

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**



**“NIVEL DE FERTILIZACIÓN CON NITRÓGENO EN LAS
CARACTERÍSTICAS CULINARIAS DE GENOTIPOS
MEJORADOS DE ARROZ (*Oryza sativa*) DESARROLLADOS
EN LA UNALM”**

Presentada por:

ZEMBE ALEJANDRO SAITO RONCAL

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

Lima - Perú

2022

Document Information

Analyzed document	TESIS MAESTRIA 16-08-2022 ALEJANDRO SAITO RONCAL.pdf (D142973565)
Submitted	8/16/2022 3:10:00 PM
Submitted by	Indira Milagros Betalleluz Pallardel
Submitter email	ibp@lamolina.edu.pe
Similarity	0%
Analysis address	ibp.unalm@analysis.arkund.com

Sources included in the report

Entire Document

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA ESCUELA DE POSGRADO MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS "NIVEL DE FERTILIZACIÓN CON NITRÓGENO EN LAS CARACTERÍSTICAS CULINARIA DE GENOTIPOS MEJORADOS DE ARROZ (Oryza sativa) DESARROLLADOS EN LA UNALM" Presentada por: ZEMBE ALEJANDRO SAITO RONCAL TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO MAGISTER SCIENTIAE EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS Lima - Perú 2022 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA ESCUELA DE POSGRADO MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS "NIVEL DE FERTILIZACIÓN CON NITRÓGENO EN LAS CARACTERÍSTICAS CULINARIA DE GENOTIPOS MEJORADOS DE ARROZ (Oryza sativa) DESARROLLADOS EN LA UNALM" TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO MAGISTER SCIENTIAE Presentada por: ZEMBE ALEJANDRO SAITO RONCAL Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado: Dra. Ana Aguilar Gálvez PRESIDENTE

Dra. Indira Betalleluz Pallardel Dra. Carmen Velezmoro Sánchez ASESOR CO-ASESOR Mg.Sc. Walter Frascisco Salas Valerio Mg.Sc. Beatriz Hatta Sakoda MIEMBRO MIEMBRO

AGRADECIMIENTOS A mis padres por el constante apoyo, confianza y ánimo durante todos estos años y en especial durante el desarrollo de esta investigación. Gracias a quienes contribuyeron en la presente investigación: las Docentes Dra. Indira Betalleluz, Dra. Carmen Velezmoro por sus asesorías y enseñanzas. A las Mg. Sc. Patricia Martínez e Ing. Fiorela Peña, por el gran apoyo durante el trabajo en laboratorio. A la Dra. Elizabeth Heros y la Ing. Martha Ibañez por brindarme la oportunidad de acceder a los genotipos en estudio y abrirme las puertas de los laboratorios del Centro de Investigación en Cereales y Granos Andinos. A mi esposa Lizeth Puma, mis hijos Eduardo y Akemi.

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

**“NIVEL DE FERTILIZACIÓN CON NITRÓGENO EN LAS
CARACTERÍSTICAS CULINARIAS DE GENOTIPOS
MEJORADOS DE ARROZ (*Oryza sativa*) DESARROLLADOS
EN LA UNALM”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO
MAGISTER SCIENTIAE**

Presentada por:

ZEMBE ALEJANDRO SAITO RONCAL

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

**Dra. Ana Aguilar Gálvez
PRESIDENTE**

**Dra. Indira Betalleluz Pallardel
ASESOR**

**Dra. Carmen Velezmoro Sánchez
CO-ASESOR**

**Mg.Sc. Walter Francisco Salas Valerio
MIEMBRO**

**Mg.Sc. Beatriz Hatta Sakoda
MIEMBRO**

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por el constante apoyo, confianza y ánimo durante todos estos años y en especial durante el desarrollo de esta investigación.

Gracias a quienes contribuyeron en la presente investigación: a la Dra. Indira Betalleluz, Dra. Carmen Velezmoro por sus asesorías y enseñanzas. A las Mg. Sc. Patricia Martínez e Ing. Fiorela Peña, por el gran apoyo durante el trabajo en laboratorio. A la Dra. Elizabeth Heros y la Ing. Martha Ibañez por brindarme la oportunidad de acceder a los genotipos en estudio y abrirme las puertas de los laboratorios del Centro de Investigación en Cereales y Granos Andinos.

A mi esposa Lizeth Puma, mis hijos Eduardo y Akemi.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ARROZ	3
2.1.1 Taxonomía y filogenia del arroz	3
2.1.2 Producción de arroz en Perú.....	5
2.1.3 Variedades de arroz	5
2.2 ESTRUCTURA DEL GRANO DE ARROZ.....	7
2.2.1 Macroestructura del grano	8
a. Cáscara	8
b. Pericarpio, tegumento y nucelo.....	9
c. Endospermo	9
d. Embrión.....	11
2.2.2 Microestructura del grano.....	12
2.2.3 Nanoestructura del grano de arroz.....	12
a. Amilosa y amilopectina	12
b. Formación de conglomerados en la amilopectina	14
2.2.4 Interacción con otros componentes	16
2.3 PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN DEL ARROZ.....	16
2.3.1 Proceso productivo	17
2.3.2 Composición del grano de arroz	18
2.4 CALIDAD DEL GRANO DE ARROZ.....	20
2.4.1 Calidad física.....	20
a. Dimensiones y forma.....	20
b. Apariencia translúcida.....	22
2.4.2 Calidad de molienda.....	22
2.4.3 Calidad de cocción.....	24
2.4.4 Calidad culinaria	24
a. Gelatinización y retrogradación del almidón	24
b. Contenido amilosa/amilopectina.....	27
c. Temperatura de gelatinización	27
d. Perfil de pasta	30
2.4.5 Calidad de cocción.....	33

a. Tiempo de cocción.....	33
b. Capacidad de absorción de agua y pérdida de sólidos	35
2.4.6 Fertilización con nitrógeno y calidad del grano	35
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN	37
3.2 MATERIA PRIMA	37
3.3 MATERIALES, REACTIVOS Y EQUIPOS	38
3.3.1 Materiales.....	38
3.3.2 Reactivos.....	38
3.3.3 Equipos.....	39
3.4 MÉTODOS DE ANÁLISIS	39
3.4.1 Análisis aplicado al arroz como grano entero	39
a. Rendimiento molinero.....	39
b. Dimensiones del grano de arroz.....	40
c. Peso de mil granos y contenido de grano tizoso.....	40
3.4.2 Análisis de la harina de arroz	40
a. Contenido de proteína	40
b. Contenido de amilosa	40
c. Análisis térmico por calorimetría de barrido diferencial.....	40
d. Propiedades de pasta	41
e. Capacidad de absorción de agua, capacidad de hinchamiento y solubilidad de la harina de arroz.....	42
3.5 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	42
3.5.1 Descascarillado y pulido.....	44
3.5.2 Molienda y caracterización.....	44
3.6 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO	44
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	47
4.1.1 Dimensiones	47
4.1.2 Peso de grano y contenido de grano tizoso	50
4.1.3 Relación entre indicadores de calidad física	53
4.2 CALIDAD DE MOLIENDA	53
4.3 COMPOSICIÓN DEL GRANO	57

4.3.1	Contenido de amilosa.....	57
4.3.2	Contenido de proteína	60
4.4	CALIDAD DE COCCIÓN.....	61
4.5	CARACTERÍSTICAS CULINARIAS.....	64
4.5.1	Parámetros térmicos	64
4.5.2	Perfil de pasta	69
4.5.3	Relación entre las características culinarias	76
V.	CONCLUSIONES.....	84
VI.	RECOMENDACIONES	86
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	87
VIII.	ANEXOS	101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Variedades desarrolladas por el INIA en la última década	7
Tabla 2. Composición del arroz en 100 g a 14 por ciento de humedad.....	19
Tabla 3. Contenido de vitaminas y micronutrientes de las diferentes fracciones del grano de arroz en 100 g a 14 por ciento de humedad	19
Tabla 4. Clasificación del grano de arroz según sus dimensiones	21
Tabla 5. Clasificación del grano de arroz según su forma	21
Tabla 6. Clasificación del arroz pulido.....	23
Tabla 7. Parámetros extraídos de un perfil de pasta.....	31
Tabla 8. Combinación de tratamientos para el diseño experimental.....	45
Tabla 9. Indicadores de calidad física del grano de arroz	48
Tabla 10. Relación entre los indicadores de calidad física.....	53
Tabla 11. Rendimiento de grano, rendimiento de grano entero y contenido de grano entero en arroz pulido	54
Tabla 12. Correlaciones entre los indicadores de calidad de molienda y física	56
Tabla 13. Contenido de amilosa y proteína del grano de arroz	58
Tabla 14. Capacidad de absorción de agua, solubilidad y capacidad de hinchamiento según el genotipo y nivel de nitrógeno	62
Tabla 15. Correlaciones entre el contenido de amilosa, contenido de proteína con la capacidad de absorción de agua, capacidad de hinchamiento y solubilidad de la harina de arroz	63
Tabla 16. Propiedades térmicas de arroz reportadas en la literatura	64
Tabla 17. Propiedades térmicas de la harina de arroz determinadas por calorimetría diferencial de barrido.....	65
Tabla 18. Correlación entre las temperaturas y entalpías de gelatinización con los indicadores de calidad de molienda, cocción, contenido de amilosa y proteína	68
Tabla 19. Resultados del perfil de pasta según el genotipo y nivel de nitrógeno.....	71
Tabla 20. Coeficientes de Correlación entre las propiedades de pasta e indicadores de calidad de cocción, DSC y contenidos de amilosa y proteína.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Aspecto del grano de arroz de tres tipos	4
Figura 2. Evolución de la Producción de arroz (A) e importación (B) en el Perú	6
Figura 3. Estructura del grano de arroz	8
Figura 4. Corte transversal en la región media del grano maduro de arroz.....	10
Figura 5. Apariencia de las células en el endospermo de arroz.....	11
Figura 6. Estructura química de la amilopectina y amilosa.....	12
Figura 7. Modelo de conglomerados para la estructura de la amilopectina.	13
Figura 8. Organización de las cadenas de amilopectina en conglomerados.....	14
Figura 9. Organización estructural del gránulo de almidón	15
Figura 10. Estructura del arroz según su proceso.....	16
Figura 11. Estructura de un molino de rodillos de caucho.	18
Figura 12. Proceso de gelatinización del gránulo de almidón.	25
Figura 13. Termograma obtenido por DSC	28
Figura 14. Perfil de pasta obtenido de almidones y harinas de cereales	30
Figura 15. Resultados del índice de expansión alcalina	34
Figura 16. Diseño experimental de la investigación.....	43
Figura 17. Parámetros de calidad física del grano.....	49
Figura 18. Peso de mil granos (A) y proporción de granos tizosos (B) según el genotipo y nivel de nitrógeno	51
Figura 19. Rendimiento de grano (A) y contenido de grano entero en arroz pulido (B) según el genotipo y el nivel de nitrógeno	55
Figura 20. Contenido de amilosa (A) y contenido de proteína (B) del grano de arroz según el genotipo y el nivel de nitrógeno	58
Figura 21. Capacidad de absorción de agua (A) y solubilidad (B) de la harina de arroz según el genotipo y nivel de nitrógeno	62
Figura 22. Propiedades térmicas de la harina de arroz determinadas por calorimetría diferencial de barrido. Temperatura de comienzo de gelatinización (A), pico (B), de culminación (C) y entalpía de gelatinización (D).....	66
Figura 23. Perfiles de pasta de la harina de arroz según el genotipo y nivel de nitrógeno	70

Figura 24. Temperatura de pasta (A) y viscosidad pico (B) del arroz según el genotipo y nivel de nitrógeno	72
Figura 25. Viscosidad mínima (A) y viscosidad de pasta caliente “HPV” (B) del arroz según genotipo y nivel de nitrógeno.....	73
Figura 26. Viscosidad de pasta fría “CPV” (A) y Viscosidad final (VF) del perfil de pasta del arroz según el genotipo y nivel de nitrógeno.....	74
Figura 27. Breakdown “BD” (A) y setback (B) del arroz según el genotipo y el nivel de nitrógeno.....	74
Figura 28. Relación entre los parámetros del perfil de pasta con el contenido de amilosa en los genotipos de arroz	76
Figura 29. Clasificación de los genotipos de arroz según los indicadores de calidad....	77
Figura 30. Importancia de los Componentes en el PCA en el grupo de genotipos A, B y E (A) y en el grupo C y D (B)	79
Figura 31. Byplot para las variables estudiadas en las dos primeras componentes del ACP en los genotipos A, B y E	80
Figura 32. Byplot para las variables estudiadas en las dos primeras componentes del ACP en los genotipos C y D.....	82

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: ANOVA y LSD para la longitud del grano de arroz	101
Anexo 2: ANOVA y LSD para el ancho del grano de arroz	102
Anexo 3: ANOVA y LSD para la relación longitud/ancho grano de arroz.....	103
Anexo 4: ANOVA y LSD para el peso de mil granos del arroz	104
Anexo 5: ANOVA y LSD para el contenido de granos tizosos del arroz	105
Anexo 6: ANOVA y LSD para el rendimiento de grano posterior al descascarillado	106
Anexo 7: ANOVA y LSD para el rendimiento de grano entero	107
Anexo 8: ANOVA y LSD para el rendimiento de grano entero en arroz pulido	108
Anexo 9: ANOVA y LSD para el contenido de humedad del arroz	109
Anexo 10: ANOVA y LSD para el contenido de amilosa del arroz	110
Anexo 11: ANOVA y LSD para el contenido de proteína del arroz.....	111
Anexo 12: ANOVA y LSD para la capacidad de absorción de agua del arroz.....	112
Anexo 13: ANOVA y LSD para solubilidad del arroz	113
Anexo 14: ANOVA y LSD para la capacidad de hinchamiento del arroz.....	114
Anexo 15: ANOVA y LSD para la temperatura de comienzo de gelatinización	115
Anexo 16: ANOVA y LSD para la temperatura pico de gelatinización	116
Anexo 17: ANOVA y LSD para la temperatura de culminación de gelatinización.....	117
Anexo 18: ANOVA y LSD para la entalpía de gelatinización.....	118
Anexo 19: ANOVA y LSD para temperatura de pasta	119
Anexo 20: ANOVA y LSD para la viscosidad pico.....	120
Anexo 21: ANOVA y LSD para la viscosidad mínima	121
Anexo 22: ANOVA y LSD para la viscosidad de pasta caliente	122
Anexo 23: ANOVA y LSD para la viscosidad de pasta fría	123
Anexo 24: ANOVA y LSD para la viscosidad final	124
Anexo 25: ANOVA y LSD para el Breakdown.....	125
Anexo 26: ANOVA y LSD para el Setback.....	126

RESUMEN

El arroz es uno de los productos vegetales de mayor producción en el Perú. Para satisfacer la demanda interna, es promovido el desarrollo de nuevas variedades y la aplicación de mejores técnicas de cultivo, como la adición de nitrógeno de fertilización. Para su comercialización también es necesario que el grano presente las características de calidad esperadas por el consumidor. El objetivo de la investigación fue evaluar el efecto del nivel de fertilización con nitrógeno sobre las propiedades relacionadas a la calidad culinaria de cuatro variedades mejoradas de arroz (*Oryza sativa* L.) desarrolladas en la Universidad Nacional Agraria La Molina. Se estudiaron cinco variedades de arroz desarrolladas por el Centro de Investigación en Cereales y Granos Andinos de la Universidad Nacional Agraria La Molina (PALM 52-53-4-2, PALM 25-42-3-4, PALM 25-59-6-1, PALM 11-41-3-2 y la variedad comercial “La Puntilla”) cultivados bajo cuatro niveles de nitrógeno: 0, 120, 240 y 360 kg/Ha. Se determinó las características físicas del grano (largo, ancho, relación largo/ancho, peso de mil granos, y proporción de granos tizosos), rendimiento de grano y de grano entero, contenido de amilosa, contenido de proteína, capacidad de absorción de agua, solubilidad y capacidad de hinchamiento de la harina de arroz, propiedades térmicas por calorimetría diferencial de barrido y propiedades del perfil de pasta. Al incrementar el nivel de nitrógeno se encontró una mejora en las características físicas del grano, con mayor longitud, menor contenido de granos tizosos, mayor rendimiento de grano y de grano entero, mayor contenido de proteína y amilosa, mayor solubilidad y menor capacidad de absorción de agua, menor entalpía de gelatinización, mayor Setback y menor Viscosidad Pico y Breakdown en el perfil de pasta, lo que sugiere la obtención de granos más firmes y de menor adherencia.

Palabras clave: arroz, características culinarias, perfil de pasta, calidad de molienda

ABSTRACT

Rice is one of the most produced crops in Perú. To satisfy the domestic demand, it's being promoted new varieties' develop y application of better cultivation practices, as the add of fertilization nitrogen. To introduce the grain in the market is needed also that the grain shows quality features expected by the consumer. The main of this research was to evaluate the fertilization nitrogen effect upon the properties related to cooking quality of four enhanced rice varieties (*Oryza sativa* L.) developed in the Universidad Nacional Agraria La Molina. It studied five rice varieties developed by the "Centro de Investigación en Cereales y Granos Andinos" belonging "Universidad Nacional Agraria La Molina" (PALM 52-53-4-2, PALM 25-42-3-4, PALM 25-59-6-1, PALM 11-41-3-2 y la variedad comercial "La Puntilla") cultivated in four nitrogen levels: 0, 120, 240, and 360 kg/Ha. It determined the physical features of grain (length, width, ratio length/width, a thousand grains weight, and chalky grains proportion), grain yield and whole grain yield, amylose content, protein content, water absorption capacity, solubility, swelling power of rice flour, thermal properties by Differential Scanning Calorimeter and Pasting Profile properties. It found with nitrogen level increases there were a improvement in grain physical features, with higher length, less chalky grains proportion, higher grain yield and whole grain yield, higher amylose and protein content, higher solubility and less water absorption capacity, less enthalpy gelatinization, higher Setback and less peak viscosity and breakdown in the Pasting Profile. This suggests when nitrogen level increases it's possible to achieve harder and firmer grains and less sticky.

Key words: rice, cooking quality, pasting profile, milling quality

I. INTRODUCCIÓN

El arroz es uno de los cereales más consumidos en el Perú, presentando el consumo per cápita más alto en América del Sur (MINAGRI 2010). Entre los años 2004 a 2014 la producción nacional de arroz incrementó en 55,8 por ciento, principalmente debido al incremento en el área sembrada y en menor medida a la mejora en el rendimiento de cultivo (León 2015, MINAGRI 2017), haciendo del arroz el segundo cultivo en superficie sembrada, superado sólo por el maíz (MINAGRI 2020), esto ha llevado al Perú a ser el tercer productor de arroz en América después de Estados Unidos y Brasil, y en rendimiento de cultivo, tras Uruguay y Estados Unidos (Martínez *et al.* 2014).

En el contexto del calentamiento global existen desafíos para el cultivo de arroz, como la demanda de agua para el cultivo y aumento de la temperatura ambiental, generando disminución en el rendimiento de cultivo, calidad de grano y mayor proliferación de plagas y enfermedades (González y Alonso 2016; Bao 2019b). Para afrontar esta situación se recurre al mejoramiento en la tecnología de cultivo y de variedades de arroz.

En la tecnología de cultivo ha sido estudiado el efecto en la adición de macro y micronutrientes en el suelo (Nori *et al.* 2008; Kumar *et al.* 2017), como la adición de fertilizantes al suelo, principalmente nitrógeno y en menor proporción fósforo y potasio, incrementando el rendimiento de cultivo hasta un 20 por ciento (Zapata 2015; Cortegana 2017; Place *et al.* 1970, Cortegana 2017; Rodríguez 2017). Por otro lado en el Perú el Instituto Nacional de Innovación Agraria viene desarrollando variedades mejoradas de arroz, siendo la última la variedad “Capoteña” en 2020 (INIA 2020). La Universidad Nacional Agraria La Molina a través del Programa de Investigación y Proyección Social en Cereales y Granos Nativos también estudia el desarrollo de nuevos genotipos de arroz más tolerantes a los problemas generados por el fenómeno del calentamiento global (Heros 2018).

Aunque mejorar el rendimiento de cultivo es un factor deseado por los productores (Torres & Martínez 2010), para comercializar el grano es necesario que éste reúna las características de calidad deseadas por el consumidor (Choi *et al.* 2018, Pérez y Montoya

2009), entre las que resaltan la apariencia física, propiedades culinarias o de cocción, propiedades sensoriales y valor nutricional (Fitzgerald *et al.* 2009). Estas propiedades pueden ser analizadas mediante pruebas sensoriales, atributos de textura como la consistencia y adhesividad (Meullenet *et al.* 2000; Srisawas y Jindal 2007), y técnicas instrumentales como la calorimetría de barrido diferencial (DSC) y perfil de viscosidad de pasta para caracterizar el almidón del grano de arroz (Kong *et al.* 2015; Kaminski *et al.* 2013; Ferreira *et al.* 2017), permitiendo estimar el grado de preferencia del público respecto a la calidad de cocción del grano (Allahgholipour *et al.* 2006).

Por ello la caracterización de las propiedades relacionadas a la calidad culinaria de los genotipos de arroz desarrollados en la UNALM proporciona información valiosa sobre la calidad del grano al momento de su preparación por el consumidor, permitiendo hacer una selección de genotipos que no sólo presenten alto rendimiento de cultivo sino también mejores características de calidad culinaria (García *et al.* 2014). Además el efecto del nivel de nitrógeno en la fertilización, proporcionaría información sobre la posibilidad de corrección en la calidad del suelo para mejorar las características culinarias del grano de arroz como acción correctiva, beneficiando al productor de arroz.

Por lo expuesto, en la presente investigación se evaluó el efecto del nivel de fertilización con nitrógeno sobre las características culinarias de cuatro variedades mejoradas de arroz (*Oryza sativa*) desarrolladas en la Universidad Nacional Agraria La Molina y una variedad comercial. Para ello se plantearon los siguientes objetivos:

- Determinar el efecto en el contenido de proteína y amilosa en los genotipos PALM 52-53-4-2, PALM 25-42-3-4, PALM 25-59-6-1, PALM 11-41-3-2 y la variedad comercial “La Puntilla” cultivados en los niveles de fertilización con nitrógeno 0, 120, 240, y 360 kg/ha suelo.
- Evaluar el efecto del nivel de fertilización con nitrógeno sobre la calidad física, molinera y culinaria del grano de arroz
- Analizar la relación entre la composición y las características de calidad en los genotipos mejorados de arroz.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL ARROZ

2.1.1 Taxonomía y filogenia del arroz

El arroz es un cereal perteneciente a la familia de las Gramíneas junto al trigo, maíz, cebada y otros cultivos caracterizados por la formación de espiguillas. Taxonómicamente el arroz pertenece a las Fanerógamas tipo Espermatofitas, subtipo Angiospermas, clase Monocotiledóneas, orden Glumifloras, familia Gramíneas, subfamilia Panicoideas, tribu Oryzae, y género *Oryza* (Degiovanni *et al.* 2010).

El género *Oryza* está compuesto por 24 especies agrupadas en cuatro complejos: *O. sativa*, *O. officinalis*, *O. ridleyi* y *O. granulata* (Degiovanni *et al.* 2010, Vaughan *et al.* 2005). La especie *O. sativa* agrupa las dos especies cultivadas *O. sativa* (Asiático), *O. glaberrima* (Africano), y las especies silvestres *O. rufipogon* (arroz silvestre común), *O. nivara* (arroz silvestre anual) distribuidas en Asia, *O. barthii* (arroz de Barth), *O. longistaminata* (arroz de estambre largo) distribuidos en África tropical, *O. meridionalis* (arroz silvestre australiano) y *O. glumaepatula* (arroz silvestre sudamericano) (Wei & Huang 2019).

Dentro de la especie *O. sativa* L se distinguen las subespecies Indica y Japónica diferenciadas en la forma del grano y su textura luego de cocción. En la Figura 1 se presente el aspecto de sus granos. El arroz tipo Indica, está distribuida en los trópicos y subtropicos (Sur de China, India, Taiwán, y Sri Lanka), tiene mayor altura de planta, hojas largas de color verde pálido, y grano de tamaño mediano a largo, mientras que el tipo Japónica está distribuida en zonas templadas (Japón, Korea y Norte de China), presenta menor tamaño, hojas de color verde intenso y granos más redondos de tamaño corto y ancho. Se distingue una tercera subespecie Javánica, diferenciada en la morfología de la planta y relacionada con la subespecie Japónica, por lo que además recibe el nombre de Japónica tropical (Degiovanni *et al.* 2010, Wei & Huang 2019, Acevedo *et al.* 2006).



Figura 1. Aspecto del grano de arroz de tres tipos: a) Japónica, b) Indica y c) Indica de alto contenido de amilosa

Fuente: Kasai *et al.* (2007)

El origen del arroz podría datar de hace 0,64 millones años (ma) para la separación de las especies *O. glaberrima* y *O. sativa* de un ancestro común y 0,44 ma para la divergencia entre las sub especies Indica y Japónica (Vaughan *et al.* 2014). La domesticación del arroz se considera originario en la región de la península de Indochina (actual Vietnam, Camboya y Laos) cercana al sur de la India, donde las condiciones ambientales son más favorables para este cultivo y hay numerosas especies silvestres del género *Oryza*, y donde la literatura Hindú (1300 a 1000 AC) describen las prácticas agronómicas de la planta (Degiovanni *et al.* 2010).

El arroz se propagó del sur de la India hacia China alrededor del 3000 AC, y desde este país a Filipinas en el 2000 AC y al Japón en el siglo I AC. Los comerciantes árabes llevarían el arroz desde la India a Medio Oriente alrededor del IX AC, a Egipto en el IV AC, y entre el VIII y X a África oriental, Marruecos y España al invadir la península Ibérica. Posteriormente los colonizadores holandeses y portugueses llevarían el arroz asiático hacia el oeste de África, donde ya se cultivaba *Oryza glaberrima* (Degiovanni *et al.* 2010, Acevedo *et al.* 2006).

La colonización española trajo el cultivo de arroz a Sudamérica, donde existieron cultivos en 1580 en el valle del río Magdalena (Colombia). En América del Norte colonizadores holandeses y portugueses introdujeron el arroz en la colonia de Carolina, igualmente trayendo el arroz tipo Indica (Degiovanni *et al.* 2010).

2.1.2 Producción de arroz en Perú

El arroz es el principal producto agrícola producido en el Perú representando el 11,9 por ciento del valor bruto de producción agrícola, desplazando así a un cultivo nativo como la papa, de forma que entre los años 2011 y 2020 hubo un crecimiento promedio anual de 1,2 por ciento, como muestra la Figura 2 A, debido a la amplificación en la superficie sembrada y en menor medida a la mejora en el rendimiento de cosecha (MIDAGRI 2021).

El arroz en cáscara es producido en 18 de los 24 departamentos del Perú, pero el 71,4 por ciento de la producción se concentra en cinco departamentos pertenecientes a la Costa Norte y Selva Central: San Martín (25,2 por ciento), Piura (12,2 por ciento), Lambayeque (12,4 por ciento), Amazonas (13,7 por ciento), La Libertad (11,1 por ciento), y en menor medida Arequipa (8,3 por ciento). Por otro lado se observó un incremento en las importaciones de arroz, como muestra la Figura 2 B, proveniente principalmente del Uruguay y Brasil, destinado a un nicho de mercado que demanda un grano de mejor calidad, principalmente restaurantes (MIDAGRI 2021).

El rendimiento de cultivo en el Perú tuvo en 2016 una media de 7,55 ton/h, superior al rendimiento promedio mundial (MINAGRI 2017), donde la región Arequipa y las regiones costeras presentan los mayores rendimientos debido a una mayor tecnificación del cultivo. No obstante se observó una fuerte disminución en la producción entre el año 2019 (-10,4 por ciento), debido a un menor interés en los productores a aumentar el área sembrada ocasionado por una disminución en los precios en chacra del arroz en el 2018 al presentarse un exceso en la oferta del grano en ese año, a partir del 2020 se observó nuevamente un crecimiento en la producción (MIDAGRI 2021).

