Y. (2024). Improving Rice Grain Quality Through Ecotype Breeding for Enhancing Food and Nutritional Security in Asia–Pacific Region. *Rice*, 17(1), Article 1. <https://doi.org/10.1186/s12284-024-00725-9>
- Alpuerto, J., Samonte, S. O., Sanchez, D., Croaker, P., Wang, Y.-J., Wilson, L., Christensen, E., Tabien, R., Yan, Z., & Thomson, M. (2022). Genomic Association Mapping of Apparent Amylose and Protein Concentration in Milled Rice. *Agronomy*, 12, 857. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040857>
- Aluko, G., Martinez, C., Tohme, J., Castano, C., Bergman, C., & Oard, J. H. (2004). QTL mapping of grain quality traits from the interspecific cross *Oryza sativa* x *O. glaberrima*. *TAG. Theoretical and Applied Genetics. Theoretische Und Angewandte Genetik*, 109(3). <https://doi.org/10.1007/s00122-004-1668-y>

- Arnao, E., Labrín, N., Ávila, M., Sanz, S., Jayaro, Y., & Graterol, E. (2012). Validación de un marcador microsatélite asociado al gen waxy para la evaluación del contenido de amilosa en accesiones de un banco de germoplasma venezolano. *Interciencia*, 37(9), 684-688.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33925502005>
- Balet, S., Guelpa, A., Fox, G., & Manley, M. (2019). Rapid Visco Analyser (RVA) as a Tool for Measuring Starch-Related Physiochemical Properties in Cereals: A Review. *Food Analytical Methods*, 12(10), 2344-2360.
<https://doi.org/10.1007/s12161-019-01581-w>
- Bassinello, P. Z., de Castro, A. P., & de Oliveira Borba, T. C. (2020). Conventional Breeding for Rice Grain Quality. En *The Future of Rice Demand: Quality Beyond Productivity* (pp. 333-348). Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-030-37510-2_14
- Biselli, C., Cavalluzzo, D., Perrini, R., Gianinetti, A., Bagnaresi, P., Urso, S., Orasen, G., Desiderio, F., Lupotto, E., Cattivelli, L., & Valè, G. (2014). Improvement of marker-based predictability of Apparent Amylose Content in japonica rice through GBSSI allele mining. *Rice*, 7(1), 1. <https://doi.org/10.1186/1939-8433-7-1>
- Bo, G., Lilin, C., Gilbert, R. G., & Li. (2019). Distribution of short to medium amylose chains are major controllers of in vitro digestion of retrograded rice starch. *Food Hydrocolloids*, 96, 634-643.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.06.003>
- Bouchard, J. D., Acevedo, B. A., Díaz, S. F., & Maiocchi, M. G. (2020). Análisis multivariante aplicado al estudio de las propiedades culinarias de arroz

(*Oryza sativa* L.) en variedades largo fino. *Revista de Ciencia y Tecnología*, 33, 33-37. <https://doi.org/10.36995/j.recyt.2020.33.005>

Ceavichay Coello, K. A., & Valenzuela Cobos, J. D. (2012). *Caracterización física, tecnológica y reológica de tres variedades de arroz pilado ecuatoriano, cosecha invierno* [Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/21469/2/tesis%20ceavichay-valenzuela.docx.pdf>

Centro Internacional de Agricultura Tropical, Martínez, C., Cuevas, F., & Medina, L. M. (1989). *Evaluación de la calidad culinaria y molinera del arroz* (Tercera). CIAT.

Custodio, M. C., Cuevas, R. P., Ynion, J., Laborte, A. G., Velasco, M. L., & Demont, M. (2019). Rice quality: How is it defined by consumers, industry, food scientists, and geneticists? *Trends in Food Science & Technology*, 92, 122. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.039>

Dobo, M., Ayres, N., Walker, G., & Park, W. D. (2010). Polymorphism in the GBSS gene affects amylose content in US and European rice germplasm. *Journal of Cereal Science*, 52(3), 450-456. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2010.07.010>

Dossmann, J. (2024). *Calidad culinaria* [Comunicación personal].