2.1.3 Variedades de arroz

El desarrollo de nuevas variedades en el Perú tiene por objetivos generar cultivares con mayor rendimiento de cosecha, calidad de molienda y resistencia a plagas y enfermedades, labor desarrollada principalmente por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Para esta tarea han sido utilizados germoplasmas provenientes de centros internacionales como progenitores en programas locales de cruzamiento (Martínez *et al.* 2014), principalmente del Instituto Internacional de Investigación en Arroz (International Rice Research Institute) “IRRI” en Filipinas y del Centro Internacional de Agricultura Tropical “CIAT” en Colombia (Becerra & Cigüeñas 2007).

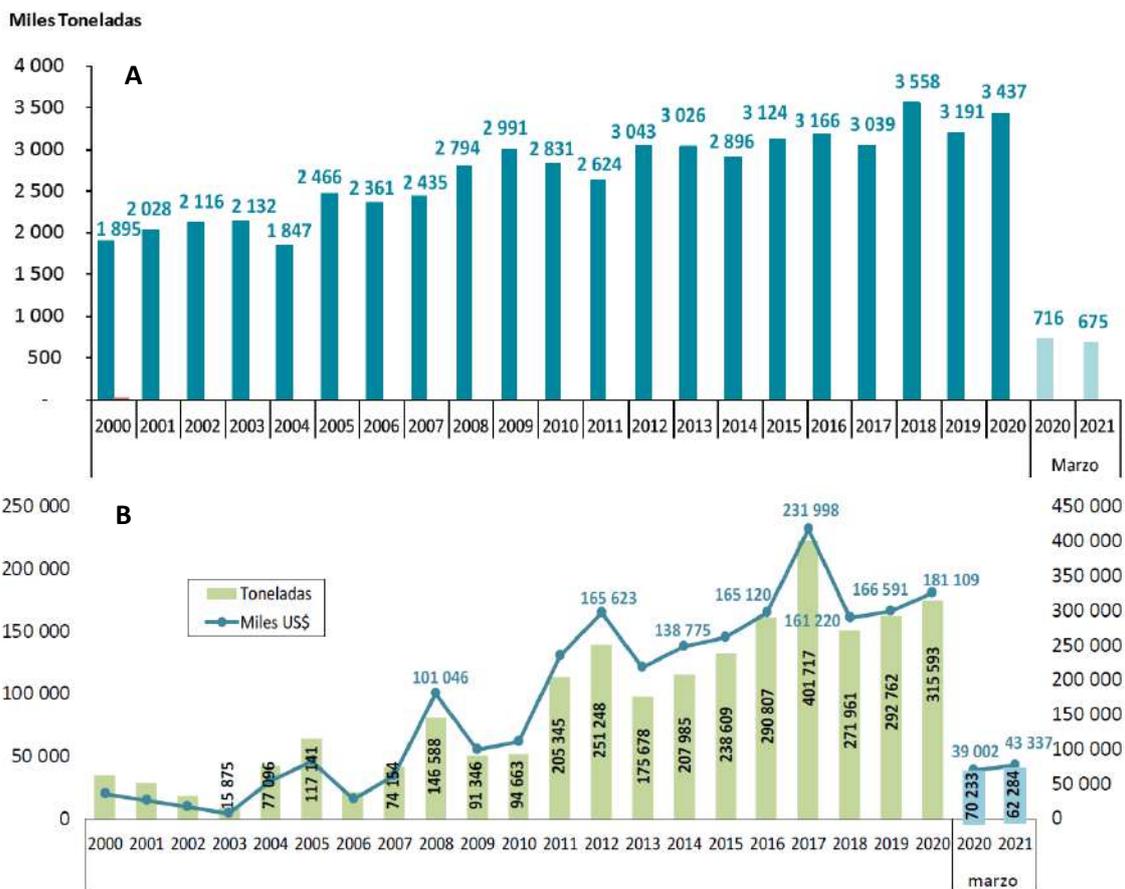


Figura 2. Evolución de la Producción de arroz (A) e importación (B) en el Perú
Fuente: MIDAGRI (2021)

El Perú fue el primer país en Sudamérica en tener una dependencia de investigación de arroz: en 1927 fue creada la Estación Experimental Agrícola del Norte (EEAN), iniciando la evaluación de cultivares traídos de Asia y Norteamérica y en 1966 introdujo la variedad IR8 proveniente del IRRI. Posteriormente en 1968 el Programa Nacional de Investigación en Arroz del INIA lanzó nuevas a partir del cruce con germoplasmas provenientes del IRRI, como Chancay, Naylamp, Inti en 1974 y VIFLR en 1983, siendo ésta última la variedad más cultivada durante la década de 1990 (Martínez *et al.* 2014).

En 1995 fue lanzada la variedad IR43, proveniente del IRRI, de alto rendimiento y que se convirtió en la variedad más cultivada en la costa norte desde el año 2000 (Sanjinez & Julca 2019). En la última década el INIA constantemente ha generado nuevas variedades, mostradas en la Tabla 1, donde se observa las mejoras logradas en el rendimiento de cultivo y calidad de molienda (expresada en porcentaje de grano entero).

Tabla 1. Variedades desarrolladas por el INIA en la última década

Año	Variedad	Progenitores	Orientación	RC ¹ (ton/ha)	PMG ² (g)	RGE ³ (%)	RGQ ⁴ (%)
2008	INIA 505 "Ecoarroz"	"INTI" (Perú)/ BKNLR 75091-CNT-B-3-RST-40- 2-2	Selva baja	5,5	29,4	48,9	20,1
2008	INIA 506 "JAR I"	Cruce: "P 3085"/ "IR 5853-118-5 + IR 19743- 25-2-2-3-1"	Selva Baja	5,5	25,7	50,2	19,9
2009	INIA 508 "Tinajones"	Triple cruce: KN 3-2-3-2 (Tailandia), IR 43 (IRRI), Porvenir 95 (CIAT)	Costa	15	28,1	61	10
2010	INIA 509 "La Esperanza"	Triple cruce: CT7948- AM-14-3-1, CT9038-5- 5C-8C-3C-1C-M, "Selva Alta"	Selva Alta	11,5	27	62	10
2010	INIA 510 "Mallares"	Triple cruce: "Huallaga- INIA", IR 43 (IRRI), "Cypress" (Louisiana, EEUU)	Costa	14,4	28,6	58	14
2014	INIA 511 "La Victoria"	Triple cruce: CT18141, hibridación PSBRC 70 + Capirona-INIA, FLO0593-6P-1-3P-M	Selva Alta irrigada	9,5	26,5	64	8
2015	INIA 512 "Santa Clara"	Triple cruce: CT18141, hibridación PSBRC 70 + Capirona-INIA, FLO0593-6P-1-3P-M	Selva Alta	10	28,4	64	8
2016	INIA 513 "La Puntilla"	"IR 1529-ECIA" (Cuba), "Santa Elena" (Perú)	Costa	12,7	28,3	65,2	7,1
2016	INIA 515 "Capoteña"	"IR 1529-ECIA" (Cuba)/ "Fedearroz 2000" (Colombia)	Costa	12	28,6	63,7	8,2

¹: Rendimiento de Cultivo (toneladas/ha), ²: Peso de mil granos, ³: rendimiento de grano entero,

⁴: rendimiento de grano quebrado

FUENTE: Elaborado a partir de información publicada en <http://repositorio.inia.gob.pe/>

2.2 ESTRUCTURA DEL GRANO DE ARROZ

Según Patindol *et al.* (2015) la estructura del grano de arroz puede categorizarse en tres niveles: nano, micro y macroestructura. La nanoestructura comprende dimensiones desde 7 Å a 400 nm está relacionada a la estructura molecular, la microestructura estudia la morfología del gránulo de almidón, y la macroestructura comprende lo que es visible al ojo humano.

2.2.1 Macroestructura del grano

Al igual que otros cereales, como el trigo y maíz, el fruto del arroz está compuesto por la cubierta externa protectora o cáscara y el fruto interno o cariósido. La cariósido a su vez está conformada por el pericarpio, cubierta seminal o tegumento, nucelo, endospermo y embrión (Krishnan & Dayanandan 2009), tal como ilustra la Figura 3.

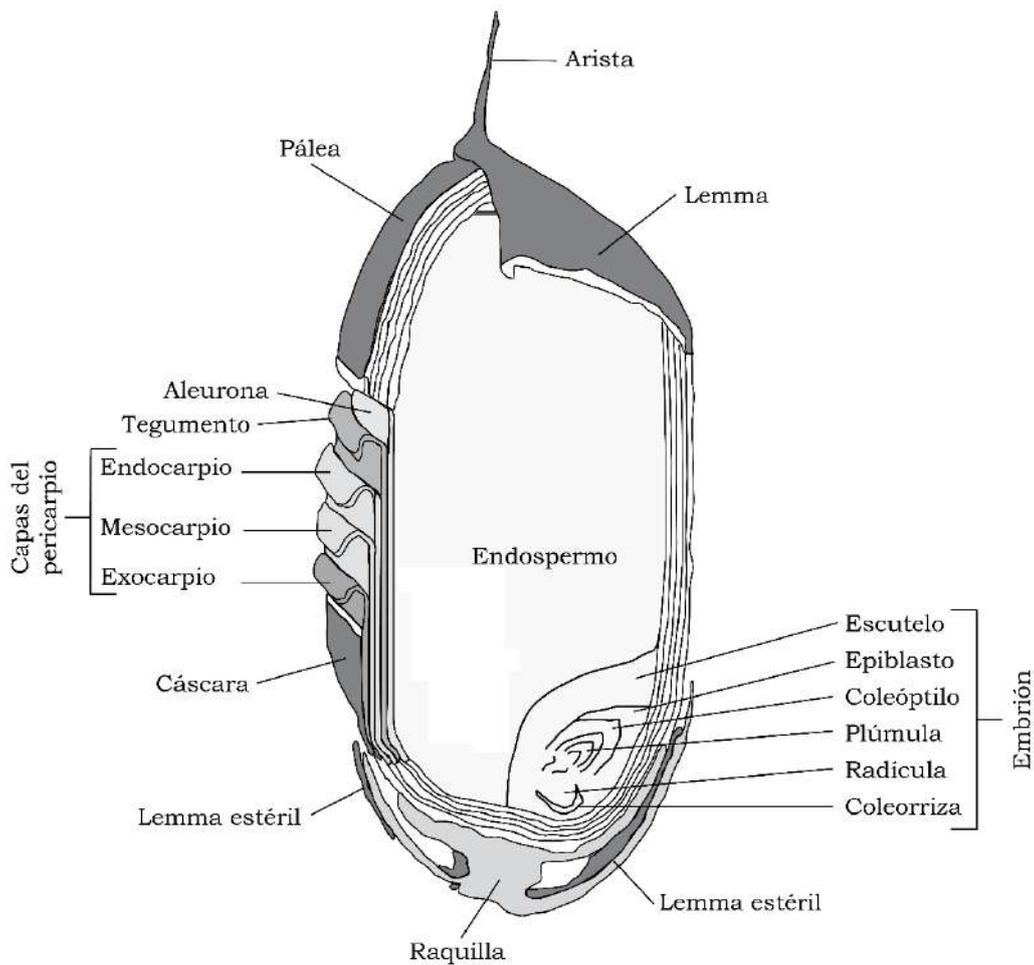


Figura 3. Estructura del grano de arroz

Fuente: Degiovanni et al. (2010)

a. Cáscara

La cáscara o gluma es la cubierta externa de la cariósido o fruto, conformando entre 16 a 28 por ciento del peso del arroz entero con una media del 20 por ciento. Está formada por dos hojas modificadas o lemas unidas por una estructura en forma de gancho: la pálea o lema fértil (de trayectoria dorsal) y el lema estéril (de trayectoria ventral), como muestra la Figura 3 (Juliano & Túaño 2019, Degiovanni *et al.* 2010).

La lema y la palea a su vez están formadas por cuatro capas estructurales: una capa epidérmica externa (de células altamente lignificadas), fibras hipodérmicas (de dos o tres células de espesor), células parenquimatosas y una epidermis interna. La resistencia del grano al ataque de mohos e insectos se relaciona con la capacidad de la lema y palea para mantenerse juntas sin formar brechas (Juliano & Tuaño 2019).

b. Pericarpio, tegumento y nucelo

El pericarpio, tegumento o cubierta seminal y nucelo son tres capas distintas ubicadas debajo de la cáscara cubriendo el endospermo y embrión a manera de cubierta cariósica (Juliano & Tuaño 2019). El pericarpio es un tejido de consistencia fibrosa originado a partir de las paredes del ovario maduro, está formado por células entrecruzadas muy duras de aproximadamente 10 μm de espesor, está formado por tres capas finas: mesocarpio, endocarpio y exocarpio, como muestra la Figura 3 (Degiovanni *et al.* 2010), la parte más externa tiene apariencia ondulada y una delgada cutícula (Juliano & Tuaño 2019).

Debajo del pericarpio se encuentran el tegumento y el nucelo, éste último de 2,5 μm de espesor, ambas capas están unidas débilmente (Juliano & Tuaño 2019). Los pigmentos presentes en algunas variedades de arroz coloreados se encuentran distribuidos en el pericarpio o en el tegumento, causando diferencias en la retención de pigmentos posterior a la molienda (Juliano 1993).

c. Endospermo

El endospermo está formado por dos estructuras: el endospermo amiláceo y la capa de aleurona como muestra la Figura 4. Ésta última es la capa más externa del endospermo, unido estrechamente al endospermo amiláceo y la mayor parte del embrión. Presenta un espesor entre una a siete células siendo más grueso en la parte dorsal (inferior) del grano y mayor en granos cortos que en granos largos (Juliano & Tuaño 2019).

Las células de la capa de aleurona son ricas en proteínas y lípidos, existiendo dos clases de células en esta capa. El primer tipo rodean al endospermo amiláceo, son cuboides y presentan un citoplasma densamente empacados, presentan abundantes granos de aleurona (ricos en cuerpos proteicos y fitatos) y cuerpos lipídicos. El segundo tipo de células rodean al embrión, son rectangulares, y presentan un citoplasma menos denso, con cuerpos lipídicos más pequeños y sin granos de aleurona (Juliano & Tuaño 2019).

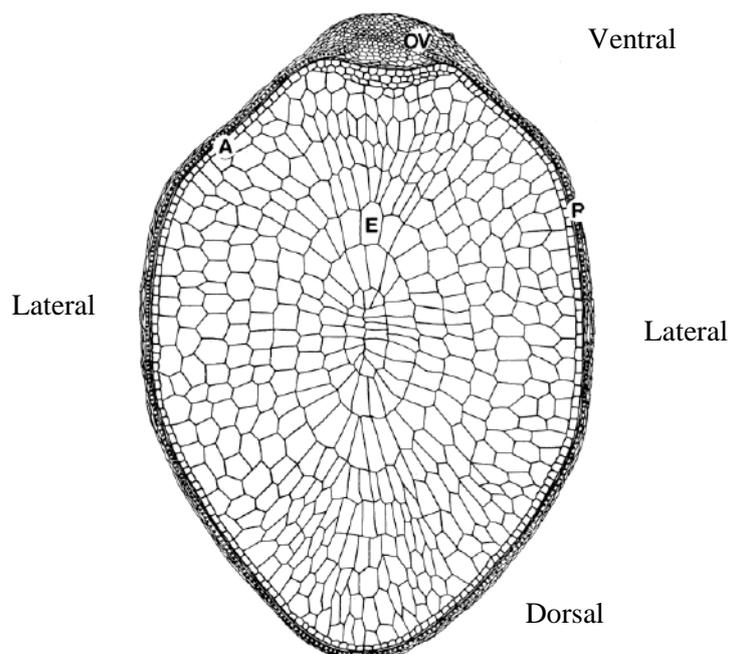


Figura 4. Corte transversal en la región media del grano maduro de arroz (A: capa de Aleurona, E: endospermo, OV: restos de la pared del ovario, P: pericarpio)

Fuente: Kridhnan & Dayanandan (2003)

El endospermo amiláceo es la parte que provee de alimento al embrión durante la germinación, está compuesto por dos regiones: la subcapa de aleurona y la región central restante. La subcapa de aleurona es una capa de dos células de grosor (las más externas del endospermo amiláceo) ubicada debajo de la capa de aleurona (Juliano & Tuaño 2019).

El endospermo amiláceo está compuesto por células parenquimatosas de paredes delgadas. Las células de los lados laterales son poligonales y poco alargadas, mientras que las células de la zona dorsal (espalda del grano) y ventral (abdomen del grano, al lado del embrión) son más alargadas (Figura 4). Las células en granos largos tienden a ser de menor tamaño que granos medios y cortos, aunque en el núcleo las dimensiones varían entre $45\ \mu\text{m} \times 50\ \mu\text{m}$ a $80\ \mu\text{m} \times 105\ \mu\text{m}$ (Juliano & Tuaño 2019).

Dentro de las células del endospermo amiláceo se encuentran los amiloplastos (que contienen los gránulos de almidón) y cuerpos proteicos. Los gránulos son de forma poligonal y diámetro de 3 a $9\ \mu\text{m}$. Los cuerpos proteicos rodean los amiloplastos y pueden ser esféricos ($0,5 - 4\ \mu\text{m}$ diámetro) o cristalinos ($2 - 3,5\ \mu\text{m}$ diámetro), como ilustra la Figura 5, éstos son susceptibles a hidrólisis por pepsina y parcialmente por proteasa

alcalina. La sub capa de aleurona presenta gránulos de menor tamaño pero mayor concentración de cuerpos proteicos y lipídicos (Juliano & Tuaño 2019, Patindol *et al.* 2015).

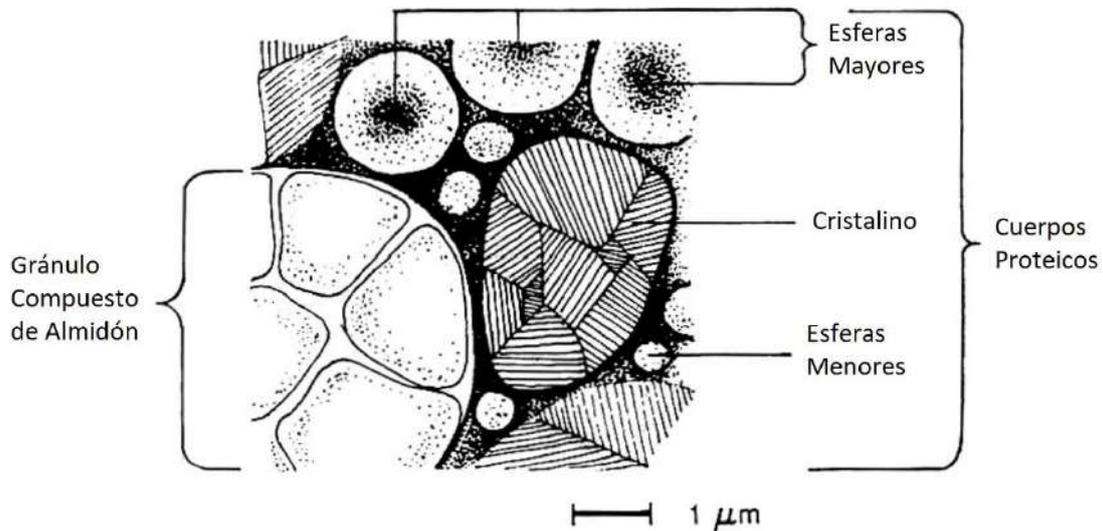


Figura 5. Apariencia de las células en el endospermo de arroz
Fuente: Juliano (1993)

d. Embrión

Es el órgano responsable de la germinación, está ubicado en la parte ventral del grano rodeado en su lado externo por la capa de aleurona y por su lado más interno por el endospermo amiláceo (Figura 3). El embrión está constituido por las hojas embrionarias o plúmula y la raíz embrionaria primaria o radícula, ambas unidas por el mesocotilo. En la parte más externa del embrión se encuentra el escutelo, el cual separa al embrión del endospermo amiláceo (Degiovanni *et al.* 2010).

La plúmula y la radícula son envueltas por dos estructuras protectoras: el coleótilo (en forma de cono) y la coleorriza respectivamente; ésta última se extiende por la mitad inferior para formar el epiblasto (Juliano & Tuaño 2019). Durante la germinación del grano la raíz primaria del arroz emerge de la radícula y la coleorriza, mientras que de la plúmula y el coleótilo emerge la hoja primaria de la planta. Las células del escutelo y coleótilo son ricas en cuerpos proteicos y lipídicos (Degiovanni *et al.* 2010).

2.2.2 Microestructura del grano

La microestructura comprende la morfología del gránulo de almidón. Dentro de las células del endospermo cada amiloplasto sintetiza múltiples gránulos de almidón pobremente empacados (Figura 5). Los gránulos son poligonales y con diámetros de 3 – 9 μm (los más pequeños entre los cereales), siendo menores en las variedades altas en amilosa (2,4 – 5,4 μm) que en las variedades sin amilosa (4,9 – 5,7 μm) (Bao 2019a).

Típicamente los gránulos de almidón presentan de forma alternada anillos de crecimiento semi cristalino y amorfo a manera de capas concéntricas. En el arroz estos anillos presentan un espesor promedio de 120 – 400 nm (Vandeputte & Delcour 2004). La formación de los anillos de crecimiento se debe a las fluctuaciones en la síntesis del almidón provocado por el ciclo luz/oscuridad del día, aunque en el arroz no se encuentran bien definidos por el pequeño tamaño del gránulo o la distribución uniforme de la amilosa (Bao 2019a, Amagliani *et al.* 2016).

2.2.3 Nanoestructura del grano de arroz

a. Amilosa y amilopectina

El almidón es una mezcla de amilosa y amilopectina, sus estructuras son ilustradas en la Figura 6. Es el mayor componente del arroz, constituye del 72 – 82 por ciento de los sólidos de la cariósida y 90 por ciento del endospermo, esto hace que las características del almidón determinen las propiedades físicas y culinarias del arroz (Bao 2019a).

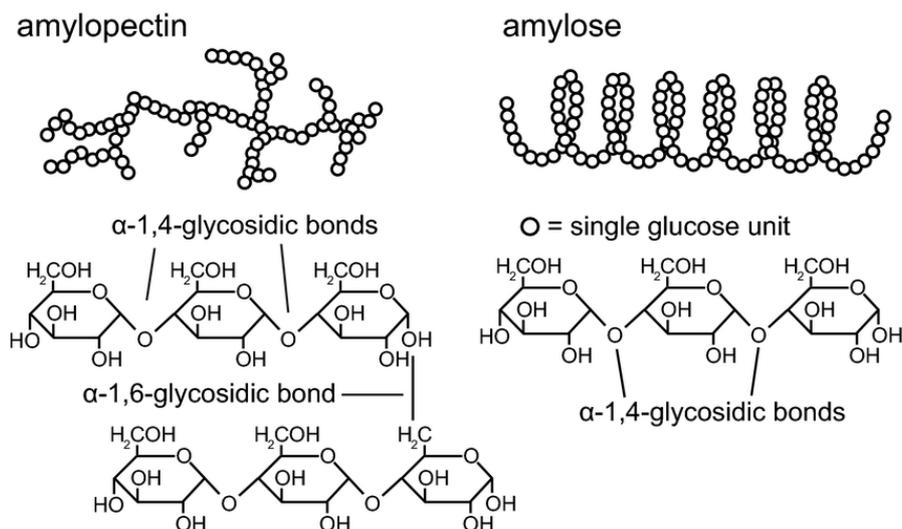


Figura 6. Estructura química de la amilopectina y amilosa

Fuente: Willfahrt *et al.* (2019)

La amilosa es una cadena mayormente lineal de unidades de glucosa unidas por enlaces glucosídicos $\alpha - (1 \rightarrow 4)$, aunque puede presentar ramificaciones mediante enlaces $\alpha - (1 \rightarrow 6)$ en menos del 0.1 por ciento de los monómeros de la molécula. La amilosa lineal presenta un grado de polimerización (DP) de 700 – 900 unidades de glucosa, y la ramificada de 1100 – 1700 con ligeras diferencias entre las variedades Indica y Japónica (Patindol *et al.* 2015). En consecuencia la amilosa ramificada presenta entre 2 a 5 ramificaciones de cadenas entre 250 – 370 unidades de glucosa (Amagliani *et al.* 2016) En el arroz la relación entre amilosa lineal: ramificada es de 0,22:0,78 (base molar) o 0,32:0,68 (base másica) (Vandeputte & Delcour 2004).

La amilopectina es una cadena de $\alpha - (1 \rightarrow 4) - D$ - glucosa altamente ramificada por enlaces $\alpha - (1 \rightarrow 6)$, donde un 5 – 6 por ciento de sus monómeros presentan ramificación, dando de 220 – 700 cadenas por molécula de 11,3 – 15,8 unidades de glucosa en promedio (Patindol *et al.* 2015). La variedad Indica presenta un menor tamaño (DP 4700 – 5800) aunque con cadenas ramificadas ligeramente más largas, en comparación a la variedad Japónica (DP 8200 – 12 800) (Vandeputte & Delcour 2004).

Las diferencias en las propiedades físicas y químicas de la amilopectina pueden explicarse mediante la clasificación hecha por Hizukuri (1986) basada en el DP de las cadenas individuales de este polímero. Las cadenas pueden clasificarse en tipos A, B y C (Bao 2019a, Vandeputte & Delcour 2004) como ilustra la Figura 7.

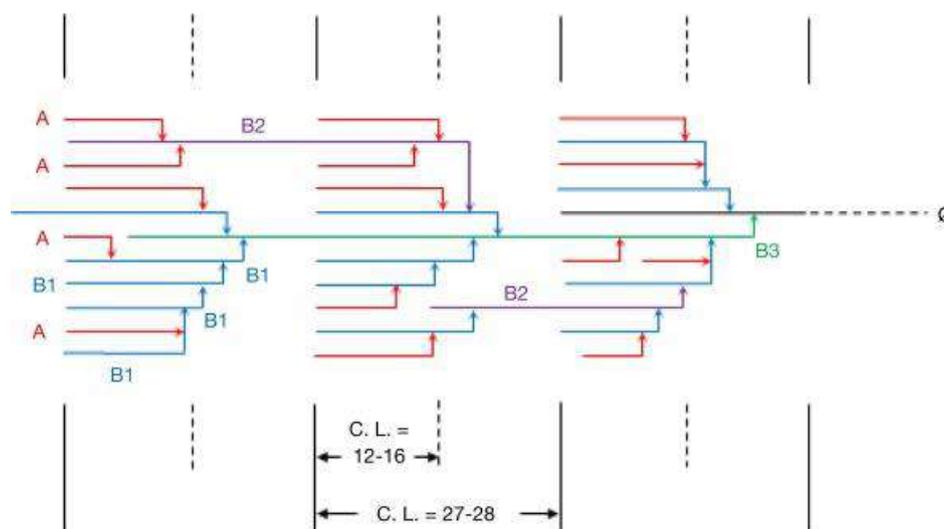


Figura 7. Modelo de conglomerados para la estructura de la amilopectina. Φ : extremo reductor, - cadena de $(1 \rightarrow 4) - \alpha - D$ - glucosas, \rightarrow : enlace $\alpha - (1 \rightarrow 6)$
Fuente: Hizukuri (1986)

Las cadenas tipo A son las más externas en la molécula de amilopectina y no presenta una ramificación adicional, están unidas a las cadenas tipo B. Las cadenas B se distinguen en tipos B1, B2, B3, y B4 pudiendo tener ramificada una cadena A u otra cadena B. El tipo C es la cadena principal que contiene al extremo reductor (Amagliani *et al.* 2016), como muestra la Figura 7. La longitud de las cadenas incrementa en el orden: A (6 – 12), B1 (13 – 24), B2 (25 – 36), B3 (mayor de 37) (Bao 2019a, Patindol *et al.* 2015).

La distribución de los tipos de cadena de amilopectina en el arroz sigue la distribución: A 18,1 – 24,7 por ciento, B1 45,0 – 55,6 por ciento, B2 12,7 – 14,0 por ciento, y B3 10,8 – 20,7 por ciento (base másica) (Kong *et al.* 2015a), aunque algunas variedades altas en amilosa pueden contener hasta 1 por ciento de cadenas B4 (Bao 2019a).

b. Formación de conglomerados en la amilopectina

Las cadenas de amilosa y amilopectina pueden enrollarse en doble hélice, principalmente entre cadenas A y B1 de una molécula de amilopectina o dos adyacentes y agruparse en conglomerados, formando así una estructura cristalina, mientras los puntos de ramificación forman una región amorfa como muestra la Figura 8 (Bertoft *et al.* 2010).

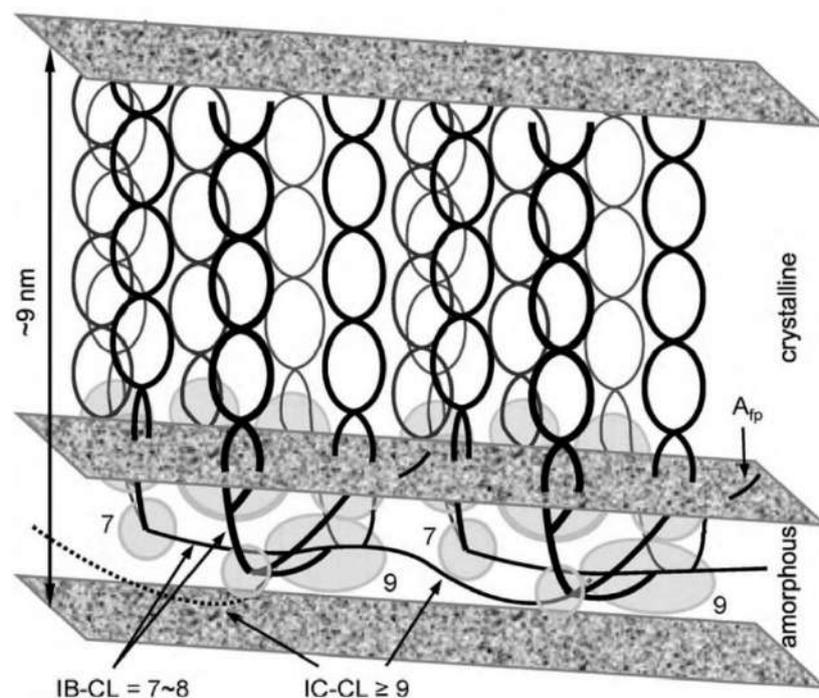


Figura 8. Organización de las cadenas de amilopectina en conglomerados.

IB-CL: longitud de cadena entre ramificaciones, IC-CL: longitud de cadena entre conglomerados.

Fuente: Bertoft *et al.* (2010)

Cada conglomerado tiene en promedio 10 a 17 dobles hélices de cadenas tipo A u 11 dobles hélices de cadenas tipo B1 (Gallant *et al.* 1997). Las cadenas tipo A y B1 están presentes en un único conglomerado, mientras que las cadenas B2, B3 y B4 pueden extenderse en dos a cuatro conglomerados respectivamente a manera de interconexiones (Amagliani *et al.* 2016, Vandeputte & Delcour 2004, Hizukiru 1986).

Los conglomerados se agrupan en bloques esféricos, los que a su vez forman los anillos de crecimiento del gránulo de almidón, como muestra la Figura 9. Cada anillo de crecimiento presenta dos bloques de espesor, siendo de mayor tamaño en el anillo semicristalino (100 nm de diámetro) que en el amorfo (20 – 50 nm), lo cual muestra el menor grado de organización en éste último (Bao 2019a). Los bloques del anillo semicristalino presentan en promedio 8 repeticiones de láminas cristalinas (2 – 5 nm de espesor) y amorfa (5 – 6 nm espesor) alternadamente, comprimiendo 280 conglomerados de cadenas de amilopectina (Vandeputte & Delcour 2004, Amagliani *et al.* 2016).

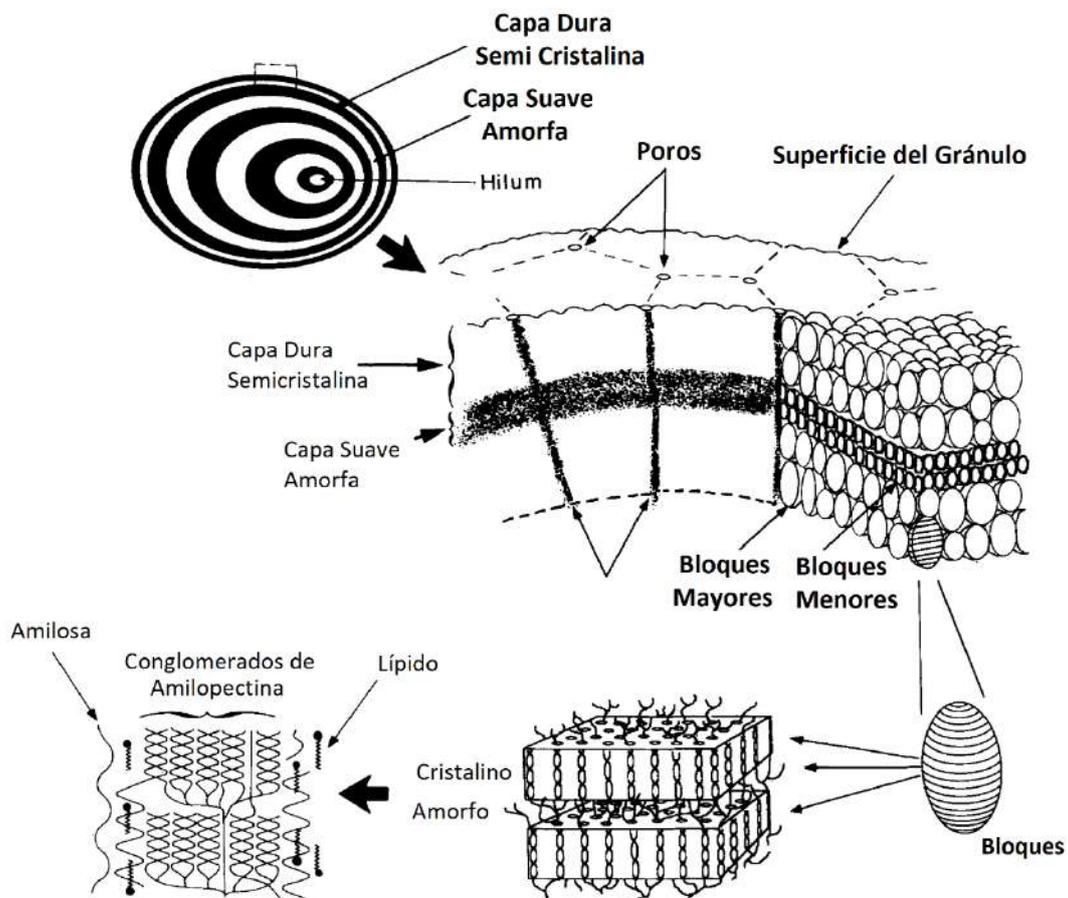


Figura 9. Organización estructural del gránulo de almidón
Fuente: Gallant *et al.* (1997)

2.2.4 Interacción con otros componentes

Luego del almidón el polímero mayoritario es la proteína, constituye entre un 4,5 – 15,9 por ciento del peso seco del arroz, principalmente prolamina y glutelina (Juliano & Tuaño 2019). La mayoría de las proteínas son solubles en medio alcalino, aunque el almidón extraído de arroz presenta trazas de proteína, principalmente las enzimas sintetizadoras de almidón como la sintasa de almidón ligada al gránulo I y la enzima ramificadora (Bao 2019a, Amagliani *et al.* 2016).

El contenido de lípidos puede llegar hasta 0,4 por ciento en arroz, siendo la proporción mucho menor en arroz libre de amilosa. Dado que la doble hélice de amilosa presenta un centro hidrofóbico y un exterior hidrofílico, este polímero puede interactuar con los lípidos (Amagliani *et al.* 2016). Del total de lípidos el 32 por ciento son ácidos grasos libres (principalmente oleico, linoleico y palmítico) y el 68 por ciento son lisofosfolípidos (Bao 2019a, Khir & Pan 2019).

2.3 PRODUCCIÓN Y COMPOSICIÓN DEL ARROZ

El proceso productivo y la composición del arroz depende del tipo de arroz comercializado. En la Figura 10 se muestra las diferencias entre el arroz integral y arroz pulido, siendo éste último la forma predominante de comercialización del arroz con un 97,5 por ciento de consumo en el Perú (González & Seminario 2016).

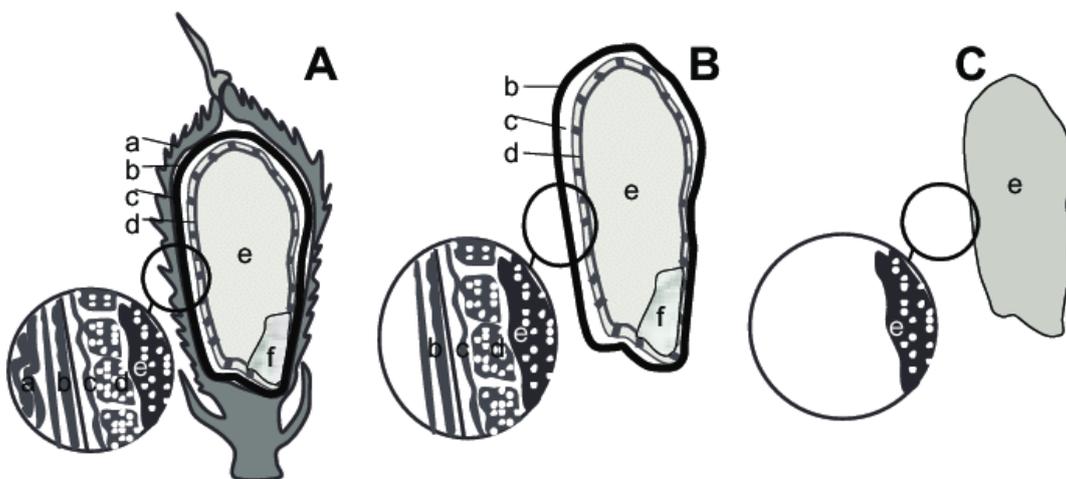


Figura 10. Estructura del arroz según su proceso. A) Arroz-cáscara, B) Arroz integral, C) Arroz pulido. a: cáscara, b: salvado, c: polenta, d: capa de aleurona, e: endospermo, f: embrión

Fuente: Munera *et al.* (2015)

2.3.1 Proceso productivo

El arroz es cosechado cuando llega a su madurez fisiológica, que en climas tropicales ocurre 30 días después de la floración, en este estado los granos adquieren un color amarillo y la planta de arroz se inclina por el peso de los granos (Jarma *et al.* 2010). Las operaciones de cosecha incluyen corte, recolección y trillado de la espiga de arroz, y posterior separación y limpieza de los granos. El proceso puede llevarse a cabo de forma tradicional o mecanizada (Khir & Pan 2019).

La cosecha puede ejecutarse de forma tradicional o mecanizada. En la cosecha tradicional la espiga es cortada, secada y trillada manualmente, no obstante puede presentar pérdidas de 5 a 15 por ciento. La cosecha mecanizada combina estas operaciones para tener el grano limpio con pérdidas de 1 a 2 por ciento (Khir & Pan 2019, Juliano 1993).

El arroz-cáscara obtenido tras la cosecha presenta una humedad entre 20 a 24 por ciento, por lo que es secado inmediatamente para un almacenamiento seguro. El secado puede hacerse por secado al sol, con aire ambiental o aire caliente (Khir & Pan 2019), para reducir el contenido de humedad a 12 - 14 por ciento y evitar el desarrollo de mohos y micotoxinas en el grano (Torres & Martínez 2010).

El secado es una operación crítica para asegurar la calidad del grano. Un secado defectuoso puede promover la formación de fisuras y posterior quiebre del grano, reduciendo así su calidad molinera. El método más utilizado es el secado por aire caliente, con temperaturas de 50 - 70° C. Para evitar las fisuras se sugiere secar por etapas (generalmente tres) con un tiempo de atemperamiento (de 1 a 2 horas de duración) posterior a cada etapa de secado (Bhattacharya 2011, Atungulu & Sadaka 2019).

Posterior al secado el arroz-cáscara pasa al proceso de molienda, lo que incluye descascarillado, blanqueado, pulido y separación para obtener el arroz blanco pulido. La cáscara representa aproximadamente del 17 al 20 por ciento del peso del arroz-cáscara. El descascarillado remueve la cáscara del grano y produce arroz integral o arroz marrón (Khir & Pan 2019). Este proceso es usualmente ejecutado en molinos de rodillos de caucho (como el mostrado en la Figura 11), los cuales a una abertura adecuada (dependiente de las dimensiones del grano) comprimen suavemente los granos y quiebran las hojas de lema y palea permitiendo la separación de la cáscara de la cariósida (Nambi *et al.* 2017).

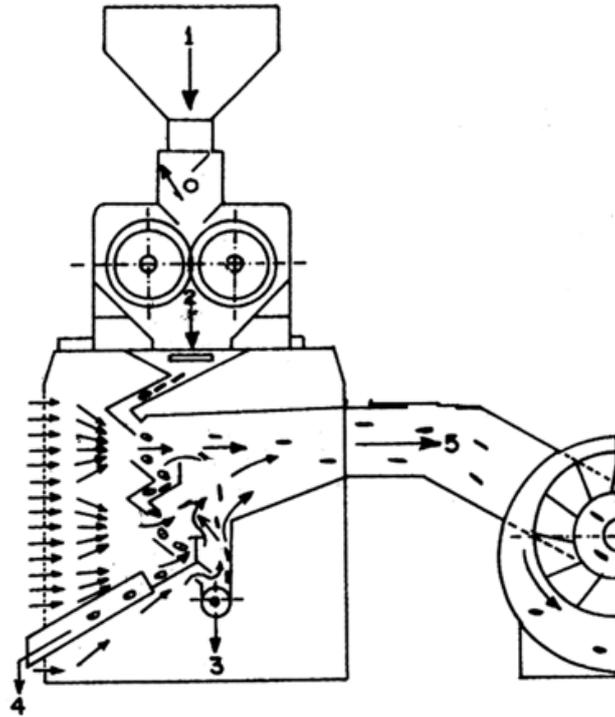


Figura 11. Estructura de un molino de rodillos de caucho. 1) arroz-cáscara, 2) mezcla arroz integral y cáscara, 3) granos inmaduros, 4) arroz integral, 5) cáscara
Fuente: Nambi *et al.* (2017)

El blanqueado tiene por objeto remover la capa de salvado del arroz integral para tener el arroz blanco y el salvado como subproducto. Este proceso se lleva a cabo mediante abrasión y fricción, donde el arroz es puesto en contacto con una superficie abrasiva (típicamente una malla metálica) la que remueve el salvado. El grado de molienda es controlado mediante el tiempo de contacto entre el grano y la superficie abrasiva (Nambi *et al.* 2017). Finalmente el arroz es clasificado en granos quebrados y enteros previo a su envasado y almacenamiento (Khir & Pan 2019).

2.3.2 Composición del grano de arroz

Las fracciones del grano entero de arroz se distribuye en: 20 por ciento cáscara, 70 por ciento endospermo, salvado ocho por ciento (incluye pericarpio, tegumento y capa de aleurona), y germen dos por ciento (Khir & Pan 2019). La composición de las fracciones genera variaciones en la composición proximal y contenido de micronutrientes entre el arroz integral y pulido, como es mostrado en las Tablas 2 y 3 respectivamente.

Tabla 2. Composición del arroz en 100 g a 14 por ciento de humedad

Nutriente (por 100 g)	Cáscara	Arroz integral	Arroz pulido	Salvado
Agua (g)	14,0	14,0	14,0	14,0
Energía (kJ)	1110 - 1300	1480 - 1610	1460 - 1560	1670 - 1990
Proteína (g)	2,0 - 2,8	7,1 - 8,3	6,3 - 7,1	11,3 - 14,9
Lípidos totales (g)	0,3 - 0,8	1,6 - 3,1	0,3 - 0,7	15,0 - 19,7
Ceniza (g)	13 - 21	1,0 - 1,5	0,3 - 0,8	6,6 - 6,9
Glúcidos por diferencia (g)	22 - 34	73 - 87	77 - 89	34 - 62
Fibra dietaria total (g)	66 - 74	2,9 - 4,4	0,7 - 2,7	19 - 29
Azúcares (g)	0,6	0,7 - 1,9	0,1 - 0,5	5,5 - 6,9

Fuente: Bao (2019a)

El almidón es el principal componente de los sólidos del arroz pero es mayor en el arroz pulido (90 por ciento) que en el arroz integral (72 – 82 por ciento). Debido a la presencia del germen y las capas protectoras (pericarpio, tegumento y capa de aleurona) en el arroz integral, hace que su contenido de proteína (4,5 – 10,5 por ciento) y lípidos (2,76 – 3,84 por ciento) son mayores en comparación al arroz pulido (Khir & Pan 2019).

Tabla 3. Contenido de vitaminas y micronutrientes de las diferentes fracciones del grano de arroz en 100 g a 14 por ciento de humedad

Fracción	Arroz Cáscara	Arroz integral	Arroz pulido	Salvado	Cáscara
Tiamina (mg)	0,26 - 0,33	0,29 - 0,61	0,02 - 2,40	1,20 - 2,40	0,09 - 0,21
Riboflavina (mg)	0,06 - 0,11	0,04 - 0,14	0,02 - 0,06	0,18 - 0,43	0,05 - 0,07
Niacina (mg)	2,9 - 5,6	2,5 - 5,3	1,3 - 2,4	26,7 - 49,9	1,6 - 4,2
Tocoferol	0,90 - 2000	0,90 - 2,50	75 - 0,30	2,60 - 13,3	0
Calcio (mg)	10 - 80	10 - 50	10 - 30	30 - 120	60 - 130
Fósforo (g)	0,17 - 0,39	0,17 - 0,43	0,08 - 0,15	1,1 - 2,5	0,03 - 0,07
Fitina (g)	0,18 - 0,21	0,13 - 0,27	0,02 - 0,07	0,9 - 2,2	0
Hierro (mg)	1,4 - 6,0	0,2 - 5,2	0,2 - 2,8	8,6 - 43,0	3,9 - 9,5
Zinc (mg)	1,7 - 3,1	0,6 - 2,8	0,6 - 2,3	4,3 - 25,8	0,9 - 4,0

Fuente: Atungulu & Pan (2014)

La fibra dietética está formada por celulosa, hemicelulosa, galactooligosacáridos, pectinas, lignina y compuestos asociados (ceras, fitatos, saponinas y taninos) están presentes en el arroz integral entre 2,9 – 4,0 por ciento, mientras que el arroz blanco es principalmente almidón (Khir & Pan 2019).

Los principales micronutrientes en el arroz son vitaminas (tiamina, riboflavina, niacina, ácido pantoténico, folato y tocoferol), minerales (incluyendo hierro), y compuestos fenólicos (flavonoides, γ -orizanol), principalmente encontrados en las capas externas del grano (pericarpio, tegumento y capa de aleurona) y germen ligados a componentes estructurales, haciendo que el arroz integral presente mayor concentración de estos componentes (Khir & Pan 2019).

2.4 CALIDAD DEL GRANO DE ARROZ

La calidad de un producto está definida por el conjunto de atributos que lo caracterizan y diferencian de otros productos y determinan la aceptación del consumidor (León & Carreres 2002). La calidad del grano de arroz puede evaluarse bajo los siguientes aspectos: física, de molienda, de cocción, culinaria y nutricional (Bhattacharya 2011). En el caso de la calidad física y de molienda existen estándares normalizados, mientras que la calidad de cocción y culinaria es subjetiva y dependiente de los hábitos culturales del consumidor (Pérez & Montoya 2009).

2.4.1 Calidad física

La calidad física agrupa las características físicas y estructurales, tales como las dimensiones del grano, forma, característica de perlado y blancura (Bhattacharya 2011, Pérez & Montoya 2009), las cuales pueden llegar a ser las más importantes dado que el consumidor suele asociar la apariencia física con las características de cocción y culinaria, aunque puede ser erróneo (León & Carreres 2002).

a. Dimensiones y forma

Las dimensiones del grano es la primera característica a medir. En el Perú el arroz puede ser clasificado en largo (más de 7 mm), mediano (6 – 7 mm), y corto (menos de 6 mm) según la NTP 205.011 (2014). Torres y Martínez (2010) sugieren otra forma de clasificación según las dimensiones, mostrada en la Tabla 4.

Tabla 4. Clasificación del grano de arroz según sus dimensiones

Longitud	Medida (mm)	Forma	Relación L/A
Extralargo	> 7,50	Delgado	> 3,30
Largo	6,61 - 7,50	Intermedio	2,1 - 3,0
Intermedio	5,51 - 6,60	Ovalado	1,1 - 2,0
Corto	< 5,50	Redondo	< 1,1

Fuente: Torres & Martínez (2010)

La forma del grano puede medirse en base a la longitud (L) y ancho (A) del grano. Es común definir la forma según la relación L/A, aunque la clasificación es variable. Patindol *et al.* (2015) indican tres categorías: grano largo ($L/A > 3$), medio ($L/A 2 - 2,9$), y corto ($L/A < 1,9$), mientras que Bao (2019b) indica las categorías: redondo ($L/A 1,1 - 2,0$), medio ($2,1 - 3,0$) y delgado ($L/A > 3,0$). Otra clasificación es mostrada en la Tabla 5.

Tabla 5. Clasificación del grano de arroz según su forma

Categoría	Longitud (mm)	Ancho (mm)
Largo fino	> 6,0	< 2,0
Largo ancho	> 6,0	> 3,0
Mediano	5,0 - 6,0	2,5 - 3,0
Corto (redondo)	< 5,0	> 2,5

Fuente: Pérez & Montoya (2009)

Una manera alternativa de categorizar la forma del grano es utilizar la relación Área superficial por unidad de masa (cm^2/g) lo que permite clasificar en grano superfino, fino, medio y grueso. Estas categorías parecen estar relacionadas con algunas características de cocción, como la textura y tiempo (Bergman 2019).

La preferencia del consumidor en cuanto a las dimensiones y forma es variable, en Sudamérica (a excepción de Brasil) son preferidas las variedades de grano largo y grueso; aunque durante la molienda los granos cortos e intermedios tienden a quebrarse menos que los granos largos, mejorando la calidad molinera del grano (Torres & Martínez 2010, Bao 2019b).

b. Apariencia translúcida

Los granos translúcidos es uno de los aspectos de calidad más importantes para los consumidores, mientras que la presencia de manchas blancas es considerada una característica defectuosa en zonas donde se consume arroz tipo Indica, como Sudamérica (Bergman 2019, León & Carreres 2002), aunque en España e Italia existen segmentos que aprecian los granos perlados o manchados (Pérez & Montoya 2009). Los granos con estas formaciones blancas de carácter harinoso son denominados “tizosos” e incluyen aquellos llamados de “panza blanca” (NTP 205.011 2014).

La formación de manchas blancas se debe a un pobre empaquetamiento de los gránulos de almidón dejando espacios llenos de aire que dispersan la luz y provocan el aspecto opaco. Los gránulos en las zonas manchadas suelen ser más redondos y pequeños que en los granos translúcidos, en los cuales son poligonales, de mayor tamaño y están altamente empacados (Bhattacharya 2011, Bao 2019a, Fitzgerald *et al.* 2009).

Dependiendo de la mancha blanca el grano pueden diferenciarse en núcleo blanco, opaco o panza blanca. Los granos opacos corresponden a granos inmaduros y el núcleo blanco puede ser controlado genéticamente dado que está presente en algunas variedades (Bhattacharya 2011, Pérez & Montoya 2009).

La panza blanca puede presentar múltiples causas. Granos con un espesor superior a 2.8 mm siempre presentan este defecto, mientras que granos con espesor menor de 2 mm no lo presentan; pudiendo deberse a que los nutrientes ingresan al grano por la zona ventral, un ancho mayor implica un suministro más lento resultando en un empaquetamiento más pobre de los gránulos (Bhattacharya 2011, Krishnan & Dayanandan 2003). Temperaturas altas de crecimiento posterior a la floración, especialmente durante la noche, aumentan la respiración del grano reduciendo así el empaquetamiento de los gránulos de almidón y provocando la formación manchas blancas (Bao 2019b, Torres & Martínez 2010).

2.4.2 Calidad de molienda

La calidad de molienda está relacionada con la integridad del grano, denota la capacidad del grano para resistir el descascarillado y pulido sin quebrarse y rendir la máxima cantidad posible (Bao 2019b, Bhattacharya 2011). Los principales indicadores de calidad

de molienda son el rendimiento total, rendimiento de grano entero e índice de blanqueado (Khir & Pan 2019).

El rendimiento total es la cantidad de arroz pulido (entero o quebrado) obtenido de una muestra inicial de arroz-cáscara, varía entre 65 a 72 por ciento. El rendimiento de grano entero es la cantidad de granos enteros en la muestra molida, puede variar entre 55 a 65 por ciento (Khir & Pan 2019, Bhattacharya 2011). En función a la presencia de granos dañados, y granos tizosos el arroz en el Perú puede tener las categorías de calidad mostradas en la Tabla 6.

Tabla 6. Clasificación del arroz pulido

Nombre	Extra	Superior	Corriente	Popular
Grado	1	2	3	4
Gronos rojos (%)	0,0	0,5	2,0	4,0
Granos tizosos totales	2	4	8	16
Granos tizosos Parciales	5	10	20	40
Granos dañados (%)	0,0	0,5	2,0	4,0
Mezcla varietal contrastante (%)	2,5	5,0	10,0	20,0
Materia extraña (%)	0,15	0,25	0,35	0,45
Granos quebrados (%)	5	15	25	335
Granos Inmaduros (%)	0,00	0,05	0,10	0,15

Fuente: NTP 205.011 (2014)

Algunos factores que afectan la integridad del grano son: fisuras en el grano, manchas tizosas, dimensiones y forma del grano y grado de molienda (Bhattacharya 2011). Granos delgados y muy largos ($L/A > 3,1$) tienden a quebrarse con mayor facilidad, mientras que granos de mayor espesor permanecen más íntegros (Bao 2019b). Los granos tizosos tienden a ser más frágiles y propensos a quebrarse durante la molienda que los granos translúcidos (Fitzgerald *et al.* 2009).

Las fisuras en el grano suelen ser resultado de un desbalance en la humedad durante el secado, y está relacionado con un secado deficiente. Cuando el arroz es secado y entra en contacto con aire húmedo el hinchamiento de las capas superficiales contra las capas internas causa una deformación que conducen a la fisura (Bao 2019b). Otra causa radica en el cambio de fase vítreo a gomoso al incrementar la temperatura de secado, para evitar

las fisuras el grano debe retornar al estado vítreo (a través de la reducción de la humedad) en todo su volumen antes de ser enfriado, para ello se sugiere almacenar el grano a la temperatura de secado por unas horas posterior al secado para luego recién enfriarlo (Bhattacharya 2011).

2.4.3 Calidad de cocción

Relacionado con las características durante la cocción: grado de suavidad, elongación, absorción de agua y pérdida de sólidos. Estas propiedades son afectadas por las dimensiones, manchas tizosas, contenido de amilosa y proteína en el grano (Bhattacharya 2011). La calidad de cocción se caracteriza por la presentación de granos largos, de buen rendimiento y con menor pérdida de masa posterior a la cocción (Kaminski *et al* 2013).

2.4.4 Calidad culinaria

La calidad culinaria está relacionada con los atributos sensoriales luego de la cocción, siendo la textura la propiedad sensorial que mayor influencia la aceptabilidad de los consumidores (Bergman 2019, Bhattacharya 2011). En el grano cocido los atributos que principalmente caracterizan la textura son la adhesividad (tendencia a pegarse) y consistencia (tendencia de los granos a mantenerse separados) (León & Carreres 2002).