Durbha, S. R., Siromani, N., Jaldhani, V., Krishnakanth, T., Thuraga, V., Neeraja, C. N., Subrahmanyam, D., & Sundaram, R. M. (2024). Dynamics of starch formation and gene expression during grain filling and its possible influence on grain quality. *Scientific Reports*, 14(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-57010-4>

FAO. (2023). *Perspectivas Alimentarias*.

<https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/95b2acf6-a48c-42c1-a3b8-d8325c02725d/content>

Ge, J., Chen, X., Zhang, X., Dai, Q., & Wei, H. (2023). Comparisons of rice taste and starch physicochemical properties in superior and inferior grains of rice with different taste value. *Food Research International*, 169, 112886.

<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112886>

Hossain, F., Chhabra, R., Devi, E. L., Zunjare, R. U., Jaiswal, S. K., & Muthusamy, V. (2019). Molecular analysis of mutant granule-bound starch synthase-I (waxy1) gene in diverse waxy maize inbreds. *3 Biotech*, 9(1), 3.

<https://doi.org/10.1007/s13205-018-1530-6>

INEC. (2024, abril). *Encuesta de Superficie Y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC)*. www.ecuadorencifras.gob.ec

Kharabian-Masouleh, A., Waters, D., Reineke, R. F., Ward, R., & Henry, R. J. (2012). SNP in starch biosynthesis genes associated with nutritional and functional properties of rice. *Scientific Reports*, 2.

<https://doi.org/10.1038/srep00557>

Kharshiing, G., & Chrungoo, N. K. (2021). Wx alleles in rice: Relationship with apparent amylose content of starch and a possible role in rice domestication. *Journal of Genetics*, 100(2), 65. <https://doi.org/10.1007/s12041-021-01311-4>

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 (Basel, Switzerland)*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/plants10040804>

- Li, Q., Liu, X., Zhang, C., Jiang, L., Jiang, M., Zhong, M., Fan, X., Gu, M., & Liu, Q. (2018). Rice Soluble Starch Synthase I: Allelic Variation, Expression, Function, and Interaction With Waxy. *Frontiers in Plant Science*, 9, 400345. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01591>
- Liu, X., Ding, Q., Wang, W., Pan, Y., Tan, C., Qiu, Y., Chen, Y., Li, H., Li, Y., Ye, N., Xu, N., Wu, X., Ye, R., Liu, J., & Ma, C. (2022). Targeted Deletion of the First Intron of the Wxb Allele via CRISPR/Cas9 Significantly Increases Grain Amylose Content in Rice. *Rice (New York, N.Y.)*, 15(1), 1. <https://doi.org/10.1186/s12284-021-00548-y>
- Loaiza, J. K., & Larrahondo, J. E. (2017). *Evaluación del contenido de amilosa en arroz mediante espectroscopia de infrarrojo cercano-NIRS*. 67(1), 56-61.
- Lu, B., Li, D., Xu, C., Tang, X., Yang, F., Li, Z., Ding, C., Liu, Z., Ding, Y., & Li, G. (2024). Comparative performance of superior and inferior grains for quality parameters following diversified temperature during grain filling stage. *Journal of Cereal Science*, 115, 103812. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2023.103812>
- M, F., John, D., & Raman, M. (2023). Physicochemical properties, eating and cooking quality and genetic variability: A comparative analysis in selected rice varieties of South India. *Food Production, Processing and Nutrition*, 5(1), Article 1. <https://doi.org/10.1186/s43014-023-00164-x>
- Mao, T., Zhang, Z., Ni, S. J., Zhao, Y. Z., Li, X., Zhang, L. L., Liu, Y., Zhong, C. S., Huang, H., Wang, S. L., & Li, X. (2021). Assisted selection of eating quality progeny of indica (*O. sativa* L. ssp. Indica) and japonica (*O. sativa* L. ssp. Japonica) hybrids using rice starch properties. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 68(2), 411-420. <https://doi.org/10.1007/s10722-020-01044-w>

- Maung, T. Z., Yoo, J.-M., Chu, S.-H., Kim, K.-W., Chung, I.-M., & Park, Y.-J. (2021). Haplotype Variations and Evolutionary Analysis of the Granule-Bound Starch Synthase I Gene in the Korean World Rice Collection. *Frontiers in Plant Science*, 12, 707237. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.707237>
- Misra, G., Badoni, S., Domingo, C. J., Cuevas, R. P. O., Llorente, C., Mbanjo, E. G. N., & Sreenivasulu, N. (2018). Deciphering the Genetic Architecture of Cooked Rice Texture. *Frontiers in Plant Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01405>
- Nakamura, Y., Ono, M., Sawada, T., Crofts, N., Fujita, N., & Steup, M. (2017). Characterization of the functional interactions of plastidial starch phosphorylase and starch branching enzymes from rice endosperm during reserve starch biosynthesis. *Plant Science : An International Journal of Experimental Plant Biology*, 264. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2017.09.002>
- Nakano, T., Crofts, N., Miura, S., Oitome, N. F., Hosaka, Y., Ishikawa, K., & Fujita, N. (2023). Three Starch Synthase IIa (SSIIa) Alleles Reveal the Effect of SSIIa on the Thermal and Rheological Properties, Viscoelasticity, and Eating Quality of Glutinous Rice. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(4), 3726. <https://doi.org/10.3390/ijms24043726>
- Navia Pesantes, O. J. (2023). *Validación de la eficiencia del marcador molecular waxy en la evaluación de la calidad culinaria en materiales de arroz del INIAP*. Universidad Tecnológica ECOTEC.
- Okpala, N. E., Aloryi, K. D., An, T., He, L., & Tang, X. (2022). The roles of starch branching enzymes and starch synthase in the biosynthesis of amylose in

rice. *Journal of Cereal Science*, 104, 103393.

<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2021.103393>

Paredes C, M., Becerra V, V., Donoso Ñ, G., & Loaiza, K. (2021). Sección IV. Calidad. En *100 años del cultivo de arroz en Chile en un contexto internacional 1920-2020* (p. 388).

Paredes C, M., Becerra V, V., Gepts, P., & Donoso Ñ, G. (2021). Capítulo 1. Origen del Arroz. En *100 años del cultivo del arroz en Chile en un contexto internacional 1920-2020*.

Pérez, I., & Montoya, 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), 445-456.

http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0002-192X2009000400009&lng=es&nrm=iso&tlng=es

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), 445-456.

http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0002-192X2009000400009&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Puig, M. L. (2016). *Ambiente y calidad de grano en genotipos de arroz (Oryza sativa) Tipo comercial Largo Ancho* [Universidad Nacional de La Plata].

https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/52218/Documento_completo.pdf?sequence=3&isAllowed=y#:~:text=Escala%3A,grano%20hinchado%20con%20fisuras%20leves.

Roy, S., Banerjee, A., Basak, N., Bagchi, T. B., Mandal, N. P., Patra, B. C., Misra, A. K., Singh, S. K., Rathi, R. S., & Pattanayak, A. (2020). Genetic diversity

- analysis of specialty glutinous and low-amylose rice (*Oryza sativa* L.) landraces of Assam based on Wx locus and microsatellite diversity. *Journal of Biosciences*, 45. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32661213/>
- Shafie, B., Cheng, S. C., Lee, H. H., & Yiu, P. H. (2016). *Characterization and classification of whole-grain rice based on rapid visco analyzer (RVA) pasting profile*. 23(5), 2138-2143.
- Shar, T., Sheng, Z., Ali, U., Fiaz, S., Wei, X., Xie, L., Jiao, G., Ali, F., Shao, G., Hu, S., Hu, P., & Tang, S. (2020). Mapping quantitative trait loci associated with starch paste viscosity attributes by using double haploid populations of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Integrative Agriculture*, 19(7), 1691-1703. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(19\)62726-7](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(19)62726-7)
- Shen, L., Li, J., & Li, Y. (2022). Resistant starch formation in rice: Genetic regulation and beyond. *Plant Communications*, 3(3). <https://doi.org/10.1016/j.xplc.2022.100329>
- Stein, J. C., Yu, Y., Copetti, D., Zwickl, D. J., Zhang, L., Zhang, C., Chougule, K., Gao, D., Iwata, A., Goicoechea, J. L., Wei, S., Wang, J., Liao, Y., Wang, M., Jacquemin, J., Becker, C., Kudrna, D., Zhang, J., Londono, C. E. M., ... Wing, R. A. (2018). Genomes of 13 domesticated and wild rice relatives highlight genetic conservation, turnover and innovation across the genus *Oryza*. *Nature Genetics*, 50(2), Article 2. <https://doi.org/10.1038/s41588-018-0040-0>
- Tao, K., Yu, W., Prakash, S., & Gilbert, R. G. (2019). High-amylose rice: Starch molecular structural features controlling cooked rice texture and preference. *Carbohydrate Polymers*, 219, 251-260. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.05.031>