La evaluación sensorial de la textura puede ser bucal (durante la masticación), táctil (al estrujarse entre los dedos) o visual (forma, brillantez, agregación de granos), no obstante las preferencias de textura del arroz cocido son heterogéneas y varían según la cultura del consumidor (Mestres *et al.* 2019).

Aunque las características culinarias están ligadas a los atributos sensoriales existen otras medidas indirectas utilizadas para su predicción, resaltando tradicionalmente tres indicadores: contenido de amilosa, consistencia del gel e índice de expansión alcalina (Wang *et al.* 2007, Bhattacharya 2011), a los que recientemente se adiciona el perfil de pasta (Allahgholipour *et al.* 2006, Bergman 2019) y las propiedades térmicas (Bao 2019a, García *et al.* 2011) como predictores de las características culinarias del arroz.

a. Gelatinización y retrogradación del almidón

Durante la cocción se producen fenómenos como la transición vítrea, hinchamiento, gelatinización, pérdida de amilosa y retrogradación del gránulo de almidón, todos

involucrados en la conversión del grano crudo a cocido y con las características de textura deseada (Fitzgerald, citado por Amagliani *et al.* 2016). La gelatinización es el colapso irreversible del orden molecular dentro del gránulo de almidón al ser calentado en exceso de agua (Goesaert *et al.* 2005) manifestado por el hinchamiento, pérdida de cristalinidad y birrefringencia y solubilización del almidón (Wang *et al.* 2015), el proceso es mostrado en la Figura 12.

Inicialmente a bajas temperaturas en el gránulo nativo la amilopectina forma una estructura cristalina en estado vítreo. La hidratación y el incremento de la temperatura provocan que el polímero se vuelve flexible y viscoso, con lo que el gránulo pasa a un estado gomoso (Bhattacharya 2011). Esta transición vítrea ocurre antes de la gelatinización del gránulo (Amagliani *et al.* 2016).

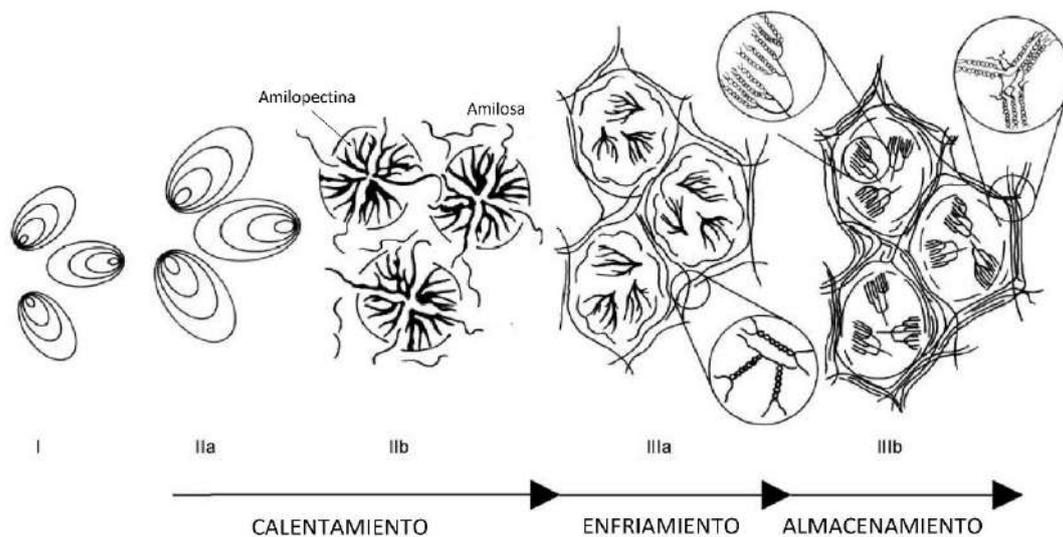


Figura 12. Proceso de gelatinización del gránulo de almidón. I) gránulo nativo, II) gelatinización: hinchamiento (IIa), lixiviación de amilosa y disrupción del gránulo con la formación de la pasta (IIb), III) retrogradación: formación de la red de amilosa con el enfriamiento (IIIa) y formación del orden cristalino de la amilopectina (IIIb)
Fuente: Goesaert *et al.* (2005)

Conforme la temperatura incrementa el gránulo absorbe agua, las regiones amorfas del gránulo se expanden, provocando un aumento del volumen y la desestabilización de las láminas cristalinas (mostrado en la Figura 12 IIa) (Amigliani *et al.* 2016). El agua facilita la movilidad molecular, disociando las dobles hélices de amilopectina y la fusión de los cristales (Goesaert *et al.* 2005). Cuando el gránulo disgrega su estructura cristalina llega

a hinchar varias veces su volumen inicial, al tiempo que la amilosa es lixiviada fuera del gránulo hinchado y se solubiliza en la fase continua incrementando la viscosidad de la solución (Amagliani *et al.* 2016).

Por encima de una temperatura crítica, denominada temperatura de gelatinización, el hinchamiento, la suspensión de gránulos amorfos y la solubilización de los polímeros forman la pasta de almidón (mostrado en la Figura 12 IIb). En este punto el calentamiento adicional o la agitación genera la desintegración del gránulo y la disminución de la viscosidad (Amagliani *et al.* 2016).

Durante el almacenamiento en frío el almidón gelatinizado sufre su retrogradación, definida como la reasociación de las moléculas de almidón gelatinizado en una nueva estructura ordenada. La retrogradación manifiesta cambios físicos como incremento de la viscosidad de la pasta, formación de gel y exudación de agua (Goesaert *et al.* 2005, Wang *et al.* 2015). Este proceso ocurre en dos etapas, primero la retrogradación de la amilosa y posteriormente de la amilopectina (Amagliani *et al.* 2016).

Primero la amilosa (lixiviada durante la gelatinización) forma dobles hélices en segmentos de su molécula y se a la superficie de los gránulos solubilizados, convirtiendo la pasta en un gel firme (mostrado en la Figura 12 IIIa) formando una red tridimensional estables luego de algunas horas provocando el endurecimiento y aumento de la viscosidad (Goesaert *et al.* 2005, Wang *et al.* 2015).

Segundo la recristalización de la amilopectina dentro del gránulo remanente inicia con las cadenas cortas más externas de la molécula (con un óptimo de 12 a 24 glucosas de longitud), las cuales vuelven a enrollarse en doble hélice (Figura 12 IIIb). Este proceso es mucho más lento, llegando a tardar días o semanas, por lo que el endurecimiento del gel está ligado principalmente a la amilosa (Wang *et al.* 2015, Goesaert *et al.* 2005).

La retrogradación es la causa del endurecimiento del arroz luego de succión, y la principal causa de la pérdida de textura del arroz cocido. Se ha encontrado una relación directa entre la velocidad de retrogradación con el contenido de amilosa y la longitud promedio de cadena de la amilopectina (Amagliani *et al.* 2016).

b. Contenido amilosa/amilopectina

El contenido de amilosa es el principal indicador de la calidad culinaria, siendo correlacionado con la expansión volumétrica, absorción de agua, dureza y blancura del arroz cocido (Juliano 1993). Dependiendo del contenido de amilosa aparente el arroz puede ser clasificado según el criterio de Juliano (1993): céreo o glutinoso (0 – 2 por ciento), muy bajo (3 – 12 por ciento), bajo (13 – 20 por ciento), intermedio (21 – 25 por ciento) y alto (mayor a 25 por ciento) (Bao 2019a, Amagliani *et al.* 2016, Patindol *et al.* 2015, Vandeputte & Delcour 2004, Fasahat *et al.* 2014), aunque las variedades naturales no son glutinosas, por lo que el contenido de amilosa varía entre 13 a 32 por ciento (Torres & Martínez 2010).

La textura del arroz depende fuertemente del contenido de amilosa. Arroz con alto contenido, correspondiente a la variedad Indica, es seco, firme y se mantienen separados durante la cocción y duros posterior al enfriamiento. El arroz tipo Japónica, de bajo contenido, es suave, cohesivo y lustroso. El arroz céreo tiende a ser pegajoso. Niveles intermedios de amilosa son suaves, pero no pegajosos, por lo que son muy apreciados por los consumidores (Fasahat *et al.* 2014).

La preferencia de la textura muy variable. En el este de Asia (Japón, China) es preferido el arroz con bajo contenido de amilosa, en el Sur de Asia (Filipinas) un contenido intermedio, y en India un nivel alto de amilosa (Mestres *et al.* 2010). En América Latina es preferido arroz con contenido intermedio (Torres & Martínez 2010) así como niveles altos (Perú, Colombia) (Juliano 1993).

No obstante algunas variedades de arroz con contenido de amilosa similares presentan características texturales diferentes, lo que sugiere la existencia de otros componentes no amiláceos que influyen en la textura (Xie *et al.* 2008), tal como el contenido de proteína, cristalinidad (Kong *et al.* 2015b), y distribución del tamaño de cadena en la amilopectina (Kong *et al.* 2015a).

c. Temperatura de gelatinización

La temperatura de gelatinización puede ser medida por ensayos reológicos, microscópicos, enzimáticos, y principalmente por Calorimetría de Barrido Diferencial (DSC) (Amagliani *et al.* 2016). Un equipo de DSC está compuesto de un horno donde se

dispone dos cavidades cilíndricas conteniendo dos cápsulas cerradas, una primera de referencia y una segunda con la muestra, mantenidos a la misma temperatura durante el análisis; sensores termoeléctricos son conectados entre los cilindros y el horno, los cuales miden la diferencia de potencial requerido en las dos cavidades para causar un mismo cambio de temperatura, y traducido a flujo de calor (Ekeran 2003). Este equipo permite medir el calor liberado o absorbido por un material durante una transición hidrotérmica de fase o reacción.

El resultado de un análisis por calorimetría diferencial es un termograma, como el mostrado en la Figura 13, del cual se determinan cuatro parámetros: temperatura de inicio (“Onset Temperature”, T_o), temperatura pico (T_p), temperatura de conclusión (T_c), y Entalpía de gelatinización (ΔH) (Bergman 2019, Schirmer *et al.* 2014).

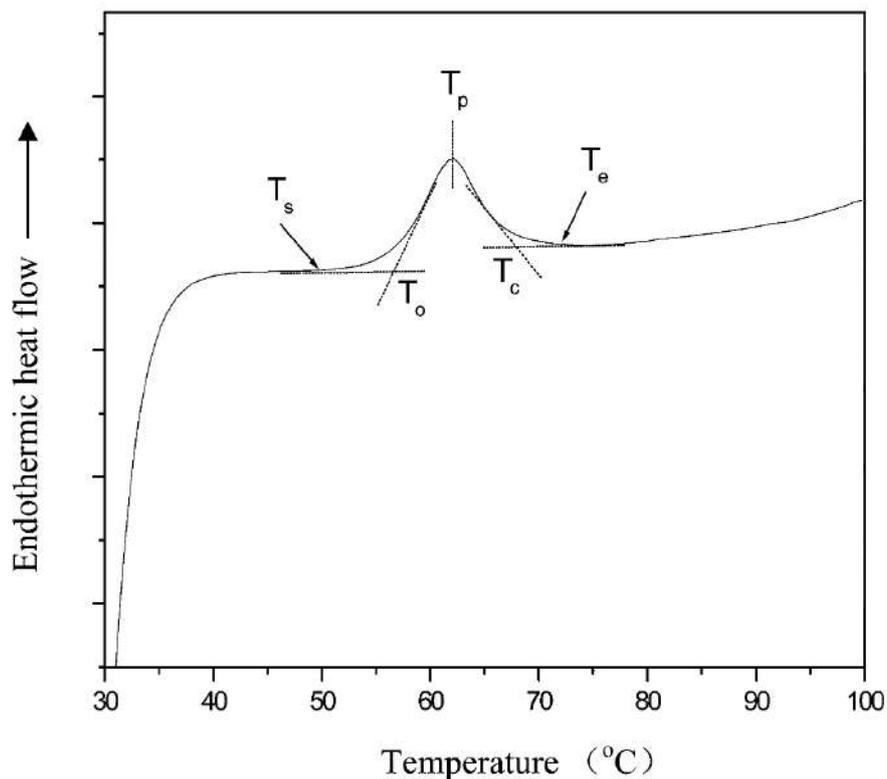


Figura 13. Termograma obtenido por DSC. Las temperaturas de transición térmica son indicadas por T_s , T_o , T_p , T_c y T_e
Fuente: Wang & Copeland (2013)

En la Figura 13 la temperatura de inicio (T_s) es el punto de inflexión donde el flujo de calor endotérmico se desvía de la línea base, T_o es el punto de intersección de las tangentes del termograma a T_s y la pendiente del flujo de calor, la temperatura pico T_p es la

temperatura en el máximo del flujo, la temperatura de conclusión T_c es la intersección entre la tangente de la curva después de T_p y la línea base estimada, y la temperatura final (T_e) es el punto de inflexión donde el flujo de calor termina de desviarse de la línea base. La entalpía de gelatinización es el área bajo la curva del flujo de calor y la línea base entre las temperaturas T_s y T_e (Wang & Copeland 2013).

En el Termograma de un DSC la T_o está relacionada con el inicio de la pérdida de birrefringencia del gránulo y un aumento significativo en su área superficial, a T_p se alcanza la máxima velocidad de fundición de los cristales, y en T_c hay una pérdida de birrefringencia en el 98 por ciento de los gránulos (Wang & Copeland 2015, Amigliani *et al.* 2016). Por tanto la gelatinización ocurre dentro de un rango de temperaturas, donde la estructura del gránulo es rota progresivamente con el incremento de la temperatura desde T_o a T_c . En el caso del arroz se considera que la gelatinización es completa a T_c , mientras que en almidones con gránulos de mayor tamaño (maíz, papa) la gelatinización culmina a una mayor temperatura, típicamente a T_e (Wang *et al.* 2018).

Los parámetros del DSC dependen de las diferencias en el contenido de amilosa, proporción de cadenas largas y cortas de amilopectina, y grado de cristalinidad. Generalmente en el almidón de arroz la T_o varía entre $55 - 75^\circ \text{C}$, T_p entre 66 a 73°C y T_c entre $75 - 85^\circ \text{C}$ (Wani *et al.* 2012), encontrándose que el arroz céreo y con bajo contenido de amilosa tienden a presentar mayores temperaturas de gelatinización (T_o , T_p y T_c) que arroz con contenido alto e intermedio (Kong *et al.* 2015b, Chun *et al.* 2015).

La entalpía de gelatinización está relacionada directamente con el nivel de cristalinidad del gránulo de almidón y la proporción de cadenas largas de amilopectina (Chun *et al.* 2015, Wang *et al.* 2010). Dado que los cristales de amilopectina requieren mayor energía para desdoblarse sus dobles hélices y fundirse, una mayor proporción de ellos provocan una mayor demanda de energía (Amagliani *et al.* 2016, Ye *et al.* 2016, Jane 2009). La relación entre la entalpía de gelatinización y el contenido de amilosa es variable (Bao 2019a).

Las variedades de arroz Indica y Japónica se relacionan con bajas y altas temperaturas de gelatinización respectivamente (Bao 2019a). En América Latina la preferencia tiende a ser hacia arroz con temperaturas de gelatinización bajas e intermedias, relacionadas con un grano con intermedio contenido de amilosa (Pérez & Montoya 2009, Torres & Martínez 2010).

d. Perfil de pasta

Consiste en la medición de la viscosidad de una suspensión de polímero al ser sometida a un proceso estándar de variación de temperatura tipo “calentamiento-mantenimiento-enfriamiento-mantenimiento” (Wang *et al.* 2007). Hasta inicios de 1990 el equipo más utilizado para este análisis fue el viscoamilógrafo de Brabender, sin embargo utilizada grandes cantidades de muestra (50 g) y tiempos largos de análisis (de 1,5 h en promedio), por lo que actualmente es preferido el Visco Analizador Rápido (Rapid Visco Analyzer RVA), el cual utilizada menor cantidad de muestra (3 g) y tiempo de análisis (aproximadamente 12 a 20 min), reportando la variación de la viscosidad en unidades RVA (Bhattacharya 2011, Bergman 2019). No obstante también puede obtenerse el perfil de pasta utilizando un reómetro rotacional adaptado con una celda de agitación (Jin & Xu 2020, Matignon *et al.* 2014, Park *et al.* 2007).

Durante el análisis la variación de la viscosidad cambia según el patrón mostrado en la Figura 14, de la cual pueden determinarse los parámetros enumerados en la Tabla 7. Algunos parámetros presentan definiciones variadas, como el parámetro “Setback” definido también como la diferencia entre la viscosidad final (FV) y la viscosidad mínima HPV (Park *et al.* 2007, Xie *et al.* 2008, Allahgholipour1 *et al.* 2006)

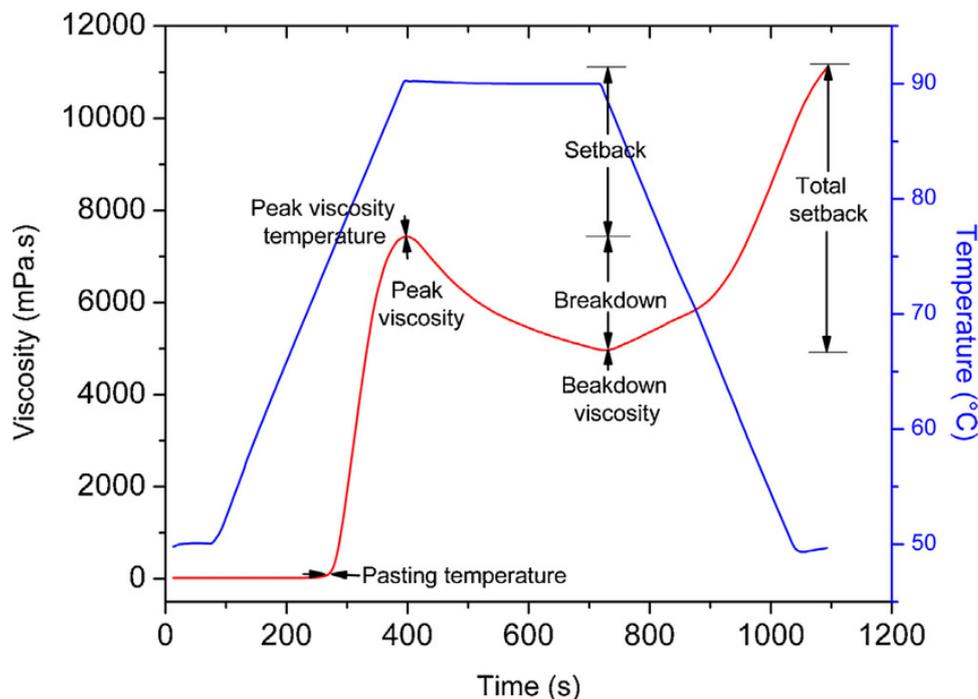


Figura 14. Perfil de pasta obtenido de almidones y harinas de cereales
Fuente: Rincón *et al.* (2016)

Tabla 7. Parámetros extraídos de un perfil de pasta

Parámetro	Abreviatura	Descripción
Temperatura de Pasta	Atemp	Temperatura a la que la viscosidad comienza a incrementar
Tiempo de Pasta	Atime	Tiempo donde se observa el incremento de la viscosidad
Viscosidad Pico	PV	“Peak Viscosity”. Máxima viscosidad alcanzada en el pico de pasta caliente
Viscosidad de Pasta Caliente	HPV	“Hot Paste Viscosity”. Viscosidad al final del periodo de mantenimiento
Viscosidad de Pasta Fría	CPV	“Cold Paste Viscosity”. Viscosidad al final del periodo de enfriamiento
Viscosidad Final	FV	Viscosidad al final del periodo de mantenimiento a baja temperatura
Breakdown	$BD = PV - HPV$	Disminución de la viscosidad durante la cocción a alta temperatura
Consistency	$CS = CPV - HPV$	Recaída en la viscosidad desde el valor mínimo. Incremento de la viscosidad durante el periodo de enfriamiento
Setback	$SB = CPV - PV$	Recaída desde el pico máximo

Fuente: Wang *et al.* (2007)

El análisis del perfil de pasta recrea el proceso de cocción de un cereal, encontrando cinco etapas: mezclado, calentamiento, mantenimiento a alta temperatura, enfriamiento y mantenimiento a baja temperatura (Balet *et al.* 2019), descritas a continuación:

- Mezclado: comprende la combinación de la muestra y solvente (agua) a temperatura ambiente, provocando la hidratación del gránulo y ligación del agua a otros componentes no amiláceos, como proteínas; el hinchamiento del gránulo es mínimo (Balet *et al.* 2019).
- Calentamiento: la temperatura incrementa hasta un valor menor al de ebullición (generalmente 95° C), provocando la gelatinización del gránulo de almidón, su hinchamiento y lixiviación de la amilosa fuera del gránulo, manifestado a través del incremento de la viscosidad de la solución. En esta etapa se registran dos parámetros: la temperatura de pasta (PT) la viscosidad pico (PV). La PT es la temperatura a la cual la viscosidad de la suspensión comienza a aumentar. Debido a que la viscosidad sólo comienza a incrementar una vez que el gránulo de almidón

está completamente gelatinizado, la PT es usualmente mayor a la temperatura de gelatinización (Balet *et al.* 2019). La PV es alcanzada al final del calentamiento cuando gránulos alcanzan un máximo de hinchamiento, formando así la pasta. La PT sirve de indicativo de la mínima temperatura requerida para cocinar una harina, mientras que la PV es indicativo de la capacidad de absorción de agua del gránulo y correlacionado con la calidad de cocción (Rincón *et al.* 2016).

- **Mantenimiento a Alta Temperatura:** la temperatura al término del calentamiento es mantenida por 5 a 10 min, observándose una reducción en la viscosidad debido a la desintegración del gránulo por el cizallamiento y lixiviación de polímeros de almidón solubilizados desde el gránulo hinchado hacia la solución (Balet *et al.* 2019). La viscosidad al final de esta etapa se denomina “Viscosidad de Pasta caliente” (“Hot Paste Viscosity” HPV), indicativo de la fuerza de mantenimiento del gránulo. El parámetro Breakdown ($BD = PV - HPV$) es indicativo del grado de desintegración del gránulo de almidón (Rincón *et al.* 2016).
- **Enfriamiento:** la temperatura es reducida, generalmente hasta 50° C, se observa un nuevo aumento de la viscosidad provocado por la disminución de la temperatura y la retrogradación del almidón. La viscosidad al final de esta etapa es denominada Viscosidad de Pasta Fría (“Cold Paste Viscosity” CPV). Debido a que la amilosa retrograda más rápido que la amilopectina, mayores valores de CPV indican la tendencia de la amilosa presente en la pasta caliente a reasociarse por el enfriamiento (Balet *et al.* 2019).
- **Mantenimiento a baja Temperatura:** la temperatura es mantenida por unos pocos minutos, generando una nueva reducción en la viscosidad, debido a la alineación de los polímeros solubilizados en la dirección del cizallamiento (Balet *et al.* 2019). En base a la viscosidad final (FV), es calculado el parámetro Setback ($SB = FV - HPV$), indicativo de la tendencia del almidón a la retrogradación.

Las variaciones en el perfil de pasta están relacionados a la rigidez del gránulo de almidón, contenido de fosfatos y lípidos, contenido de amilosa, cristalinidad del gránulo y distribución de las longitudes de cadena de la amilopectina (Balet *et al.* 2019). Arroz céreo y de bajo contenido de amilosa presentan mayores temperaturas de pasta, PV, HPV, y menores CPL y SB en comparación a arroz con alto contenido de amilosa (Ai & Jane 2015, Varavinit *et al.* 2003, Yu *et al.* 2012, Park *et al.* 2007).

Sin embargo, variedades con un contenido de amilosa similar pueden tener perfiles de pasta diferentes (Allahgholipour *et al.* 2006), haciendo que la relación entre las estas variables pueda no ser evidente (Ferreira *et al.* 2017). Esto muestra que además del contenido de amilosa existen otros factores que influyen en las características de pasta como la cristalinidad, peso molecular y distribución de cadenas de la amilopectina, particularmente la proporción de cadenas DP 5 - 12 (Kong *et al.* 2015b, Park *et al.* 2007, Chun *et al.* 2015).

Dado que las características culinarias del arroz están relacionadas con las características de textura deseadas por el consumidor, éstas son medidas principalmente a través del Análisis de Perfil de Textura (TPA), siendo los principales parámetros la dureza y adhesividad (Bergman 2019).

Los parámetros de textura pueden ser relacionados con otras medidas indirectas de calidad culinaria, como el contenido de amilosa y los parámetros de pasta. Los atributos de dureza están relacionados con altos contenidos de amilosa (Singh *et al.* 2005). Por otro lado, se ha encontrado una relación directa entre la dureza con el Setback, CPV (Kong *et al.* 2015b, Champagne *et al.* 2005), y la viscosidad final (Ferreira *et al.* 2017). En América Latina, dado que los consumidores prefieren el arroz con un contenido intermedio de amilosa, éste puede relacionarse con mayores valores de Setback (Torres & Martínez 2010).

2.4.5 Calidad de cocción

Están relacionados con los atributos del grano durante el proceso de cocción, tales como la capacidad de absorción de agua, alargamiento del grano respecto a su longitud inicial, tiempo de cocción, y pérdida de sólidos durante la cocción (León & Carreres 2002).

a. Tiempo de cocción

Es el tiempo que demora en considerar al arroz cocido. Para determinarlo ha sido utilizado el método de Ranghino, que consiste en presionar granos de arroz de diferentes tiempos de cocción entre dos placas de vidrio hasta desaparecer el núcleo blanco en su interior (correspondiente a almidón no gelatinizado) (Bergman 2019, Bhattacharya 2011, Mohapatra y Bal 2006).

El tiempo de cocción directamente correlacionado con la temperatura de gelatinización y con el nivel de cristalinidad del grano, donde una mayor cristalinidad provoca mayores tiempos de cocción (Chun *et al.* 2015).

Un método utilizado para predecir la temperatura de gelatinización y tiempo de cocción es el índice de expansión alcalina. Consiste en sumergir granos de arroz intactos en una solución alcalina, generalmente de hidróxido de potasio uno por ciento, dando como resultado la gelatinización del almidón en medio alcalino. Luego de un tiempo de digestión el grano de arroz es evaluado cualitativamente en una escala del 1 al 7 tal como muestra la Figura 15 (Bhattacharya 2011). El valor del índice de expansión alcalina tiene una relación inversa con la temperatura de gelatinización, y está relacionado con la capacidad del grano de arroz de permanecer firme e intacto durante la cocción o a disolverse (Wang *et al.* 2007).

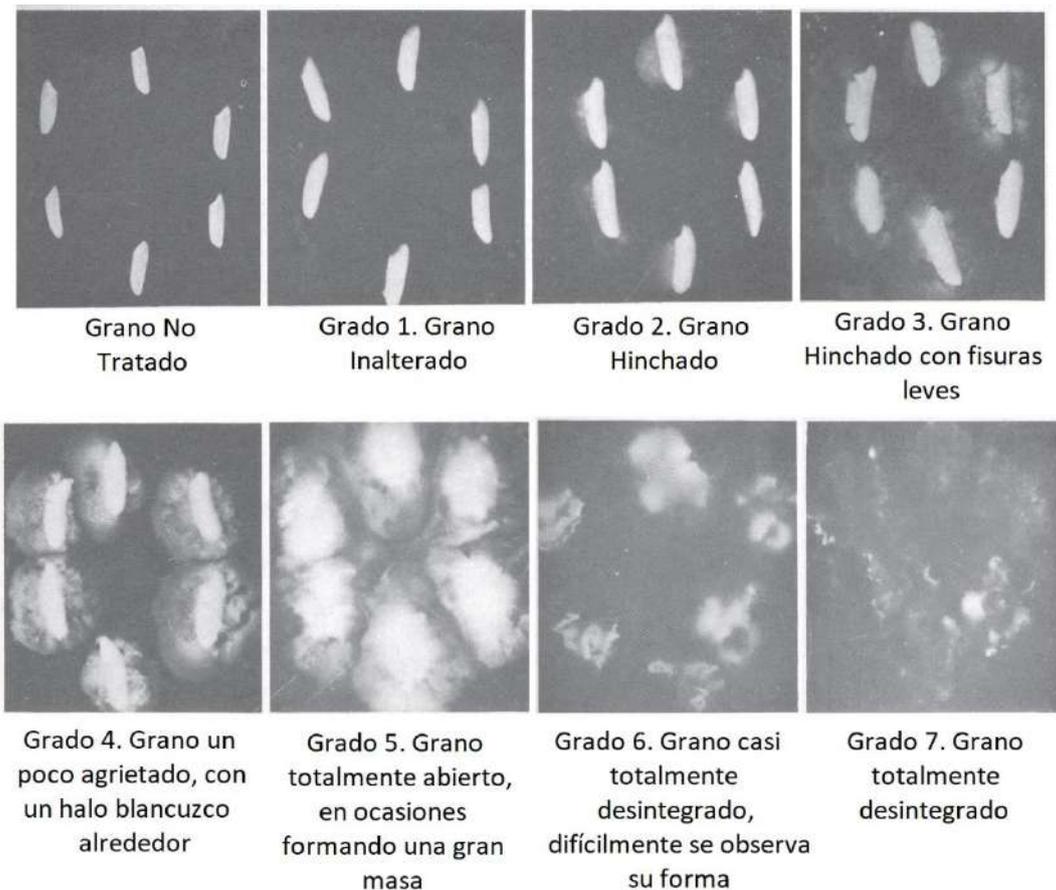


Figura 15. Resultados del índice de expansión alcalina

Fuente: Bhattacharya (2011)

b. Capacidad de absorción de agua y pérdida de sólidos

La capacidad de absorción de agua es la relación entre la cantidad de agua absorbida por el grano arroz durante la cocción, mientras que la pérdida de sólidos es la cantidad de sólidos perdidos por lixiviación (Bergman 2019). Como parámetro de calidad se espera que el arroz pierda la mínima cantidad de sólidos y absorba la máxima cantidad posible de agua (Bhattacharya 2011).

El contenido de amilosa es uno de los principales parámetros que afectan la capacidad de absorción de agua. Un mayor contenido de amilosa está relacionado con una mayor expansión volumétrica (Mohapatra y Bal 2006), menor capacidad de absorción de agua y mayor pérdida de sólidos (Chun *et al.* 2015).

2.4.6 Fertilización con nitrógeno y calidad del grano

La fertilización con nitrógeno influye sobre la micro estructura del gránulo de almidón en el arroz. En arroz híbrido Indica – Japónica cultivados a niveles de fertilización con nitrógeno (NN) entre 0 a 400 kg/ha se determinó una disminución en la longitud de cadenas ramificadas de amilopectina hasta un NN de 200, en el que se halló una menor proporción de cadenas ramificadas tipo A y B1, para luego incrementar hasta 400 donde la proporción de cadenas B3 fue mayor (Zhou *et al.* 2020). Este comportamiento podría estar relacionado con el incremento en la cristalinidad en el almidón de algunas variedades de arroz tipo Japonica, donde se observó aumentos de 23,1 a 26,3 por ciento al aumentar el NN de 0 a 20 kg/ha (Zhu *et al.* 2017b), no obstante también ha sido reportado disminuciones en la cristalinidad entre 30,7 a 27,4 por ciento a NN entre 0 a 150 kg/ha (Yang *et al.* 2016).

Sobre la composición en el arroz pulido, aumentos en la fertilización con nitrógeno promueven un incremento en el contenido de proteína, con incrementos variables: 7,7 a 9,0 (Singh *et al.* 2011, Zhu *et al.* 2017a) y 5,1 – 6,3 (Yang *et al.* 2016), un comportamiento similar en arroz Japónica e Indica. El contenido de amilosa presenta patrones menos homogéneos, en variedades de bajo contenido de amilosa su contenido puede disminuir con el NN entre 13,7 a 10,9 por ciento (Zhu *et al.* 2017b) mientras que en variedades con mayor contenido de amilosa puede aumentar de 18 a 19 por ciento (Yang *et al.* 2016), siendo la disminución posiblemente debida a una disminución en la concentración de almidón por incremento en el contenido de proteína.

Las variaciones en la estructura del almidón, contenido de proteína y amilosa influyen sobre las propiedades térmicas y del perfil de pasta. La disminución en la concentración de almidón en el arroz por efecto del aumento en el contenido de proteína puede estar relacionado con la disminución en la entalpía de gelatinización en la harina de arroz (9,6 – 8,7 J/g, Yang *et al.* 2016), así como cambios en el tamaño de gránulo y la cristalinidad, lo que puede explicar la disminución en la entalpía de gelatinización del almidón, e incrementar la temperatura de gelatinización (ejemplo 67,8 a 68,2 en la T_p) en algunas variedades tipo Indica con el NN (Singh *et al.* 2011, Teng *et al.* 2018).

En las propiedades del perfil de pasta ha sido reportado variaciones significativas en la temperatura de pasta (TP), viscosidad pico (VP) y Breakdown (BD) tanto en la harina como almidón de arroz. Generalmente la TP tiende a aumentar (68 – 72° C), mientras que la VP y BD tienden a disminuir en 400 y 200 cPs al incrementar el NN (Zhu *et al.* 2017b, Yang *et al.* 2016, Zhou *et al.* 2020), mientras que la Viscosidad Mínima (VM), Viscosidad Final (VF) y Setback (SB) pueden en algunas variedades no presentar cambios significativas (Zhu *et al.* 2017a, Yang *et al.* 2016). La disminución en la VP y el BD así como el incremento en la TP han sido atribuidos a la interferencia de la proteína para permitir que el gránulo absorba agua e hinche. Esta reducción en el BD es indicativo de menor fragilidad del gránulo de almidón, pudiendo indicar una mayor dureza. Singh *et al.* (2011) han reportado una mayor dureza del grano cocido de arroz al aumentar el NN, siendo inversamente proporcional a la entalpía y temperaturas de gelatinización.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN

La investigación se llevó a cabo en el laboratorio del grupo de Investigación en Polímeros y laboratorios de Fisicoquímica de la Facultad de Industrias Alimentarias, y el Centro de Investigación en Cereales y Granos Andinos, de la Universidad Nacional Agraria La Molina, ubicada en la Av. La Molina, La Molina, Lima.

3.2 MATERIA PRIMA

Las muestras de arroz cultivados a diferentes niveles de nitrógeno fueron proporcionadas por el Centro de Investigación en Cereales de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Las muestras provienen de una investigación sobre el efecto de cuatro niveles de nitrógeno (0, 120, 240 y 360 mg/kg de suelo) en el rendimiento de cultivo de arroz de cuatro variedades mejoradas genéticamente codificadas como PALM 52-53-4-2, PALM 25-42-3-4, PALM 25-59-6-1, PALM 11-41-3-2 y la variedad comercial “La Puntilla”, las cuales fueron denominadas como genotipos A, B, C, D y E respectivamente en el resto de la investigación. Todas las muestras fueron proporcionadas como arroz en cáscara en cantidades entre 200 a 300 g.

El arroz fue sembrado el 14 de enero de 2019 en la Estación Experimental Vista Florida del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) ubicado en la Provincia de Chiclayo, Distrito Picsi, Valle Chancay. El arroz fue sembrado por el método de siembra directa a chorrillo. Se utilizó parcelas de 4 hileras de 5 m de longitud separadas a 0,25 m, con una densidad de siembra de 50 kg/ha. La semilla fue colocada en el fondo de la hilera y tapada manualmente con tierra mullida. La cosecha se llevó a cabo entre fines de junio e inicio de julio del mismo año.

La fertilización con nitrógeno fue aplicada por el método de voleo en lámina de agua, llevado a cabo de forma fraccionada, el primer fraccionamiento ejecutado a los 25 días posteriores a la siembra y el segundo al inicio de la fase reproductiva. El fósforo y potasio

fue añadido en dosis de 80 y 60 kg/ha, aplicados a los 25 días posteriores a la siembra. Durante el crecimiento del arroz la temperatura varió entre 25,6 a 18,5° C con una disminución promedio de 2° C cada mes a medida que se aproximaba a la estación de invierno.

3.3 MATERIALES, REACTIVOS Y EQUIPOS

3.3.1 Materiales

- Tubos de ensayo 10 ml
- Fiola 25 ml
- Cronómetro (iPhone 5.0, California, USA)
- Probeta de 10 ml
- Matraz Erlenmeyer 125 ml
- Vasos de precipitación 500 ml
- Cubetas de cuarzo para espectrofotómetro
- Papel filtro Whatman N° 1
- Tubos de Centrifuga cónicos de 50 ml
- Tubos de Centrifuga cónicos de 15 ml
- Tubos de Centrifuga de 1.5 ml

3.3.2 Reactivos

- Kit enzimático de determinación de amilosa/Amilopectina (Megazyme, Irlanda)
- Etanol 96° medicinal
- Azida de sodio
- Ácido acético glacial
- Acetato de sodio en cristales (Sigma, cat. No 71 183)
- Solución amortiguadora acetato de sodio 0,1 M pH 4.5
- Cloruro de sodio (Sigma cat. No. S 7652)
- Cloruro de calcio dihidratado (Sigma cat. No C 5080, USA)
- Cloruro de magnesio hexahidratado (Sigma cat. No M 2670, USA)
- Cloruro de manganeso tetrahidratado (Sigma cat. No M 3634, USA)
- Solución amortiguadora acetato de sodio 0.6 M pH 6.4
- Dimetil sulfóxido grado PA (Merck, Alemania)

3.3.3 Equipos

- Descascarilladora y Pulidora de arroz, marca Zaccaria modelo PA Z 1 DTA, USA
- Molino modelo Cyclotec, FOSS TECATOR, USA
- Estufa de secado, modelo Venticell 55, MMM, Alemania.
- Balanza analítica, modelo Explorer OHAUS Co, USA
- Espectrofotómetro, modelo Genesys 10S UV-Vis, Thermo Scientific, USA
- Agitador Magnético, modelo MR Hei-Tec, Heidolph, Alemania
- Micropipeta de 100 µL, modelo Research Plus, Eppendorf, Alemania.
- Vortex modelo AP-56, marca TECNAL, Brasil
- Centrífuga, modelo 5804 R, Eppendorf, Alemania.
- Calorímetro de Barrido Diferencial (DSC), modelo MCD SC, TA Instruments.
- Cámara fotográfica, Sony, modelo W500, Japón
- Reómetro híbrido modelo DHR3 Discovery, TA Instruments, USA

3.4 MÉTODOS DE ANÁLISIS

3.4.1 Análisis aplicado al arroz como grano entero

a. Rendimiento molinero

Se determinaron el porcentaje de arroz pulido y de grano partido. Se pesaron 100 g de arroz-cáscara (m_{ac}) e introducido en el molino Zaccaria (modelo PA Z1, USA) para su descascarillado y pulido. La masa total de arroz pulido fue luego se introdujo en la tolva de clasificación del mismo equipo para separar el grano entero pulido (m_{ge}) del grano quebrado (m_{gq}). El rendimiento de grano (RG), de grano entero (RGE) y proporción de arroz entero en arroz pulido (GEAP) se calculó con las ecuaciones 1 a 3.

$$RG = \frac{m_{ge} + m_{gq}}{m_{ac}} \times 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

$$RGE = \frac{m_{ge}}{m_{ac}} \times 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

$$GEAP = \frac{m_{ge}}{m_{ge} + m_{gq}} \times 100 \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde m_{ge} , m_{gq} : masa de arroz pulido entero, masa arroz pulido quebrado (g)

m_{ac} : masa inicial de arroz cáscara (g)

RG: rendimiento de grano (g arroz pulido/100 g arroz-cáscara)

RGE: rendimiento de grano entero (g arroz pulido entero/100 g arroz-cáscara)

GEAP: proporción de arroz entero en arroz pulido (g arroz pulido entero/100 g de arroz pulido)

b. Dimensiones del grano de arroz

Se determinó la longitud y ancho del grano de arroz por análisis de imágenes. Se tomó una muestra de aproximadamente 10 ml y se distribuyó sobre un fondo negro, y se tomó la fotografía respectiva. La foto fue transformada a 8 bit y se determinó la longitud, ancho y relación Longitud/Ancho de cada grano así como su promedio utilizando el programa ImageJ v. 1.52 (National Institutes of Health, USA, 2014). Por cada muestra se llevó a cabo el análisis por triplicado y se reportó el promedio de longitud y ancho.

c. Peso de mil granos y contenido de grano tizoso

Se tomó una muestra de aproximadamente 25 g, y se procedió a contabilizar mil granos, de los cuales se determinó su peso. De esa alícuota se separó los granos con manchas blancas de forma manual. El contenido de grano Tizoso se determinó como la masa (en gramos) de los granos tizosos respecto a la muestra tomada.

3.4.2 Análisis de la harina de arroz

a. Contenido de proteína

De las muestras de grano pulido entero se tomó una fracción el cual fue molido en un molino Cyclotec (FOSS TECATOR, USA). El pulverizado fue cernido a través de una malla No 120 (Riceli, Perú) para tener un polvo menor de 125 micras. Al polvo fino se le determinó el contenido de proteína mediante análisis Kjeldhall (AOAC 960.52, 2005).

b. Contenido de amilosa

El contenido de amilosa se llevó a cabo mediante el kit enzimático K – AMYL de la empresa Megazyme (Megazyme International Ireland, Irlanda) siguiendo la especificación de uso de la empresa (Megazyme 2018).

c. Análisis térmico por calorimetría de barrido diferencial

Se siguió la metodología descrita por Ye *et al.* (2016), empleando un calorímetro de barrido diferencial DSC (MCD SC, TA Instruments). Una muestra de 3 mg de harina de arroz fue depositada en una cápsula de acero y se le agregó agua destilada en una relación agua/muestra de 3:1. La cápsula con la muestra fueron calentados desde 30 a 120° C a una velocidad de 2° C/min utilizando una cápsula vacía como referencia. Se determinó la

temperatura de gelatinización de comienzo, pico y culminación, y la entalpía de gelatinización utilizando el programa NanoAnalyze Data Analysis v. 3.7.5 (TA Instruments).

d. Propiedades de pasta

Se utilizó el procedimiento descrito por Ye *et al.* (2016). Se dispersó 3 g de harina de arroz (a 14 por ciento humedad) en 24 ml de agua destilada (suspensión a 12 por ciento). La suspensión fue llevada al reómetro DHR3 Discovery (TA Instruments, USA) y sometida al siguiente perfil de temperaturas a 250 RPM: mantenimiento a 50° C por 2 min, calentamiento de 50 a 90° C a 5° C/min (8 min), mantenimiento a 90° C por 4 min, enfriamiento desde 90° C a 50° C a 5,7° C/min (7 min) y mantenimiento a 50° C por 2 min, con un tiempo total de análisis de 23 min. Los resultados fueron recolectados mediante el programa TRIOS v. 4.3.1 (TA Instruments, USA, 2015) y se determinó los siguientes parámetros:

- Temperatura de pasta: temperatura a la que inicia el aumento de viscosidad, extrapolado a partir de la pendiente del incremento de la viscosidad.
- Viscosidad Pico: máxima viscosidad alcanzada entre el término del período de calentamiento e inicio del mantenimiento a alta temperatura
- Viscosidad Mínima: mínima viscosidad desarrollada entre el periodo de mantenimiento a alta temperatura y enfriamiento.
- Viscosidad de pasta caliente (“Hot Paste Viscosity” HPV): viscosidad alcanzada al final del periodo de mantenimiento a alta temperatura
- Viscosidad de pasta fría (“Cold Paste Viscosity” CPV): viscosidad alcanzada al final del período de enfriamiento
- Viscosidad final: viscosidad al final del ensayo completo
- Breakdown: diferencia entre la Viscosidad Pico y la Viscosidad Mínima
- Setback: diferencia entre la Viscosidad Final y la Viscosidad Mínima

e. Capacidad de absorción de agua, capacidad de hinchamiento y solubilidad de la harina de arroz

Fue utilizado el procedimiento descrito por Tangsrianugul *et al.* (2019) con algunas modificaciones. 0,5 g de harina de arroz (m_0) fue dispersado en 30 ml de agua destilada en tubos de centrífuga plásticos de 50 ml y calentados en baño María a 90° C por 30 min con agitación cada 5 min. Finalizado el tiempo las muestras fueron enfriadas por 10 min y centrifugadas a 3500 RPM por 15 min. Se pesó el precipitado húmedo (m_{ph}) y el sobrenadante fue secado a 105° C hasta peso constante para determinar la masa de sólidos en el sobrenadante (m_{sd}). La capacidad de absorción de agua (CAA), solubilidad (SOL) y capacidad de hinchamiento (CH) fueron calculados con las ecuaciones 4 a 6 respectivamente.

$$SOL = \frac{m_{sd}}{m_0} \times 100 \quad \text{Ecuación 4}$$

$$CAA = \frac{m_{ph}}{m_0} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$CH = \frac{m_{ph}}{m_0(1 - S/100)} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde m_{sd} : masa de sólidos disueltos en el sobrenadante (g)
 m_0 : masa inicial de la harina de arroz (g)
 m_{ph} : masa del precipitado húmedo (g)
CAA: capacidad de absorción de agua (g agua/g harina)
SOL: solubilidad (g sólidos disueltos/100 g harina)
CH: capacidad de hinchamiento (g agua/g sólidos insolubles)

3.5 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

La etapa experimental comprendió el descascarillado y pulido del grano, caracterización del grano entero, y molienda en harina para determinar las propiedades del almidón de arroz tal como indica la Figura 16.

OPERACIONES	CONDICIONES Y/O PARÁMETROS	ANÁLISIS
Recepción	↓	Pesado grano
Descascarillado/Pulido	↓	Rendimiento de grano
Clasificación	↓ Sólo granos enteros	Rendimiento de grano entero
Análisis Físico	↓	Longitud, ancho, relación Longitud/Ancho, peso de mil granos, contenido de grano Tizoso
Molienda	↓ Criba de molino 0.42 mm	
Tamizado	↓ Tamiz 120 Mesh	Humedad
Análisis Químico	↓	Contenido de Proteína Contenido de amilosa Temperatura y entalpía de gelatinización Propiedades de Pasta Capacidad de hinchamiento y solubilidad de la harina
Análisis estadístico		Análisis estadístico

Figura 16. Diseño experimental de la investigación

3.5.1 Descascarillado y pulido

Las muestras fueron descascarilladas y pulidas en una pulidora de arroz marca Zacaria (USA) utilizando una muestra de 100 g (peso exacto) con un tiempo estandarizado de 75 segundos. En el mismo equipo se separó los granos de arroz enteros y los granos quebrados. En este punto se determinó el rendimiento de grano y rendimiento de grano entero.

Para el trabajo de investigación se utilizó solamente los granos intactos. A los granos enteros se determinó la longitud, ancho, relación longitud/ancho, peso de mil granos, y contenido de granos Tizosos. Las muestras de arroz fueron envasadas en una doble bolsa de polipropileno y almacenadas a 5° C (refrigeración) hasta su molienda y/o análisis (Xie *et al.* 2008; Mohapatra y Bal 2006).

3.5.2 Molienda y caracterización

Se tomaron muestras de 40 g de arroz pulido y se molió en un molino Cyclotec (TECATOR, USA) con una criba de 0.42 mm de apertura. La harina obtenida fue tamizada utilizando un tamiz No 120 (apertura 125 micras).

A la harina tamizada de arroz se determinó sus propiedades funcionales relacionadas a la cocción: análisis térmico por calorimetría de barrido diferencial, propiedades de pasta, contenido de amilosa, contenido de proteína, capacidad de absorción de agua, hinchamiento y solubilidad.

3.6 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se analizaron los factores nivel de nitrógeno del suelo (NN) (0, 120, 240 y 360 kg/ha) y genotipo de arroz (A, B, C, D y E) dando un total de 20 tratamientos para un diseño factorial completo 4 x 5, considerando 2 repeticiones de cultivo, tal es mostrado en la Tabla 8.

Las variables respuesta consideradas fueron rendimiento de grano, rendimiento de grano entero, dimensiones (longitud, ancho, relación longitud/ancho), peso de mil granos, contenido de granos tizosos, contenido de proteína, amilosa, capacidad de absorción de agua, solubilidad, parámetros del análisis térmico y propiedades de pasta.

Tabla 8. Combinación de tratamientos para el diseño experimental

Repetición	Genotipo	Abreviación	Nivel de Nitrógeno (kg/ha)	Variables Respuesta
1	PALM 52-53-4-2	A	0	
1	PALM 25-42-3-4	B	0	
1	PALM 25-59-6-1	C	0	
1	PALM 11-41-3-2	D	0	
1	La Puntilla	E	0	
1	PALM 52-53-4-2	A	120	
1	PALM 25-42-3-4	B	120	
1	PALM 25-59-6-1	C	120	
1	PALM 11-41-3-2	D	120	
1	La Puntilla	E	120	
1	PALM 52-53-4-2	A	240	
1	PALM 25-42-3-4	B	240	
1	PALM 25-59-6-1	C	240	
1	PALM 11-41-3-2	D	240	
1	La Puntilla	E	240	
1	PALM 52-53-4-2	A	360	
1	PALM 25-42-3-4	B	360	
1	PALM 25-59-6-1	C	360	
1	PALM 11-41-3-2	D	360	
1	La Puntilla	E	360	
2	PALM 52-53-4-2	A	0	
2	PALM 25-42-3-4	B	0	
2	PALM 25-59-6-1	C	0	
2	PALM 11-41-3-2	D	0	
2	La Puntilla	E	0	
2	PALM 52-53-4-2	A	120	
2	PALM 25-42-3-4	B	120	
2	PALM 25-59-6-1	C	120	
2	PALM 11-41-3-2	D	120	
2	La Puntilla	E	120	
2	PALM 52-53-4-2	A	240	
2	PALM 25-42-3-4	B	240	
2	PALM 25-59-6-1	C	240	
2	PALM 11-41-3-2	D	240	
2	La Puntilla	E	240	
2	PALM 52-53-4-2	A	360	
2	PALM 25-42-3-4	B	360	
2	PALM 25-59-6-1	C	360	
2	PALM 11-41-3-2	D	360	
2	La Puntilla	E	360	

Los resultados fueron analizados mediante un análisis de varianza ANOVA de dos vías con interacción, para identificar los factores que generaron cambios significativos en las variables analizadas. Se utilizó la prueba de Diferencias mínimas Significativas (LSD) para identificar los tratamientos con promedios diferentes. La relación existente entre las diferentes variables dependientes se determinó mediante el coeficiente de correlación de Pearson, y mediante un Análisis de Componentes Principales.

Los análisis estadísticos se llevarán a cabo en el programa STATISTICA v. 13.0 (Statsoft Co, 2014), con un nivel de significancia del 0,05 en todos los análisis. El Análisis de Componentes principales se efectuó utilizando el paquete RStudio v. 1.3.1093 (2002) utilizando la librería FactoMineR (Husson *et al.* 2020).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

4.1.1 Dimensiones

Los resultados relativos a la calidad física del grano son presentados en la Tabla 9 para los genotipos PALM 52-53-4-2 (A), PALM 25-42-3-4 (B), PALM 25-59-6-1 (C), PALM 11-41-3-2 (D) y la variedad comercial “La Puntilla” (E). Se encontró variaciones de 6,5 a 7,5 mm en la longitud y 2,35 a 2,6 mm para el ancho del grano pulido. Las dimensiones del grano presentan una gran variación entre los genotipos de arroz. Nachimuthu *et al.* (2014) reportaron longitudes de 5,8 a 10,5 mm y ancho entre 1,5 a 3,7 mm en 192 accesiones. Zhou *et al.* (2016) indican longitudes entre 6,1 a 7,1 mm y ancho entre 2,05 a 2,1 en arroz tipo Indica, dimensiones similares a las de la presente investigación. Es conocido que los genotipos derivados de la variedad Indica presentan granos de mayor longitud que los de la variedad Japonica, y que éstos últimos presentan un mayor ancho y forma más redondeada (Bergman 2019).

La longitud fue afectada de forma significativa por el genotipo y el Nivel de Nitrógeno (NN) ($p < 0,001$), mientras que el ancho sólo fue afectado significativamente por el genotipo ($p < 0,001$). Una interacción significativa entre el NN y el genotipo se encontró afectando la longitud ($p < 0,001$) pero no sobre el ancho del grano ($p = 0,237$), indicando que la variación en la longitud del grano es diferente según el genotipo.

La Figura 17 A y B muestra la variación en la longitud y ancho del grano con el Genotipo y NN. La longitud del grano mostró una tendencia a incrementar con el NN en todos los genotipos. En los genotipos C y E la menor longitud fue encontrada a un NN de 0 kg/ha, mientras que a 120, 240 y 360 kg/ha no hubo diferencia significativa. En el genotipo D la longitud a 0, 120, y 240 kg/ha no presenta diferencia significativa, siendo mayor a 360 kg/ha. En los genotipos A y B se observó diferencias significativas en los cuatro NN. El ancho del grano (Figura 17 B) no mostró variación en el NN, pero sí cambios significativos en todos los genotipos, de mayor a menor: $B > C > A > D > E$.

Tabla 9. Indicadores de calidad física del grano de arroz

Genotipo	NN	Longitud (mm)	Ancho (mm)	L/A	Tipo	PMG	GTZ
A	0	6,614 ± 0,105 ^f	2,571 ± 0,025 ^d	2,590 ± 0,034 ^{hi}	Mediano	19,600 ± 0,127 ^f	15,98 ± 1,49 ^f
	120	6,811 ± 0,049 ^e	2,576 ± 0,023 ^d	2,661 ± 0,033 ^g	Mediano	20,114 ± 0,209 ^f	12,35 ± 2,30 ^{fg}
	240	6,825 ± 0,156 ^e	2,608 ± 0,026 ^c	2,634 ± 0,034 ^g	Mediano	20,021 ± 0,878 ^f	12,74 ± 2,52 ^{fg}
	360	6,888 ± 0,036 ^{de}	2,577 ± 0,018 ^d	2,690 ± 0,025 ^f	Mediano	20,113 ± 0,284 ^f	13,00 ± 1,62 ^{fg}
B	0	6,598 ± 0,036 ^f	2,709 ± 0,020 ^a	2,441 ± 0,013 ^k	Mediano	21,229 ± 0,137 ^e	68,84 ± 2,17 ^a
	120	6,854 ± 0,071 ^e	2,712 ± 0,020 ^a	2,533 ± 0,018 ^j	Mediano	22,735 ± 0,592 ^c	66,95 ± 2,40 ^a
	240	6,971 ± 0,089 ^{cd}	2,727 ± 0,013 ^a	2,564 ± 0,024 ⁱ	Mediano	23,094 ± 0,530 ^{bc}	66,05 ± 2,42 ^a
	360	7,061 ± 0,052 ^c	2,732 ± 0,040 ^a	2,593 ± 0,032 ^h	Largo	23,418 ± 0,593 ^{ab}	61,72 ± 2,68 ^b
C	0	7,193 ± 0,049 ^b	2,616 ± 0,014 ^{bc}	2,756 ± 0,024 ^e	Largo	22,126 ± 0,255 ^d	36,43 ± 2,29 ^c
	120	7,475 ± 0,039 ^a	2,641 ± 0,010 ^b	2,836 ± 0,007 ^c	Largo	23,577 ± 0,129 ^{ab}	23,17 ± 2,63 ^e
	240	7,483 ± 0,041 ^a	2,632 ± 0,014 ^{bc}	2,850 ± 0,012 ^c	Largo	23,188 ± 0,229 ^{abc}	13,28 ± 2,23 ^{fg}
	360	7,549 ± 0,039 ^a	2,640 ± 0,013 ^b	2,867 ± 0,020 ^c	Largo	23,599 ± 0,187 ^a	9,18 ± 1,14 ^{ghi}
D	0	6,832 ± 0,076 ^e	2,481 ± 0,017 ^e	2,761 ± 0,023 ^{de}	Mediano	19,647 ± 0,346 ^f	31,71 ± 1,45 ^d
	120	6,796 ± 0,083 ^e	2,444 ± 0,027 ^f	2,786 ± 0,029 ^d	Mediano	19,028 ± 0,550 ^g	10,31 ± 1,80 ^{gh}
	240	6,830 ± 0,168 ^e	2,454 ± 0,053 ^{ef}	2,792 ± 0,019 ^d	Mediano	19,076 ± 0,603 ^g	10,34 ± 1,30 ^{ghi}
	360	6,917 ± 0,126 ^{de}	2,461 ± 0,036 ^{ef}	2,817 ± 0,019 ^{cd}	Mediano	19,984 ± 0,720 ^f	5,18 ± 1,50 ⁱ
E	0	6,885 ± 0,049 ^{de}	2,372 ± 0,018 ^g	2,908 ± 0,018 ^b	Mediano	18,173 ± 0,246 ^h	10,58 ± 2,35 ^{gh}
	120	7,189 ± 0,065 ^b	2,400 ± 0,020 ^g	3,002 ± 0,026 ^a	Largo	20,032 ± 0,412 ^f	7,73 ± 2,04 ^{hi}
	240	7,161 ± 0,040 ^b	2,382 ± 0,010 ^g	3,015 ± 0,015 ^a	Largo	19,705 ± 0,123 ^f	8,03 ± 1,45 ^{hi}
	360	7,171 ± 0,030 ^b	2,397 ± 0,025 ^g	2,999 ± 0,026 ^a	Largo	20,055 ± 0,223 ^f	6,51 ± 0,96 ^{hi}

NN: nivel de nitrógeno (kg/ha), PMG: peso de mil granos (g/1000 granos), GTZ: grano tizoso (g granos tizosos/100 g arroz pulido).