- Umemoto, T., Aoki, N., Lin, H., Nakamura, Y., Inouchi, N., Sato, Y., Yano, M., Hirabayashi, H., & Maruyama, S. (2004). Natural variation in rice starch synthase IIa affects enzyme and starch properties. *Functional Plant Biology*, 31(7), 671-684. <https://doi.org/10.1071/FP04009>
- V, P., Ali, K., Singh, A., Vishwakarma, C., Krishnan, V., Chinnusamy, V., & Tyagi, A. (2019). Starch accumulation in rice grains subjected to drought during grain filling stage. *Plant Physiology and Biochemistry*, 142, 440-451. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.07.027>
- Wang, J., Hu, P., Lingshang, L., Zinchun, C., Qiaoquan, L., & Cunxu, W. (2018). Gradually Decreasing Starch Branching Enzyme Expression Is Responsible for the Formation of Heterogeneous Starch Granules. *Plant Physiology*, 176(1), 582-595. <https://doi.org/10.1104/pp.17.01013>
- Wang, L., Mao, Y., Zhou, S., Liu, L., Wang, T., Li, C., Wu, H., Zhao, H., Wang, A., Li, S., & Wu, Q. (2024). Understanding the amylose biosynthesis and regulation mechanisms in Tartary buckwheat by the endosperm transcriptome. *International Journal of Biological Macromolecules*, 279(Pt 2). <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.135275>
- Yang, J., Zhang, X., Wang, D., Wu, J., Xu, H., Xiao, Y., Xie, H., & Shi, W. (2024). The deterioration of starch physiochemical and minerals in high-quality indica rice under low-temperature stress during grain filling. *Frontiers in Plant Science*, 14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1295003>
- Zhang, C., Yang, Y., Chen, Z., Chen, F., Pan, L., Lu, Y., Li, Q., Fan, X., Sun, Z., & Liu, Q. (2020). Characteristics of Grain Physicochemical Properties and the Starch Structure in Rice Carrying a Mutated ALK/SSIIa Gene. *Journal of*

Agricultural and Food Chemistry, 68(47).

<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c01471>

Zhang, H., Xu, H., Jiang, Y., Zhang, H., Wang, S., Wang, F., & Zhu, Y. (2021).

Genetic Control and High Temperature Effects on Starch Biosynthesis and Grain Quality in Rice. *Frontiers in Plant Science*, 12, 757997.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2021.757997>

Zhao, L., Zhao, C., Zhou, L., Zhao, Q., Zhu, Z., Chen, T., Yao, S., Zhang, Y., &

Wang, C. (2021). QTL mapping for starch paste viscosity of rice (*Oryza sativa* L.) using chromosome segment substitution lines derived from two sequenced cultivars with the same *Wx* allele. 22(596). <https://doi.org/10.1186/s12864-021-07913-7>

Zheng, Y., Thi, K. M., Lin, L., Xie, X., Khine, E. E., Nyein, E. E., Lin, M. H. W., New,

W. W., Aye, S. S., & Wu, W. (2023). Genome-wide association study of cooking-caused grain expansion in rice (*Oryza sativa* L.). *Frontiers in Plant Science*, 14, 1250854. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1250854>

ANEXOS

Anexo 1. Espectroscopia de reflectancia cercana al infrarrojo



Anexo 2. Prueba de KOH para dispersión alcalina



Anexo 3. Rapid Visco Analyzer Perten 4500



Anexo 4. Prueba de cocción



UNEMI

UNIVERSIDAD ESTATAL DE MILAGRO

¡Evolución académica!

@UNEMIEcuador