Valores reportados como “promedio ± SD” (n = 4). Superíndices diferentes en la misma columna indican diferencia significativa según prueba de Diferencias Mínimas Significativas al 0.05 de error

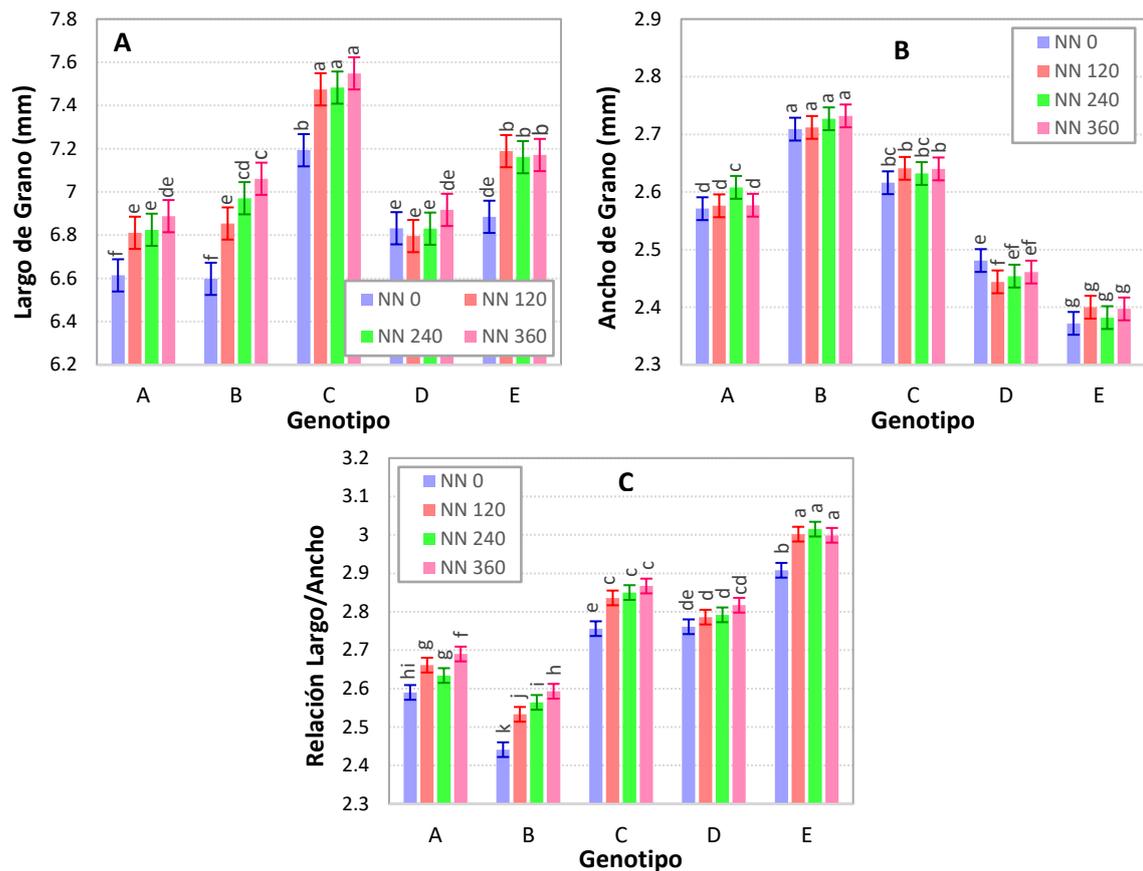


Figura 17. Parámetros de calidad física del grano. A) Largo, B) ancho, C) relación largo/ancho, según el genotipo y el nivel de nitrógeno

Ahmad *et al.* (2009) también reportaron incrementos en la longitud (6,63 a 6,76 mm) y ancho (1,79 a 1,88 mm) al aumentar el NN de 0 a 200 kg/ha, mientras que Zhou *et al.* (2016) no reportan variaciones significativas en el ancho del grano. Se ha determinado una causa genética en el cromosoma 3 del grano de arroz relacionado con el aumento en la longitud del grano (Fitzgerald *et al.* 2009), pero no se ha estudiado el efecto de la fertilización con nitrógeno para incrementar la longitud.

La relación L/A del grano ha sido utilizado como un indicador de la forma del grano (Tabla 4). Los resultados mostrados en la Tabla 9 indican variaciones entre 2,4 a 3,0 de L/A. Este indicador, al igual que la longitud y ancho, presenta una gran variabilidad. Nachimuthu *et al.* (2014) reportaron valores de L/A entre 1,8 a 5,6, dependiendo del genotipo. Las variedades tipo Indica presentan granos con mayor L/A, reportándose valores entre 2,6 a 4 (Singh *et al.* 2005), mientras que las variedades Japonica presentan valores menores, entre 1,6 a 1,8 (Yang *et al.* 2016).

La variación en la relación L/A es mostrada en la Figura 17 C. El genotipo y el NN generaron cambios significativos ($p < 0,001$) en L/A con una interacción significativa ($p < 0,001$), lo cual indica que al igual que en la longitud la variación en el ancho con el NN varió según el genotipo. El genotipo tuvo un mayor efecto que el NN.

El cambio en la relación L/A siguió un patrón similar al de la longitud, tendiendo a incrementar con el NN, es decir a mayor NN el grano tiende a ser más alargado. En los genotipos A y B la relación L/A es menor a 0 kg/ha, mayor a 360 kg/ha, mientras que entre 120 a 240 kg/ha no se observó diferencias significativas. En los genotipos C y E la relación L/A fue mínima a 0 kg/ha, mientras que a 120, 240 y 360 kg/ha es mucho mayor pero sin diferencias significativas a estos NN. En el genotipo D no se observaron variaciones significativas.

Zhou *et al.* (2015), Singh *et al.* (2011) y Leesawatwong *et al.* (2005) también reportaron incrementos en la relación L/A con el NN. El incremento fue variado según el NN, pudiendo incrementar más cuando la relación L/A es menor al NN inicial de 0 kg/ha, con incrementos entre 0,11 a 0,26 según el genotipo. No obstante Yang *et al.* (2016) indican que arroz tipo Japonica no presenta variaciones en la relación L/A con el NN.

Según la longitud y en base a la NTP 205.011 (2014) la forma del grano fue calificado según muestra la Tabla 9, donde los genotipos A y D son medianos y C es largo en todos los NN estudiados. En cambio el genotipo B es mediano mayormente pero a un NN de 360 kg/ha cambia a largo. El genotipo E es mediano al NN de 0 kg/ha mientras que en el resto de NN es largo. Dado que el consumidor en América prefiere granos largos (Suwannaporn & Linnemann 2008, Degiovanni *et al.* 2014), el NN incrementaría la calidad física del arroz al promover un grano más largo.

4.1.2 Peso de grano y contenido de grano tizoso

Los resultados del peso de mil granos (PMG) y contenido de granos tizosos (GTZ) están indicados en la Tabla 9. Se encontró PMG entre 19 a 23,6 g. Pesos similares han sido reportados con variaciones según el genotipo, encontrando pesos de 23,5 a 26,3 g en arroz Japonica (Zhu *et al.* 2017a, Yang *et al.* 2016), 21,1 a 23,8 g en arroz Basmati (Aulakh *et al.* 2016), y 14 – 20 g en arroz Indica (Singh *et al.* 2005),

Tanto el PMG como el GTZ variaron significativamente con el genotipo y NN ($p < 0,001$), siendo el genotipo el factor con mayor efecto (mayor suma de cuadrados). Se evidenció una interacción significativa entre el genotipo y el NN sobre el PMG y GTZ ($p < 0,001$), indicando que la variación en estas variables con el NN depende del genotipo.

La Figura 18 A ilustra la variación en el PMG según el genotipo y NN. Se encontró una tendencia a aumentar el PMG con el NN, siendo los genotipos B y C los que presentaron mayor masa. En el genotipo A, el PMG no mostró diferencias significativas en los cuatro NN, y en el genotipo D hay una tendencia irregular con mayores pesos a NN de 0 y 360 kg/ha y menores a 120 y 240. En el genotipo B el PMG aumentó significativamente con cada NN. En los genotipos C y E se encontró un mayor PMG a NN de 120, 240 y 360 kg/ha sin encontrar diferencias significativas entre estos tres últimos NN.

Se ha reportado diferentes efectos del NN sobre el PMG, en arroz tipo Japonica súper suave, el PMG se redujo con el NN (entre 0 a 330 kg/ha) de 26,3 a 25 g (Zhu *et al.* 2017a) o no mostró cambios significativos (Yang *et al.* 2016), mientras que en arroz tipo Indica el PMG incrementó entre 17,9 a 19,7 g a NN entre 0 a 60 kg/ha (Singh *et al.* 2011), lo que indica la alta influencia del genotipo en el incremento del peso con el NN, donde los granos de menor peso podrían tener una mayor influencia.

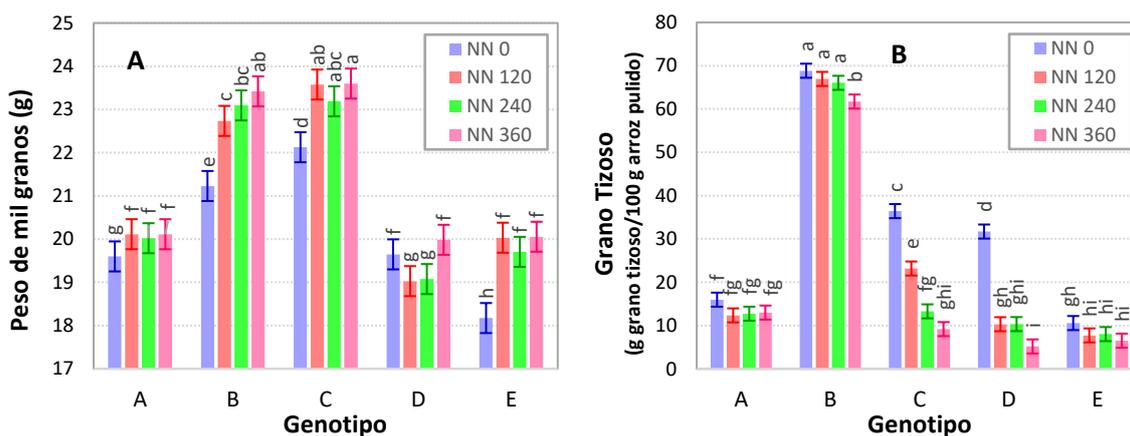


Figura 18. Peso de mil granos (A) y proporción de granos tizosos (B) según el genotipo y nivel de nitrógeno

Un aspecto importante en la calidad física del grano es la presencia de granos tizosos o calcáreos, caracterizados por la presencia de manchas blancas opacas en el grano. En la Tabla 9 se observa cambios en el Contenido en masa de granos tizosos (GTZ) entre 6,5 a

68 por ciento (g grano tizoso/100 g pulido entero). Amplios resultados en este indicador son reportados según el genotipo, con variaciones de 46,9 a 78,5 en arroz Indica (Zhou *et al.* 2016), 13 a 16 por ciento en Pakistán (Ahmad *et al.* 2009), 4,4 a 9,8 por ciento arroz Javánica (Sreethong *et al.* 2018), 24,3 a 60,3 por ciento en arroz Japónica (Yang *et al.* 2016), y 24 a 37 por ciento en híbridos Indica-Japónica (Zhang *et al.* 2019).

La Figura 18 B muestra una disminución en el GTZ con el aumento en el NN, con cambios dependientes del genotipo. En el genotipo A el GTZ no sobrepasó el 16 por ciento, encontrando GTZ mayor a NN de 0 kg/kg que 120, 240 y 360 kg/ha, sin diferencias significativas entre éstos tres NN. El genotipo B fue el que presentó mayor cantidad de granos calcáreos, con un GTZ superior al 60 por ciento en todos los casos, observando que a un NN de 360 kg/ha el GTZ es significativamente menor al resto de NN, no se halló diferencias significativas a NN entre 0 y 240 kg/ha. En el genotipo C el GTZ disminuyó de forma significativa con cada NN desde 36 hasta 9 por ciento. El genotipo D también muestra una reducción en el GTZ aunque a 120 y 240 kg/ha no hubo diferencia significativa. El genotipo E fue el que presentó el menor GTZ, siendo inferior a 11 por ciento en todos los NN, aunque no fue muy afectado por el NN donde sólo a 0 kg/ha el GTZ fue mayor al resto de NN, sin encontrar diferencia significativa a NN superiores entre 120 a 240 kg/ha.

El NN ha mostrado reducir de forma significativa el contenido de granos tizosos (Zhou *et al.* 2016, Ahmad *et al.* 2009, Qiao *et al.* 2011) con disminuciones entre 11,6 a 28,2 por ciento al incrementar el NN de 0 a 180 kg/ha. La formación de granos tizosos se debe a un arreglo insuficiente de los gránulos de almidón en el endospermo debido a un aporte insuficiente de sustrato durante el desarrollo del endospermo (Bergman 2019, Fitzgerald *et al.* 2009). Por lo tanto el mejoramiento del suelo por adición de nitrógeno podría acumular más proteína y almidón en el grano, generando un endospermo más densamente empacado con gránulos de almidón y espacios ocupados por cuerpos proteicos (Zhou *et al.* 2015). Este efecto podría estar relacionado con una mayor actividad de las enzimas ligadas a la conversión de sacarosa en almidón en el endospermo, particularmente las enzimas “almidón sintasa ligadas al gránulo” (Zhang *et al.* 2019).

En América Latina el consumidor está orientado hacia granos translúcidos, sin la presencia de granos tizosos (Pérez y Montoya 2009, León y Carreres 2002). Por tanto el genotipo B, con alto porcentaje de grano tizoso no alcanza este requerimiento, mientras

que en el resto de los genotipos estudiados, el incremento en el NN permitiría mejorar la calidad física del grano al disminuir el GTZ.

4.1.3 Relación entre indicadores de calidad física

Las relaciones entre las características de calidad física son mostrados en la Tabla 10, donde se observa una relación positiva significativa entre el PMG y el ancho del grano y negativa con la relación L/A, indicando que el peso del grano aumenta en granos más anchos y disminuye en granos alargados. El GTZ tuvo una relación significativa ($p < 0,001$) positiva con el ancho y PMG y negativa con L/A indicando que granos más anchos tienden a presentar más GTZ.

Tabla 10. Relación entre los indicadores de calidad física

Variables	Longitud	Ancho	L/A	PMG	GTZ
Longitud	1	-0,380	0,697***	0,136	-0,212
Ancho		1	-0,928***	0,837***	0,847***
L/A			1	-0,596**	-0,742***
PMG				1	0,853***
GTZ					1

PMG: peso de mil granos, GTZ: contenido de grano tizoso. Asteriscos indican nivel de significancia: * al 0.05, ** al 0.01, *** al 0.001

Zhou *et al.* (2016) también reportan una correlación significativa entre el ancho del grano y el GTZ y negativa con L/A. Bathacharya (2011) describe que granos más anchos tienden a reducir la velocidad en el aporte de nutrientes hacia el centro del endospermo, implicando una menor velocidad de formación de almidón y pobre empaquetamiento de gránulos. El genotipo B al tener menor relación L/A presenta el más alto GTZ.

4.2 CALIDAD DE MOLIENDA

Los resultados del rendimiento de grano (RG), rendimiento de grano entero (RGE) y proporción de grano entero en el arroz pulido (GEAP) son mostrados en la Tabla 11. El rendimiento de grano varió entre 67 a 71,5 por ciento. Rendimientos similares han sido reportados en arroz tipo Bastami con 64 a 70 por ciento (Aulakh *et al.* 2016), arroz tipo Japónica variedad “Nanjing” con 70 a 73,7 (Huang *et al.* 2016) y arroz tipo Indica con 62 a 67 por ciento (Zhou *et al.* 2015).

Tabla 11. Rendimiento de grano, rendimiento de grano entero y contenido de grano entero en arroz pulido

Genotipo	NN (kg/ha)	RG	RGE	GEAP
A	0	68,01 ± 1,26 ^{de}	62,83 ± 1,55 ^{de}	92,38 ± 0,64 ^{cde}
	120	67,11 ± 0,77 ^{ef}	51,97 ± 0,53 ^{de}	93,58 ± 1,17 ^{bcd}
	240	69,09 ± 0,65 ^{cd}	57,75 ± 0,48 ^{bc}	93,86 ± 1,96 ^{bcd}
	360	69,38 ± 0,35 ^{cd}	58,48 ± 0,39 ^b	95,43 ± 0,50 ^{ab}
B	0	67,09 ± 0,85 ^{ef}	64,45 ± 2,74 ⁱ	77,47 ± 1,51 ⁱ
	120	67,58 ± 1,13 ^e	62,79 ± 0,51 ^h	80,47 ± 2,06 ⁱ
	240	69,97 ± 1,13 ^c	54,40 ± 2,24 ^f	85,31 ± 2,74 ^h
	360	70,17 ± 0,49 ^{bc}	56,74 ± 0,98 ^{cde}	90,31 ± 1,46 ^{ef}
C	0	67,67 ± 1,15 ^e	58,08 ± 1,06 ^g	85,37 ± 1,68 ^h
	120	67,72 ± 0,63 ^e	66,41 ± 1,08 ^g	83,79 ± 1,22 ^h
	240	68,52 ± 0,45 ^{de}	64,85 ± 1,96 ^e	90,07 ± 1,82 ^{ef}
	360	68,37 ± 0,49 ^{de}	59,70 ± 2,24 ^{cde}	92,52 ± 1,13 ^{cd}
D	0	65,72 ± 0,89 ^g	61,71 ± 1,53 ^{fg}	88,99 ± 1,40 ^{fg}
	120	66,09 ± 0,45 ^{fg}	59,80 ± 0,20 ^{fg}	87,88 ± 1,46 ^g
	240	65,72 ± 1,64 ^g	69,09 ± 0,65 ^f	91,03 ± 2,23 ^{def}
	360	68,05 ± 0,49 ^{de}	66,21 ± 0,56 ^e	91,88 ± 1,46 ^{de}
E	0	70,22 ± 1,68 ^{bc}	63,38 ± 1,39 ^{bcd}	91,75 ± 1,83 ^{de}
	120	70,36 ± 1,39 ^{bc}	63,26 ± 0,93 ^b	94,39 ± 0,87 ^{abc}
	240	71,73 ± 0,66 ^a	62,52 ± 0,94 ^a	96,32 ± 0,43 ^a
	360	71,47 ± 0,73 ^{ab}	68,93 ± 0,71 ^a	96,44 ± 0,72 ^a

NN: nivel de nitrógeno (kg/ha), RG: rendimiento de grano (g arroz pulido/100 g arroz-cáscara), RGE: rendimiento de grano entero (g arroz entero/100 g arroz-cáscara), GEAP: proporción de grano entero en arroz pulido (g arroz entero/100 g arroz pulido)
 Resultados reportados como “promedio ± SD” (n = 4). Superíndices diferentes en la misma columna indican diferencia significativa según prueba de Diferencias Mínimas Significativas (LSD) a 0.05 de error

El rendimiento de grano (RG) fue afectado significativamente por el nivel de nitrógeno (NN) y el genotipo ($p < 0,001$) con una interacción significativa entre estos factores ($p < 0,001$), donde el genotipo tuvo mayor efecto que el NN (al tener mayor suma de cuadrados). La interacción significativa indica que la variación en el RG con el NN es diferente entre los diferentes genotipos estudiados. Entre los genotipos se encontró que el genotipo E mostró los mayores RG, seguido de los genotipos A, B y C, mientras que D mostró los menores RG.

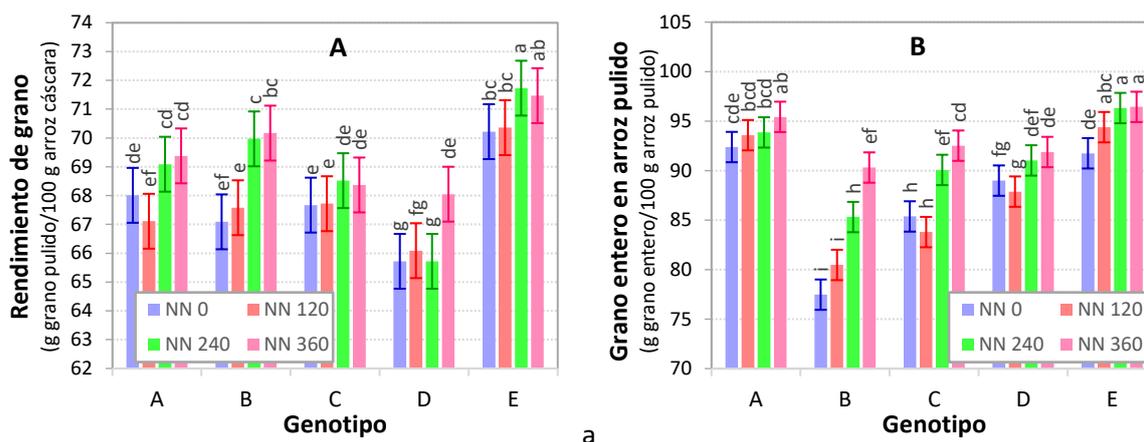


Figura 19. Rendimiento de grano (A) y contenido de grano entero en arroz pulido (B) según el genotipo y el nivel de nitrógeno

La Figura 19 A muestra el rendimiento de grano (RG) y proporción de grano entero en arroz pulido (GEAP). El RG incrementó con el NN. En los genotipos A, B, y E el RG fue menor a niveles de NN de 0 y 120 kg/ha (sin diferencia significativa), y mayor a 240 y 360 kg/ha (sin diferencia significativa). En el genotipo D se observa que sólo a 360 kg/ha hubo un incremento significativo en el RG. En el genotipo C hay una menor diferencia (significativa) entre los NN 0 y 120 respecto a 240 y 360 kg/ha.

Ha sido reportado que una mayor fertilización con nitrógeno permite incrementar el rendimiento de grano pulido (Aulakh *et al.* 2016, Walker *et al.* 2008), siendo el efecto posiblemente al incremento del ancho del grano, lo que ocasionaría un mayor volumen de grano (Zhou *et al.* 2015).

El rendimiento de grano entero (RGE, masa grano pulido entero/arroz cáscara), mostrado en la Tabla 11, tuvo una variación entre 51 a 69 por ciento. Resultados similares han sido reportados con diferencias según la variedad de arroz, con rendimientos entre 41 a 55 por ciento para la variedad Indica (Zhou *et al.* 2015, Aulakh *et al.* 2016) en comparación con 66 a 71 por ciento para la variedad Japonica (Huang *et al.* 2016). Por otro lado al GEAP (masa arroz pulido entero/arroz pulido) presentó valores entre 77 a 96 por ciento, valores similares reportados por Leesawatwong *et al.* (2005) en arroz de cultivares Thai.

Para al RGE (masa arroz pulido entero/arroz cáscara) y GEAP (masa arroz pulido entero/arroz pulido) se determinó que el NN y el genotipo generaron cambios significativos en el RGE ($p < 0,001$), siendo el efecto del genotipo mayor que del NN. Se

determinó una interacción significativa entre ambos factores ($p < 0,001$), indicando que la variación en el RGE y GEAP con el NN fue diferente entre los genotipos estudiados.

La Figura 19 B muestra que el GEAP tiende a aumentar con el NN, en todos los genotipos. Los genotipos con mayor GEAP fueron A y E, seguido de D, C y finalmente B. En el genotipo A no se encontraron diferencias significativas en el GEAP con el NN a excepción de 360 kg/ha, mayor a todos. El genotipo B fue el más afectado por el NN, presentando diferencias significativas en todos los NN. El genotipo C no tuvo cambios significativos a 0 y 120 kg/ha pero sí entre estos niveles y los niveles 240 y 360 kg/ha. El genotipo D no mostró cambios a 0 y 120 kg/ha, a NN de 240 y 360 kg/ha el GEP aumenta, sin cambios significativos entre estos dos últimos niveles. En el genotipo E el GEAP incrementó hasta 240 kg/ha, sin mostrar un cambio significativo con 360 kg/ha.

Se ha reportado mejoras en el GEAP con el NN. Leesawatwong *et al.* (2005) utilizando NN entre 0 y 120 kg/ha muestran incrementos en hasta 10 por ciento, Huan, Yu *et al.* (2016) también reportan incrementos aunque menores, con resultados que sugieren que granos con altas proporciones de GEP sufren menores incrementos con el NN.

La relación entre los indicadores de calidad molinera y calidad física son indicados en la Tabla 12. El RG sólo tuvo una relación significativa baja con el GEAP, mientras que este indicador tuvo una relación positiva con el ratio L/A ($r = 0,603$), y negativa con el ancho ($r = -0,612$ y GTZ ($r = -0,78$), sugiriendo que granos más anchos y con mayor GTZ reducen el contenido de grano entero, mientras que granos más alargados (mayor relación L/A) incrementan el GAEP.

Tabla 12. Correlaciones entre los indicadores de calidad de molienda y física

Variables	RG	GEAP	Largo	Ancho	L/A	PMG	GTZ
RG	1	0,482*	0,333	-0,183	0,393	0,054	-0,101
GE		1	0,159	-0,612**	0,603**	-0,459*	-0,780***

RG: rendimiento de grano, GEAP: contenido de grano entero en arroz pulido, PMG: peso de mil granos, GTZ: granos tizosos. Asteriscos indican nivel de significancia: * al 0.05, ** al 0.01, *** al 0.001

Zhou *et al.* (2015) reportan también una relación negativa entre el GEAP y el contenido de granos tizosos. Este tipo de grano tiende a ser más frágil en comparación a granos translúcidos, más rígidos y resistentes al proceso de molienda (Bergman 2019, Bao

2019b), por lo que su presencia reduce la proporción de granos enteros obtenidos. El ancho del grano estaría relacionado negativamente con el GEAP debido al aumento en el GTZ con un aumento en el ancho, mientras que mayor L/A aumenta el GEAP dado que mayor L/A reduce la posibilidad de granos tizosos (Bathacharya 2011).

4.3 COMPOSICIÓN DEL GRANO

4.3.1 Contenido de amilosa

La Tabla 13 muestra el contenido de proteína (CP) y contenido de amilosa (CA). El CA varió entre 14 y 20 por ciento, contenidos calificados como bajo (Fasahat *et al.* 2014). Resultados similares fueron reportados por González *et al.* (2004) con 18 a 25,4 por ciento en genotipos de Brasil, y Pérez y Montoya (2009), con 15,4 a 23,6 por ciento en genotipos de Colombia.

El contenido de amilosa es dependiente del genotipo reportándose contenidos variables entre cultivares: 9 a 21,0 por ciento en arroz Basmati (Singh *et al.* 2011), 11,1 a 15,3 (Huang *et al.* 2016) y 15,9 a 19 por ciento (Yang *et al.* 2016) en genotipos derivados de la subespecie Japónica, 16,6 a 18,6 por ciento en genotipos tipo Javánica (sur de Asia, Sreethong *et al.* 2018) y 22,3 a 23,1 en arroz Indica (Zhou *et al.* 2015).

El CA ha sido relacionado positivamente con la dureza y negativamente con la pegajosidad del grano cocido, de forma que granos con niveles intermedios y altos de CA permanecen más sueltos y duros tras la cocción (Sing *et al.* 2005, Kong *et al.* 2015 b, Tran *et al.* 2001, Wang *et al.* 2010). Los CA mostrados en la Tabla 13 indican que los genotipos estudiados son de bajo CA. Tran *et al.* (2001) indican la existencia de variedades no glutinosas con CA entre 13,8 a 14,4 por ciento. Además la dureza y adhesividad en granos con CA entre 13 a 18 por ciento puede ser equivalente (Li, Prakash *et al.* 2016). Esto sugiere que los genotipos de arroz estudiados pueden desarrollar la característica no glutinosa esperada por el consumidor en América Latina (Torres & Martínez 2010).

El genotipo y el NN tuvieron un efecto significativo ($p < 0,001$) sobre el CA, con el NN mostrando una mayor influencia que el genotipo (mayor suma de cuadrados). No se encontró una interacción significativa entre genotipo y NN ($p = 0,102$), indicando que el cambio en el CA con el NN es muy similar en los genotipos estudiados.

Tabla 13. Contenido de amilosa y proteína del grano de arroz

Genotipo	NN	Humedad (g/100 g arroz)	Amilosa (g/100 g arroz b.h)	Proteína (g/100 g arroz b.h)
A	0	10,87 ± 0,44 ^{abc}	13,255 ± 1,520 ^g	5,575 ± 0,120 ^k
	120	10,58 ± 0,04 ^{bcd}	15,340 ± 1,273 ^{ef}	6,985 ± 0,064 ^{ij}
	240	10,60 ± 0,13 ^{bcd}	17,180 ± 0,919 ^{bcd}	8,235 ± 0,008 ^g
	360	10,50 ± 0,17 ^{cd}	18,735 ± 0,262 ^{ab}	9,825 ± 0,064 ^c
B	0	10,95 ± 0,28 ^{abc}	15,465 ± 1,506 ^{ef}	5,540 ± 0,071 ^k
	120	10,37 ± 0,18 ^{cd}	16,160 ± 0,354 ^{cde}	6,855 ± 0,050 ^j
	240	10,58 ± 0,28 ^{bcd}	18,625 ± 0,389 ^b	8,700 ± 0,057 ^f
	360	10,22 ± 0,22 ^d	19,285 ± 0,431 ^{ab}	10,410 ± 0,071 ^b
C	0	10,93 ± 0,02 ^{abc}	12,605 ± 0,177 ^g	5,485 ± 0,070 ^k
	120	10,43 ± 0,09 ^{cd}	16,265 ± 0,346 ^{cde}	7,505 ± 0,064 ^h
	240	10,24 ± 0,16 ^d	17,795 ± 0,375 ^{bc}	9,635 ± 0,035 ^d
	360	10,72 ± 0,28 ^{bcd}	17,780 ± 1,259 ^{bc}	10,890 ± 0,127 ^a
D	0	10,74 ± 0,10 ^{bcd}	16,710 ± 0,283 ^{cde}	5,530 ± 0,184 ^k
	120	10,59 ± 0,27 ^{bcd}	16,775 ± 1,294 ^{cde}	7,040 ± 0,014 ⁱ
	240	10,74 ± 0,16 ^{bcd}	18,705 ± 0,318 ^{ab}	8,630 ± 0,071 ^f
	360	10,41 ± 0,24 ^{cd}	20,310 ± 1,047 ^a	9,820 ± 0,071 ^c
E	0	11,40 ± 0,68 ^a	10,835 ± 0,361 ^h	5,485 ± 0,040 ^k
	120	10,39 ± 0,04 ^{cd}	14,190 ± 0,453 ^{fg}	6,850 ± 0,014 ^j
	240	11,12 ± 0,09 ^{ab}	16,075 ± 0,205 ^{de}	8,915 ± 0,233 ^e
	360	11,06 ± 0,23 ^{ab}	15,495 ± 0,375 ^{ef}	9,765 ± 0,008 ^{cd}

NN: nivel de nitrógeno (kg/ha). Resultados reportados como “promedio ± SD” (n = 2). Superíndices diferentes en la misma columna indican diferencia significativa según prueba de Diferencias Mínimas Significativas (LSD) a 0.05 de error

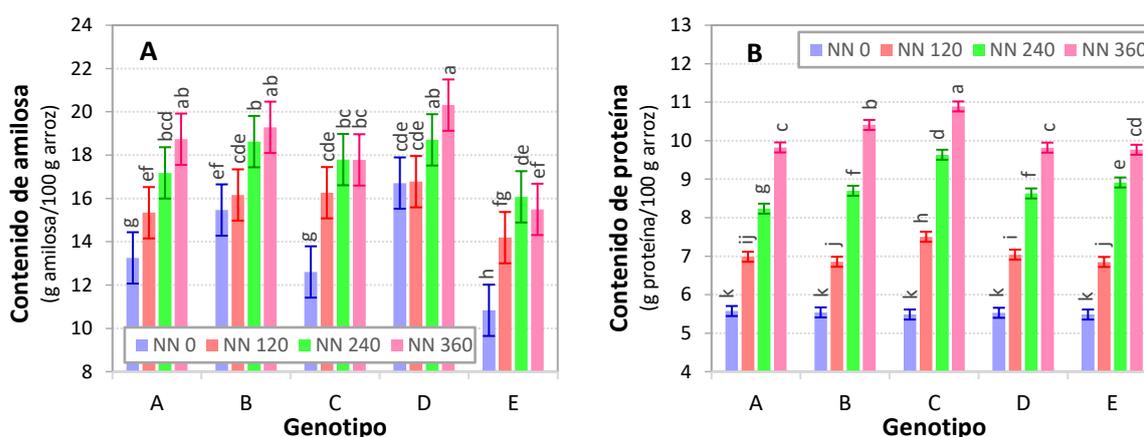


Figura 20. Contenido de amilosa (A) y contenido de proteína (B) del grano de arroz según el genotipo y el nivel de nitrógeno

La Figura 20 A muestra el CA según el genotipo y NN. Los genotipos D y B tuvieron los mayores CA, seguido de A y C, y E tuvo los menores CA. En todos los genotipos se encontró una tendencia a incrementar el CA con el NN. En A se encontró diferencias significativas en el CA en todos los NN estudiados. En los genotipos B, C y E el CA aumenta de forma significativa entre los NN 0, 120 y 240, pero a 360 kg/ha no hubo diferencia significativa respecto a 240. En el genotipo D el CA es menor a 0 y 120 kg/ha (ambos sin diferencia significativa), y mayor a 240 y 360 kg/ha (ambos sin diferencia significativa).

El CA depende significativamente de la variedad de arroz, siendo conocido las causas genéticas de un mayor CA, atribuido a un polimorfismo en el gen *Waxy*, localizado en el sexto cromosoma del arroz, codificante de la enzima Almidón Sintasa Ligada al Gránulo (ASLG), lo que explica las diferencias entre arroz con bajo y alto CA (Fasahat *et al.* 2014, Vandeputte & Delcour 2004). Referente a la influencia del NN Ahmad *et al.* (2009), Cao *et al.* (2017) y Zhang, Xie y Yang (2008) reportaron incrementos continuos en el CA con el NN en arroz tipo Japónica. Singh *et al.* (2011) y Huang *et al.* (2016) en cambio reportan una disminución en el CA a bajos NN y posterior aumento a mayor NN en arroz Basmati y Japónica respectivamente, lo que muestra las diferencias en la respuesta del arroz al NN según el genotipo.

Variaciones en el CA han sido explicados por competitividad entre las enzimas sintetizadoras de almidón, principalmente ASLG, y de la enzima ramificadora (Han *et al.* 2019). Umemoto y Terashima (2002) indican que en granos con contenido bajo e intermedio de amilosa existe una relación directa entre el CA y la actividad de la ASLG. En el gránulo de almidón la amilosa es formada inicialmente por elongación de cadenas cortas de amilopectina por la ASLG hasta obtener una cadena ramificada larga, entonces es rota por la misma enzima cuando ésta es alcanzada por un nueva cadena corta, de forma que la cadena ramificada larga se convierte en amilosa (Vandeputte y Delcour 2004). Esta teoría guarda relación con que un mayor CA está relacionado con cadenas ramificadas de amilopectina de mayor longitud (Chung *et al.* 2011, Park *et al.* 2007, Li *et al.* 2018) y en mayor proporción (Chung *et al.* 2011). Zhang *et al.* (2008) encontraron que la actividad de la ASLG es promovida por la adición de nitrógeno al suelo, explicando un CA mayor con el NN

Torres y Martínez (2010) indican que el consumidor en América Latina está orientado a granos con CA intermedio (20 a 25 por ciento), la adición de nitrógeno mejora las características culinarias del grano cocido al incrementar el CA. De los genotipos estudiados el genotipo D tendría las mejores características culinarias al presentar los mayores valores de CA. Referente al contenido de humedad no se encontró una tendencia definida entre el NN y la humedad.

4.3.2 Contenido de proteína

El contenido de proteína (CP) varió entre 5,4 a 10,8 por ciento (Tabla 13). Otros estudios indican un CP entre 4 a 11 por ciento (Ferreira *et al.* 2017), donde la variedad Indica puede presentar mayor CP que la variedad Japónica, con valores entre 7,1 – 9,8 por ciento y 6 – 7 por ciento respectivamente (Sun *et al.* 2008). La Figura 20 B muestra el CP según el Genotipo y NN, ambos factores generaron cambios significativos en el CP ($P < 0,001$) con una interacción significativa ($P < 0,001$), lo que sugiere que el CP cambia con el NN de forma diferente dependiendo del genotipo. Al igual que en el CA el NN tuvo un mayor efecto que el genotipo en la variación del CP (mayor suma de cuadrados).

En la Figura 20 B se observa una tendencia a incrementar el CP con el NN en todos los genotipos, existiendo diferencia significativa en los cuatro NN ($360 > 240 > 120 > 0$ kg/ha). Además a un NN de 0 kg/ha no hay diferencia significativa en los cinco genotipos, mientras que en el resto de NN el genotipo C tuvo el CP, y los genotipos A y E presentan los menores valores. Se ha reportado que el aumento en el NN en el suelo incrementa el CP del grano de arroz (Leesawatwong *et al.* 2005, Huang *et al.* 2016, Ahmad *et al.* 2009, Singh *et al.* 2011), de forma que al aplicar un NN hasta 220 kg/ha el CP puede incrementar en 1 a 5 por ciento dependiendo del genotipo.

Las principales proteínas en el arroz son las glutelinas, con 60 a 65 por ciento, y prolaminas, con 20 por ciento del total de proteínas del endospermo, ubicadas principalmente en los cuerpos proteicos (Juliano & Tũaño 2019). La concentración de estas proteínas puede aumentar con el NN; Leesawatwong *et al.* (2005) y Ning *et al.* (2010) reportan que al incrementar el NN de 0 a 120 kg/ha el contenido de glutelinas y prolaminas del endospermo aumentan en 10 a 24 mg/kg y 1 a 5 mg/kg, mientras que las albúminas y globulinas tienden a no presentar variaciones significativas con el NN.

Se encontró una correlación positiva significativa ($r = 0,753$, $p < 0,01$) entre el CA y CP, indicando que un mayor CP guarda relación con un mayor CA. De estos dos atributos, el CP mostró una correlación significativa con el GEAP ($r = 0,437$, $p = 0,054$), sin encontrarse correlación con otros atributos.

Zhu *et al.* (2017a) indican una relación positiva entre el GEAP y CP, según Bao (2019b) el aumento en el contenido de proteínas de almacenamiento en la región lateral del endospermo mejora la calidad molinera y culinaria del grano de arroz, pudiendo otorgar resistencia y disminuyendo el quebrado durante la molienda. Ferreira *et al.* (2017) y Tran *et al.* (2001) también sugieren que un mayor CP promueve granos más duros y menos pegajosos cuando la proteína hidratada durante la cocción forma una barrera alrededor del gránulo de almidón.

4.4 CALIDAD DE COCCIÓN

La calidad de cocción fue evaluada a través de la capacidad de absorción de agua (CAA), solubilidad (SOL) y capacidad de hinchamiento (CH) del arroz molido, cuyos resultados son mostrados en la Tabla 14. Se determinó CAA entre 9,6 – 11,8 g /g harina a 90° C, mientras que la CH, muy relacionada con la CAA, estuvo entre 11,8 – 13,9 g/g. En harina de arroz se han reportado valores de CH entre 10,76 – 12,9 g/g (Yu *et al.* 2012), 12 – 16,1 g/g (Thiranusornkij *et al.* 2019) y 8,5 – 11,3 g/g (Ye *et al.* 2018) en arroz molido de diferentes variedades. El almidón extraído de arroz puede presentar una CH mayor al valor respectivo a la harina (Tangsrianugul *et al.* 2019).

El genotipo y el NN ejercieron un efecto significativo ($p < 0,01$) en la CAA y CH, siendo el genotipo el factor que mostró mayor efecto (mayor suma de cuadrados). No se encontró interacción significativa sobre la CAA ($p = 0,383$), sugiriendo que la variación con el NN es similar en los genotipos estudiados. Sí se encontró interacción significativa entre el genotipo y NN sobre la CH ($p = 0,040$).

La Figura 21 A muestra la CAA según el genotipo y NN, una tendencia similar fue encontrado en la CH. Los genotipos A y E mostraron mayor CAA y CH, seguido de B y C, y menor en el genotipo D. En todos los casos se observa una tendencia a disminuir la CAA al aumentar el NN. En los genotipos A y C la CAA se reduce de forma significativa entre los NN de 0 a 240 kg/ha, mientras que a 360 kg/ha de NN la CAA no mostró diferencia significativa respecto a 240 kg/ha.

Tabla 14. Capacidad de absorción de agua, solubilidad y capacidad de hinchamiento según el genotipo y nivel de nitrógeno

Genotipo	NN	CAA	SOL	CH
A	0	11,839 ± 0,143 ^a	15,298 ± 0,433 ^h	13,916 ± 0,244 ^a
	120	11,346 ± 0,172 ^c	15,445 ± 0,047 ^h	13,175 ± 0,203 ^{bc}
	240	11,156 ± 0,010 ^{cd}	16,592 ± 0,165 ^f	13,123 ± 0,040 ^{bc}
	360	11,028 ± 0,141 ^{cd}	19,471 ± 0,188 ^c	13,397 ± 0,213 ^{ab}
B	0	11,088 ± 0,248 ^{cd}	17,301 ± 0,044 ^{ef}	12,473 ± 0,295 ^{ef}
	120	10,587 ± 0,359 ^{ef}	19,412 ± 0,453 ^c	13,020 ± 0,497 ^{bcd}
	240	10,312 ± 0,190 ^{efg}	19,704 ± 0,529 ^c	12,514 ± 0,177 ^{def}
	360	10,117 ± 0,330 ^g	21,529 ± 0,422 ^a	12,502 ± 0,418 ^{def}
C	0	11,169 ± 0,033 ^c	15,105 ± 0,472 ^h	12,494 ± 0,016 ^{ef}
	120	10,747 ± 0,116 ^{de}	16,947 ± 0,250 ^f	12,804 ± 0,098 ^{cde}
	240	10,261 ± 0,256 ^{fg}	16,300 ± 0,227 ^{fg}	11,909 ± 0,277 ^g
	360	10,036 ± 0,081 ^{gh}	17,901 ± 0,681 ^e	12,005 ± 0,172 ^{fg}
D	0	10,594 ± 0,101 ^{ef}	17,780 ± 0,357 ^e	11,990 ± 0,157 ^{fg}
	120	10,687 ± 0,217 ^{de}	18,228 ± 0,518 ^{de}	12,603 ± 0,060 ^{cde}
	240	10,224 ± 0,041 ^{fg}	19,113 ± 0,179 ^c	12,345 ± 0,100 ^{efg}
	360	9,669 ± 0,046 ^h	20,595 ± 0,325 ^b	11,885 ± 0,042 ^g
E	0	11,851 ± 0,063 ^a	15,568 ± 0,069 ^{gh}	13,748 ± 0,100 ^a
	120	11,789 ± 0,103 ^{ab}	17,021 ± 0,351 ^f	13,924 ± 0,087 ^a
	240	11,418 ± 0,472 ^{bc}	17,648 ± 0,473 ^{ef}	13,580 ± 0,626 ^{ab}
	360	11,183 ± 0,035 ^c	18,861 ± 0,083 ^{cd}	13,496 ± 0,062 ^{ab}

CAA: capacidad de absorción de agua (g agua/g sólidos), SOL: solubilidad (g Sólidos solubles/100 g sólidos), CH: capacidad de hinchamiento (g agua/g sólido no soluble), NN: nivel de nitrógeno (kg/ha). Resultados reportados como “promedio ± SD” (n = 2). Superíndices diferentes en la misma columna indican diferencia significativa según prueba de Diferencias Mínimas Significativas (LSD) a 0.05 de error

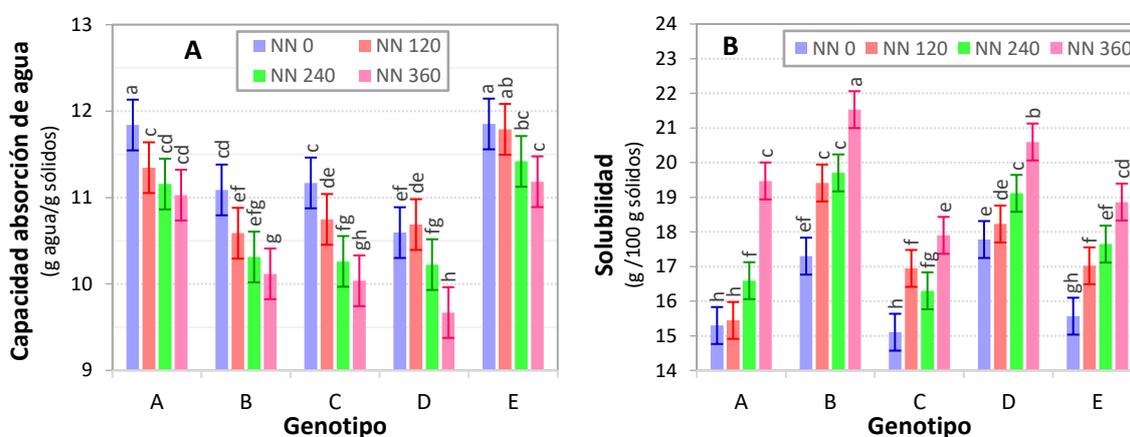


Figura 21. Capacidad de absorción de agua (A) y solubilidad (B) de la harina de arroz según el genotipo y nivel de nitrógeno

En los genotipos D y E a NN de 0 y 120 kg/ha no se encontraron diferencia significativa, mientras que al aumentar a 240 y 360 kg/ha la CABA disminuye de forma significativa. En el genotipo C no se encontró diferencia significativa a NN entre 120 y 240 kg/ha.

La SOL mostró valores entre 15,1 y 20,6 por ciento (Tabla 14), valores similares fueron encontrados en arroz Indica con una SOL entre 11,3 a 22,1 por ciento (Tangsrianugul *et al.* 2019). La solubilidad también fue afectada significativamente por el genotipo y NN ($p < 0,001$) con una interacción significativa entre estos factores ($p < 0,01$), siendo el NN la variable con mayor efecto (mayor suma de cuadrados).

A diferencia de la CAA la SOL mostró una tendencia a incrementar con el NN. En los genotipos A y D la SOL no tuvo diferencias significativas a 0 y 120 kg/ha, pero sí a NN superiores. En los genotipos B, C y E la SOL incrementa significativamente entre 0 y 120 kg/ha, a 240 kg/ha no se hubo diferencia significativa respecto a 120 kg/ha, y a 360 kg/ha la SOL es significativamente superior a 240 kg/ha.

La CAA y CH mostraron un cambio opuesto a la SOL. Un aumento del NN ha sido relacionado con una disminución de la CH y CAA (Cao *et al.* 2017) y un aumento de la SOL (Cao *et al.* 2017, Zhu *et al.* 2017b). Este comportamiento podría estar relacionado con el contenido de amilosa y el contenido de nitrógeno. La Tabla 15 muestra una correlación negativa del CA con la CAA ($r = -0,837$) y CH ($r = -0,601$) pero positiva con la SOL ($r = 0,78$). El CP está también relacionado negativamente con la CAA ($r = -0,601$) y positivamente con la SOL ($r = 0,627$), mientras que con la CH no mostró una relación significativa. Previamente se han reportado relaciones similares entre el CA con la CH y SOL (Cao *et al.* 2017, Wang *et al.* 2010, Kong *et al.* 2015b, Tangsrianugul *et al.* 2019).

Tabla 15. Correlaciones entre el contenido de amilosa, contenido de proteína con la capacidad de absorción de agua, capacidad de hinchamiento y solubilidad de la harina de arroz

Variables	CAA	SOL	CH	CA	CP
CAA	1	-0,678**	0,873***	-0,837***	-0,601**
SOL		1	-0,330	0,780***	0,627**
CH			1	-0,600**	-0,284
CA				1	0,753***
CP					1

CAA: capacidad de absorción de agua, SOL: solubilidad, CH: capacidad de hinchamiento, CA: contenido de amilosa, CP: contenido de proteína. Asteriscos indican nivel de significancia: * al 0.05, ** al 0.01, *** al 0.001

Ha sido considerado que la amilosa inhibe el hinchamiento (Wang *et al.* 2010) y que un mayor hinchamiento está relacionada a una mayor proporción de amilopectina y su estructura (Yu *et al.* 2012). Por otro lado Zhan *et al.* (2019) indican que las proteínas en el endospermo se distribuyen en Proteínas de Canales del Gránulo y Proteínas Asociadas al Gránulo de Almidón (PAGA), éstas últimas rodeando al gránulo. Cuando las PAGA disminuyen con un menor CP el gránulo presenta mayor acceso a la hidratación (con el consecuente aumento en la CAA y CH), y reduce la resistencia a la lixiviación de sólidos desde el gránulo (incrementando la SOL). Este efecto conjunto explicaría los cambios en la CAA, CH y SOL con el CA y CP en la harina de arroz.

Aunque los indicadores de calidad de cocción presentan relaciones diferentes con las características culinarias (León & Carreres 2002, Pérez & Montoya 2009), Gonzáles *et al.* (2004) y Singh *et al.* (2011) indican una relación negativa entre la CAA con la firmeza, cohesividad y dureza del grano y positiva con la adhesividad. Esto sugiere que los genotipos C y D al presentar menor CAA podrían mostrarse más firmes durante la cocción, y además el NN al reducir la CAA tendría una relación a aumentar su firmeza y reducir su adhesividad, mejorando así las características culinarias del grano de arroz.

4.5 CARACTERÍSTICAS CULINARIAS

4.5.1 Parámetros térmicos

La temperatura y entalpía de gelatinización se encuentran entre las principales características culinarias, valores típicos para el arroz son mostrados en la Tabla 16. En los genotipos estudiados la temperatura de comienzo de gelatinización (T_c) varió entre 55,3 – 61° C, la temperatura pico entre 63,54 – 66,67° C y la temperatura final entre 70,79 – 73,97° C como muestra la Tabla 17, similares a los valores de la Tabla 16.

Tabla 16. Propiedades térmicas de arroz reportadas en la literatura

Arroz	To (° C)	Tp (° C)	Tc (° C)	ΔH (J/g)	Fuente
Japonica	57,1 – 59,2	63,9 – 65,9	70,6 – 73,5	7,9 – 9,6	Yang et al (2016)
Japonica	55,1 – 71,0	61,2 – 76,0	70,8 – 84,4	7,2 – 11,8	Wang et al (2010)
Indica	63,1	66,7	70,7	7,4	Ye et al (2018)
Indica	58,0 – 72,2	67,0 – 78,0		7,25 – 9,81	Gonzáles <i>et al.</i> (2004)

Tabla 17. Propiedades térmicas de la harina de arroz determinadas por calorimetría diferencial de barrido

Genotipo	NN	To (° C)	Tp (° C)	Tc (° C)	EG (J/mg)
A	0	60,11 ± 0,14 ^b	66,60 ± 0,14 ^a	73,72 ± 0,39 ^a	7,60 ± 0,77 ^{ab}
	120	60,23 ± 0,06 ^b	66,67 ± 0,24 ^a	73,97 ± 0,41 ^a	7,17 ± 0,05 ^{abc}
	240	60,37 ± 0,08 ^b	66,47 ± 0,19 ^{ab}	73,69 ± 0,33 ^a	6,99 ± 0,33 ^{bcd}
	360	60,35 ± 0,05 ^b	66,47 ± 0,14 ^{ab}	73,49 ± 0,45 ^{ab}	6,89 ± 0,13 ^{cd}
B	0	55,48 ± 0,86 ^d	64,45 ± 0,16 ^c	72,89 ± 0,74 ^{ab}	7,73 ± 0,17 ^a
	120	55,29 ± 0,43 ^d	64,07 ± 0,28 ^{de}	72,38 ± 0,40 ^{bc}	6,02 ± 0,10 ^{efg}
	240	55,33 ± 0,42 ^d	63,90 ± 0,42 ^{cde}	72,17 ± 0,05 ^{bcd}	5,82 ± 0,35 ^{fgh}
	360	55,36 ± 0,14 ^d	63,87 ± 0,19 ^{cde}	71,95 ± 0,33 ^{bcd}	5,90 ± 0,38 ^{fgh}
C	0	57,35 ± 0,06 ^c	63,64 ± 0,24 ^{de}	71,01 ± 0,25 ^{de}	6,44 ± 0,41 ^{def}
	120	56,80 ± 0,09 ^c	63,54 ± 0,14 ^e	70,80 ± 0,54 ^e	5,94 ± 0,10 ^{fg}
	240	57,07 ± 0,13 ^c	63,58 ± 0,12 ^e	70,79 ± 0,03 ^e	5,02 ± 0,32 ⁱ
	360	57,23 ± 0,70 ^c	64,28 ± 1,20 ^d	71,51 ± 1,78 ^{cde}	5,27 ± 0,03 ^{hi}
D	0	57,00 ± 0,13 ^c	63,90 ± 0,01 ^{cde}	71,52 ± 0,16 ^{cde}	6,16 ± 0,33 ^{ef}
	120	57,36 ± 0,41 ^c	64,42 ± 0,21 ^c	72,32 ± 0,93 ^{bc}	5,84 ± 0,36 ^{fgh}
	240	57,43 ± 0,13 ^c	64,53 ± 0,14 ^c	72,50 ± 0,04 ^{bc}	5,38 ± 0,27 ^{ghi}
	360	56,90 ± 0,01 ^c	63,98 ± 0,16 ^{cde}	71,57 ± 0,30 ^{cde}	5,25 ± 0,06 ^{hi}
E	0	60,64 ± 0,18 ^{ab}	66,58 ± 0,26 ^a	73,97 ± 0,37 ^a	7,85 ± 0,38 ^a
	120	61,06 ± 0,11 ^a	66,62 ± 0,12 ^a	73,72 ± 0,52 ^a	7,68 ± 0,40 ^{ab}
	240	60,51 ± 0,08 ^{ab}	66,15 ± 0,02 ^{ab}	73,34 ± 0,14 ^{ab}	7,07 ± 0,23 ^{bcd}
	360	60,11 ± 0,05 ^b	65,80 ± 0,19 ^b	72,82 ± 0,18 ^{ab}	6,64 ± 0,16 ^{cde}

NN: nivel de nitrógeno (kg/ha), To: temperatura de inicio de gelatinización, Tp: temperatura pico de gelatinización, Tc: temperatura de culminación de gelatinización, EG: entalpía de gelatinización. Resultados expresados como “promedio ± SD” (n = 2). Superíndices diferentes en la misma columna indican diferencia significativa según prueba de Diferencias Mínimas Significativas (LSD) a 0.05 de error.

Las temperaturas de gelatinización (To, Tp y Tc) sólo presentaron cambios significativos con el genotipo ($p < 0,001$), el NN no tuvo un efecto significativo ($p > 0,05$). No se encontró una interacción significativa entre el genotipo y NN sobre las temperaturas de gelatinización ($p > 0,05$). La Figura 22 muestra las temperaturas y entalpía de gelatinización.

La temperatura de comienzo (To) fue mayor en los genotipos A y E, seguido de C y D y menor en el genotipo B (Figura 22 A). La Tp también fue mayor en los genotipos A y E, y menor en los genotipos B, C y D (Figura 22 B). La temperatura final de gelatinización (Tc) fue mayor en los genotipos A y E, seguido de los B y D, y menor en el genotipo C (Figura 22 C).

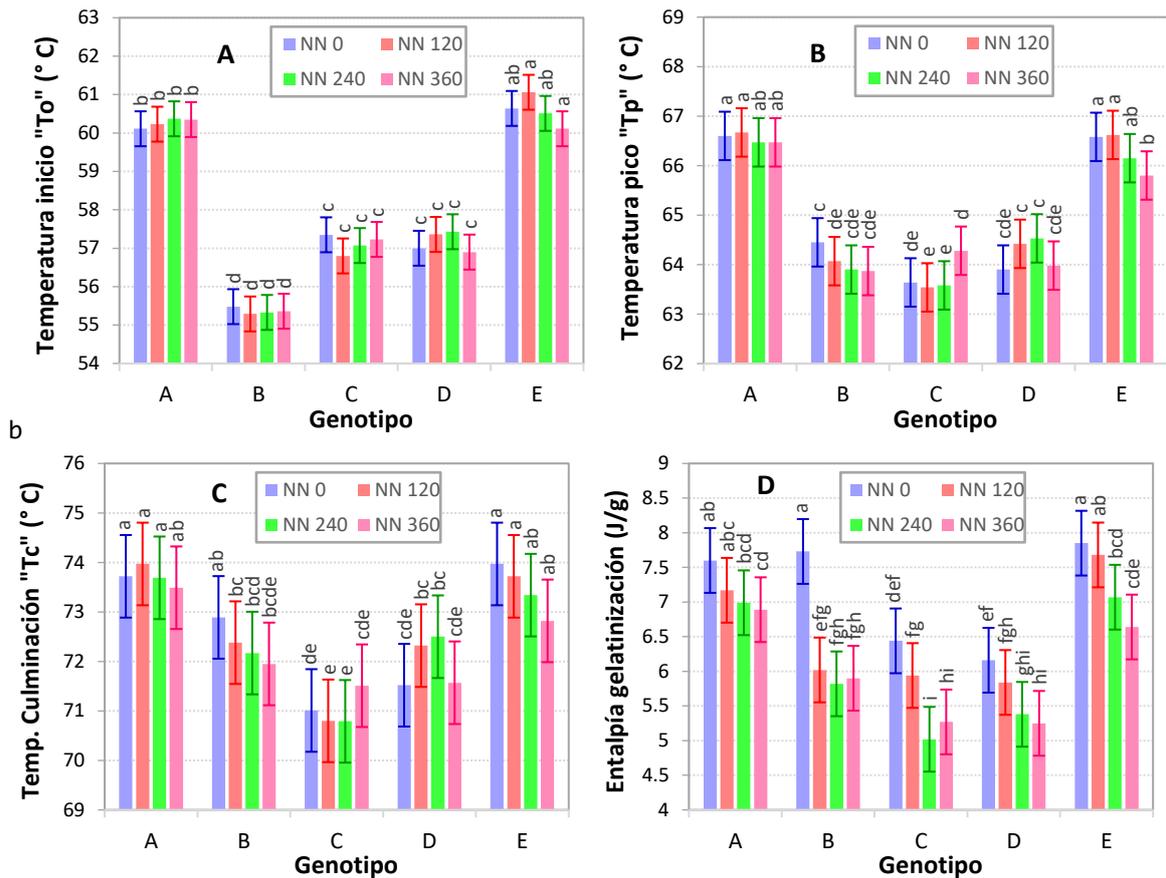


Figura 22. Propiedades térmicas de la harina de arroz determinadas por calorimetría diferencial de barrido. Temperatura de comienzo de gelatinización (A), pico (B), de culminación (C) y entalpía de gelatinización (D)

La temperatura de gelatinización está relacionada con la perfección cristalina del gránulo (Chung *et al.* 2011), influenciado por la estructura molecular de la región cristalina, correspondiente a la distribución de cadenas ramificadas cortas (DP 6 – 12) y largas de amilopectina, grado de ramificación, peso molecular y contenido de amilopectina (Wang *et al.* 2010). Los genotipos A y E presentan menor contenido de amilosa respecto a los demás, en consecuencia incrementa su contenido de amilopectina, cuya ramificación aporta mayor cristalinidad al gránulo de almidón, lo que explicaría las mayores temperaturas de gelatinización en A y E. Por otro lado Li, Wei, Sun (2018) observaron que variedades de arroz con mayor CA presentan moléculas de amilopectina de menor tamaño, debido a una mayor formación de conglomerados de cadenas de amilopectina, lo que podría estar relacionado con una mayor cristalinidad.

El genotipo B presenta la temperatura de comienzo más baja, lo cual puede deberse a su apariencia tizosa, en la cual los gránulos de almidón tienden a ser más pequeños que los

gránulos del arroz translúcido (Bao 2019a, Chung *et al.* 2011). Además la diferencia $T_c - T_o$ es mucho mayor en el genotipo B, lo que sugiere la presencia de diferentes fracciones de gránulos con diferente estabilidad (Wang *et al.* 2010).

El efecto del NN en la temperatura de gelatinización es muy variable y dependiente del genotipo. Yang *et al.* (2016) indican que el NN no generó cambios en la cristalinidad del almidón de arroz, mientras que existen genotipos donde la proporción de cadenas cortas aumenta con el NN y otros genotipos con el efecto contrario (Teng *et al.* 2018, Yang *et al.* 2016, Zhu *et al.* 2017b).

La entalpía de gelatinización (EG) osciló entre 5,02 – 7,85 J/g (otras entalpías reportadas en la literatura están en la Tabla 17), donde tanto el NN como el genotipo tuvieron un efecto significativo sobre la EG ($P < 0.001$) siendo el genotipo el factor con mayor influencia. No se evidenció una interacción significativa entre el NN y el genotipo ($P > 0,05$).

La Figura 22 D muestra la EG según el genotipo y NN. Los genotipos A y E muestran las mayores EG, seguido de los genotipos B y D, mientras que el genotipo C muestra las menores EG. Se observa una tendencia a disminuir la EG cuando incrementa el NN. Yang *et al.* (2016) y Teng *et al.* (2021) también reportan una disminución en la EG del arroz al aumentar el NN.

En los genotipos C y D la EG disminuye entre 0 y 240 kg/ha de NN, mientras que a 360 kg/ha no hay diferencia significativa respecto a 240 kg/ha. En los genotipos A y E la EG es mayor a un NN de 0 y 120 kg/ha (sin diferencia significativa entre ellos) y menor a 240 y 360 kg/ha (sin diferencia significativa entre ellos). En el genotipo B la EG es mayor a NN de 0 kg/ha, mientras que a 120, 240 y 360 no se halló diferencia significativa.

La EG refleja la pérdida de la estructura doble helicoidal de las cadenas ramificadas de amilopectina (Wang *et al.* 2010) y también es indicativo de la cristalinidad global del almidón (Teng *et al.* 2021). La disminución en la EG con el NN puede deberse al efecto del aumento en el contenido de proteína. Ye *et al.* (2018) reportan que la remoción de proteína de harina de arroz ocasiona un aumento en la entalpía de gelatinización, por lo que un mayor contenido de proteína genera menos almidón a gelatinizar. Además ha sido reportado que un mayor CA guarda relación con una menor entalpía de gelatinización

(Chung *et al.* 2011, Zhan *et al.* 2019), atribuido a una mayor proporción de amilopectina, lo que daría una mayor cantidad de cristales para fundir durante la gelatinización.

La Tabla 18 muestra las correlaciones entre las propiedades térmicas con los indicadores de calidad de molienda, física, cocción y composición. La temperatura de comienzo (To) presentó una relación significativa positiva con el GEAP y la CAA. Dado que la temperatura de gelatinización es indicativo de la cristalinidad del gránulo, esto sugiere que a una mayor cristalinidad el grano es más duro y tiende a permanecer íntegro durante la molienda (Chun *et al.* 2015), así como a proporcionar una mayor capacidad para absorber agua. La To mostró una relación significativa negativa con el GTZ ($r = -0,733$), lo que sugiere que una mayor cristalinidad está relacionado con un menor contenido de granos tizosos.

Tabla 18. Correlación entre las temperaturas y entalpías de gelatinización con los indicadores de calidad de molienda, cocción, contenido de amilosa y proteína

Variables	GEAP	PMG	GTZ	CA	CP	CAA	SOL	CH
To	0,781***	-0,651**	-0,733***	-0,452*	-0,086	0,745***	-0,473*	0,763**
Tp	0,646**	-0,651**	-0,487*	-0,423	-0,142	0,776***	-0,360	0,847**
Tc	0,430	-0,658**	-0,225	-0,374	-0,232	0,717***	-0,218	0,803**
EG	0,134	-0,498*	-0,028	-0,709***	-0,577**	0,919***	-0,498*	0,806**

GEAP: contenido de grano entero en arroz pulido, PMG: peso de mil granos, GTZ: porcentaje de grano tizoso, CA: contenido de amilosa, CP: contenido de proteína, CAA: capacidad de absorción de agua, SOL: solubilidad, CH: capacidad de hinchamiento, EG: entalpía de gelatinización. Asteriscos indican nivel de significancia del coeficiente de correlación de Pearson: *: al 0.05, **: al 0.01, ***: al 0.001

La temperatura pico (Tp) también mostró una relación significativa positiva con la CAA y GEAP, y negativa con el PMG, lo mismo que la Temperatura de culminación (que no tuvo relación con el GEAP). La entalpía de gelatinización mostró una relación significativa positiva ($p < 0.05$) con la CABA, sugiriendo que el arroz con mayor CAA está relacionado con una mayor cristalinidad. la EG tuvo una relación negativa significativa ($p < 0,05$) con el CA y CP. Relaciones similares fueron reportadas por Wang *et al.* (2010), Teng *et al.* (2021), Kong *et al.* (2015), y Singh *et al.* (2011).

La temperatura de gelatinización provee información sobre la energía requerida para la gelatinización del gránulo de almidón (Wang *et al.* 2010). Singh *et al.* (2011) indican que una mayor entalpía y temperatura de gelatinización están relacionadas con un grano más adhesivo y menos cohesivo, debido al mayor contenido de amilopectina (y menos

amilosa) (Yang *et al.* 2016, Gonzáles *et al.* 2004). En América Latina es preferido arroz con temperaturas intermedias y bajas de gelatinización (Pérez & Montoya 2007), esto indicaría que los genotipos C y D cultivos con un mayor NN serían preferidos por presentar menores temperaturas de gelatinización.

4.5.2 Perfil de pasta

Los perfiles de Pasta en los genotipos de arroz estudiados son mostrados en la Figura 23. La variación de la viscosidad en el tiempo siguió un patrón similar a harina obtenida de genotipos de arroz no céreo con contenidos de amilosa superiores al 10 por ciento (Wang *et al.* 2007, Xie *et al.* 2008, Yu *et al.* 2012, Bao 2008). En base a estos perfiles de pasta se determinó los parámetros de pasta mostrados en la Tabla 19.

La Figura 23 muestra que la viscosidad comienza a incrementar posterior al minuto 6 hasta alcanzar un pico máximo (viscosidad pico) poco antes de finalizar la fase de calentamiento. Luego la viscosidad disminuyó hasta un valor mínimo (viscosidad mínima) poco antes de finalizar la etapa de mantenimiento a alta temperatura, esta VM tendió a disminuir con el NN (a excepción del genotipo C), siendo más evidente en los genotipos A, B y E. Finalmente con el inicio de la etapa de enfriamiento la viscosidad volvió a aumentar, aunque el incremento fue más notorio en los genotipos C y D.

En la Tabla 19 la temperatura de pasta (TP) varió entre 73 – 80° C, similar a los indicados por Wang *et al.* (2007) y Kong *et al.* (2015b). La TP en todos los genotipos fue superior a su temperatura de gelatinización (Tabla 16), debido a que la formación de la pasta generalmente tiene lugar después de la gelatinización del almidón (Balet 2019, Bao 2008). Se determinó que la TP fue afectada significativamente por el genotipo y NN ($p < 0,001$), siendo mayor el efecto del genotipo, también se encontró una interacción significativa entre estos factores ($p < 0,001$).

La Figura 24 A muestra la TP con el genotipo y NN, siendo la TP mayor en los genotipos A y E y menor en C y D, de forma similar a la temperatura de gelatinización. Bao (2008), Singh *et al.* (2011) indican una relación directa entre las temperaturas de pasta y de gelatinización. Por tanto los genotipos A y E (con menor CA) al presentar mayor temperatura de gelatinización por su alto contenido de amilopectina, también muestran mayores temperaturas de pasta, indicando una mayor temperatura para fundir su estructura cristalina.

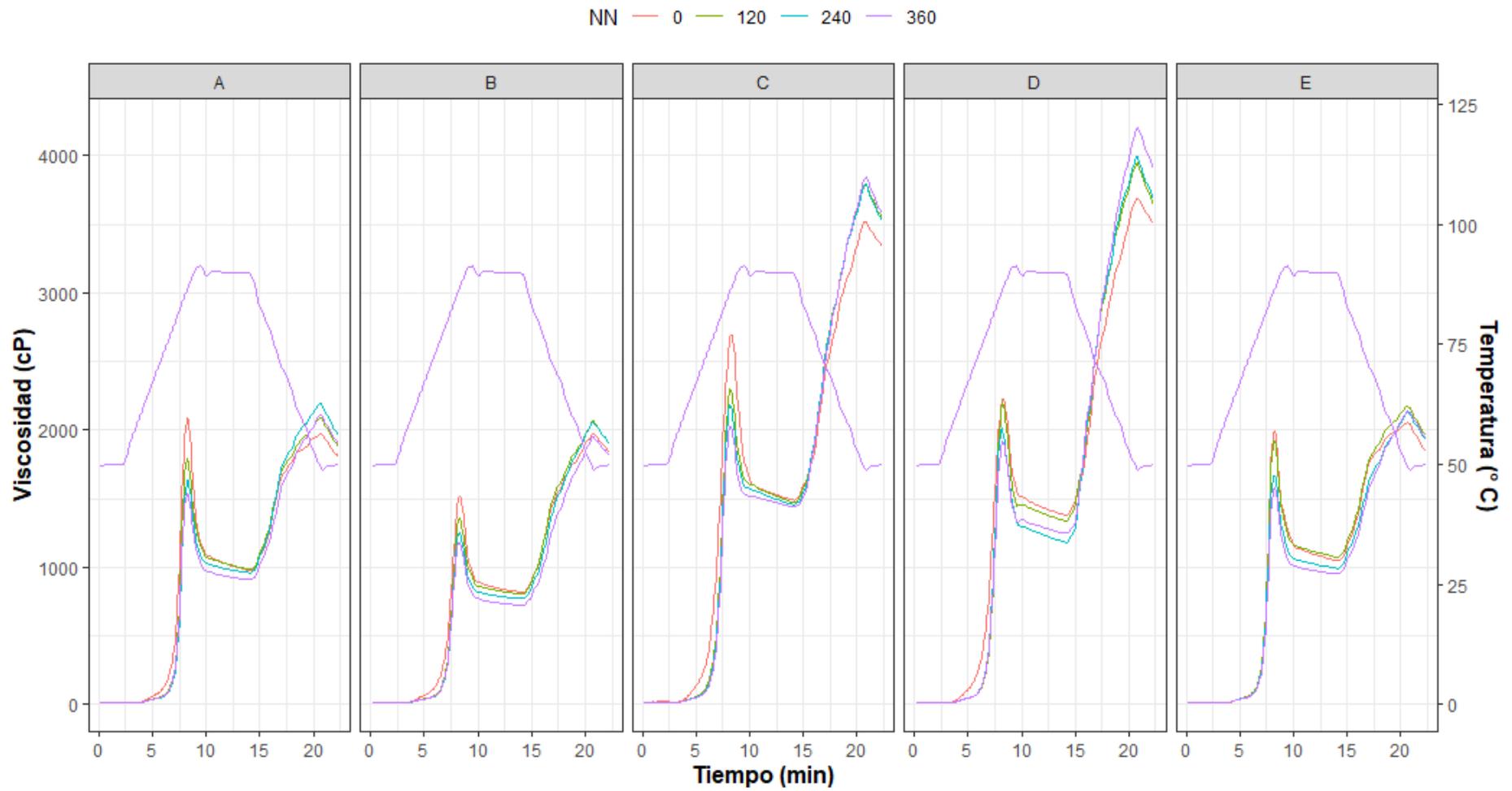


Figura 23. Perfiles de pasta de la harina de arroz según el genotipo y nivel de nitrógeno

Tabla 19. Resultados del perfil de pasta según el genotipo y nivel de nitrógeno

Genotipo	NN	TP (° C)	VP (cPs)	VM (cPs)	HPV (cPs)	CPV (cPs)	VF (cPs)	BD (cPs)	SB (cPs)
A	0	79,09 ± 0,30 ^{abc}	2093 ± 89 ^{cde}	975 ± 18 ^{fgh}	983 ± 18 ^{de}	1954 ± 45 ^{ef}	1805 ± 48 ^d	1118 ± 46 ^a	830 ± 29 ^g
	120	79,37 ± 0,79 ^{ab}	1793 ± 11 ^{fg}	984 ± 8,4 ^{fgh}	990 ± 12,3 ^{de}	2063 ± 6,6 ^{ef}	1877 ± 14 ^d	809 ± 12,7 ^{bcd}	893 ± 11 ^{fg}
	240	80,26 ± 0,18 ^a	1631 ± 11,8 ^{gh}	959 ± 10,6 ^{gh}	961 ± 10,7 ^e	2164 ± 6,7 ^e	1966 ± 11 ^d	671 ± 12 ^{de}	1007 ± 8 ^{ef}
	360	79,86 ± 0,14 ^a	1540 ± 8 ^h	908 ± 7,3 ^{hi}	910 ± 11,6 ^{ef}	2075 ± 25,5 ^{ef}	1900 ± 13 ^d	632 ± 13 ^e	992 ± 11,9 ^{ef}
B	0	78,12 ± 0,06 ^{de}	1521 ± 82,5 ^{hi}	818 ± 9,6 ^{ij}	822 ± 10 ^{fg}	1932 ± 17,8 ^{ef}	1830 ± 21,6 ^d	703 ± 72,9 ^{bcd}	1013 ± 31,3 ^{ef}
	120	79,45 ± 0,11 ^{ab}	1354 ± 95 ^{ij}	805 ± 38 ^{ij}	808 ± 38,4 ^{fg}	2019 ± 32,5 ^{ef}	1894 ± 20,9 ^d	549 ± 56,9 ^{efg}	1088 ± 17,1 ^e
	240	79,42 ± 0,10 ^{ab}	1249 ± 84,2 ^j	771 ± 40 ^j	772 ± 40 ^g	2012 ± 29,7 ^{ef}	1896 ± 27,7 ^d	478 ± 44,2 ^{fg}	1125 ± 12,3 ^e
	360	79,18 ± 0,34 ^{ab}	1183 ± 68,4 ^j	724 ± 49,2 ^j	724 ± 49,6 ^g	1903 ± 39,7 ^f	1808 ± 42,2 ^d	459 ± 19,2 ^g	1084 ± 7 ^e
C	0	73,23 ± 1,11 ^g	2693 ± 13,4 ^a	1490 ± 63 ^a	1498 ± 65,2 ^{ab}	3451 ± 23 ^d	3336 ± 205 ^c	1203 ± 49 ^a	1846 ± 10 ^d
	120	77,73 ± 0,70 ^e	2295 ± 57,5 ^b	1471 ± 23,1 ^a	1481 ± 22,1 ^a	3696 ± 58 ^{bc}	3548 ± 248 ^{bc}	823 ± 80 ^{bc}	2076 ± 11 ^{cd}
	240	77,77 ± 0,29 ^e	2186 ± 15 ^{bcd}	1454 ± 67,7 ^a	1459 ± 66 ^a	3693 ± 16,8 ^{bcd}	3527 ± 184 ^{bc}	731 ± 22 ^{bcd}	2073 ± 12 ^{cd}
	360	77,75 ± 0,34 ^e	2030 ± 56,9 ^{cde}	1439 ± 22,6 ^{ab}	1442 ± 21,6 ^{ab}	3730 ± 17 ^{bc}	3582 ± 178 ^{bc}	591 ± 34 ^{efg}	2144 ± 15 ^{bc}
D	0	75,66 ± 0,85 ^f	2231 ± 12,9 ^{bc}	1383 ± 14,9 ^{ab}	1389 ± 15,1 ^{ab}	3614 ± 19,5 ^{cd}	3505 ± 101 ^{bc}	848 ± 31 ^{bc}	2122 ± 27 ^c
	120	78,78 ± 0,42 ^{bcd}	2201 ± 22,5 ^{bc}	1340 ± 12,7 ^c	1345 ± 12 ^{bc}	3863 ± 33 ^{ab}	3646 ± 188 ^b	861 ± 97 ^b	2305 ± 19 ^b
	240	78,17 ± 0,16 ^{cde}	2015 ± 71,5 ^{de}	1154 ± 28,1 ^{de}	1187 ± 15,2 ^c	3895 ± 10 ^{ab}	3685 ± 49,8 ^{ab}	861 ± 10 ^b	2531 ± 12 ^a
	360	77,91 ± 0,20 ^{de}	1918 ± 36,8 ^{ef}	1247 ± 11,9 ^{cd}	1250 ± 11,9 ^c	4092 ± 12 ^a	3908 ± 56,6 ^a	671 ± 24 ^{de}	2660 ± 94 ^a
E	0	80,08 ± 0,06 ^a	1989 ± 30,2 ^e	1047 ± 19,9 ^{fg}	1055 ± 19,9 ^{de}	2042 ± 31 ^{ef}	1853 ± 25,2 ^d	942 ± 10,3 ^b	806 ± 5,3 ^g
	120	79,97 ± 0,17 ^a	1921 ± 50,1 ^{ef}	1074 ± 12,4 ^{ef}	1077 ± 12,2 ^{cd}	2154 ± 6,9 ^e	1963 ± 9,7 ^d	847 ± 37,7 ^{bc}	889 ± 2,8 ^{fg}
	240	79,73 ± 0,47 ^a	1675 ± 58,9 ^{gh}	992 ± 65,5 ^{fgh}	994 ± 65 ^{de}	2095 ± 15,5 ^{ef}	1931 ± 135 ^d	683 ± 6,6 ^{bcd}	939 ± 69 ^{efg}
	360	79,85 ± 0,05 ^a	1575 ± 53,5 ^h	952 ± 13,6 ^{gh}	953 ± 13,9 ^e	2104 ± 27,4 ^{ef}	1946 ± 19 ^d	623 ± 39,8 ^{ef}	994 ± 54 ^{ef}

NN: nivel de nitrógeno (kg/ha), t: tiempo de pasta, TP: temperatura de pasta, VM: viscosidad mínima, HPV: hot paste viscosity, CPV: cold paste viscosity, VF: viscosidad final, BD: Breakdown, SB: Setback. Resultados expresados como "Promedio" (n = 2). Superíndices diferentes en la misma columna indican diferencia significativa según prueba de Diferencias Mínima Significativa, al 0.05 de error

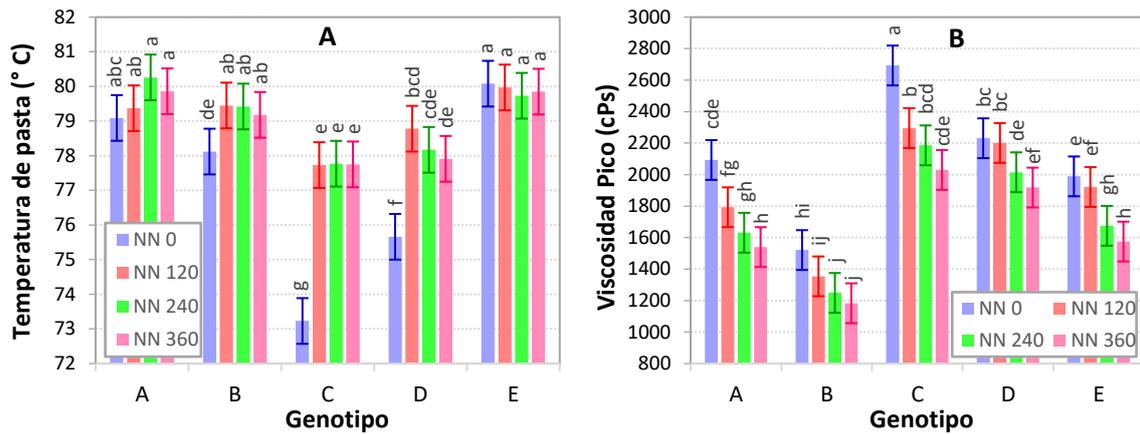


Figura 24. Temperatura de pasta (A) y viscosidad pico (B) del arroz según el genotipo y nivel de nitrógeno

Referente al NN se encontró que en los genotipos A, B, C y D la TP fue menor a un NN de 0 kg/ha y mayor en los otros niveles, a excepción del genotipo E donde la TP no mostró cambios significativos con el NN. El efecto del NN en la TP depende del genotipo, existiendo variedades donde no se encontró cambios en la TP con el NN (Cao *et al.* 2017), y otras donde mayores NN mostraron un pequeño incremento (Yang *et al.* 2016).

La Viscosidad pico (VP) presentó cambios significativos con el genotipo y el NN ($p < 0,001$) sin encontrar una interacción significativa entre los factores ($p > 0,05$). El genotipo fue la variable con mayor efecto. La Figura 24 B muestra la VP donde el genotipo C fue el que tuvo mayor VP, seguido de los genotipos A, D, E y finalmente el genotipo B. En todos ellos se determinó una tendencia a disminuir la VP con el NN.

La VP refleja la capacidad del gránulo de almidón para ligar agua y la extensión del hinchamiento (Ye *et al.* 2016, Tangsrianugul *et al.* 2019), aunque no se ha encontrado una relación estrecha entre este parámetro y la dureza y/o adhesividad del grano de arroz cocido (Kong *et al.* 2015b, Ferreira *et al.* 2017). La VP es afectada por el CA, tamaño del gránulo, y distribución de cadenas ramificadas de amilopectina (Ferreira *et al.* 2017).

Ha sido reportado que aumentos en el NN reducen la VP (Yang *et al.* 2016, Zhu *et al.* 2017a), lo cual puede estar relacionado con el incremento en el CA y proteína. Es considerado que menor amilopectina genera que el gránulo hinche menos y desarrolle una menor PV (Tangsrianugul *et al.* 2019, Kong *et al.* 2015b). La proteína podría formar una barrera alrededor del gránulo almidón, inhibiendo el hinchamiento y reduciendo la adhesividad del gránulo (Chun *et al.* 2015, Ferreira *et al.* 2017, Zhan *et al.* 2019).

Los parámetros VM y HPV fueron afectados de forma significativa por el NN ($p < 0,01$) y el genotipo ($p < 0,001$), sin encontrar una interacción significativa entre estos factores ($p > 0,05$). Ambos parámetros son mostrados en la Figura 25, donde los genotipos C y D muestran los mayores valores, seguido de A y E y finalmente el genotipo B.

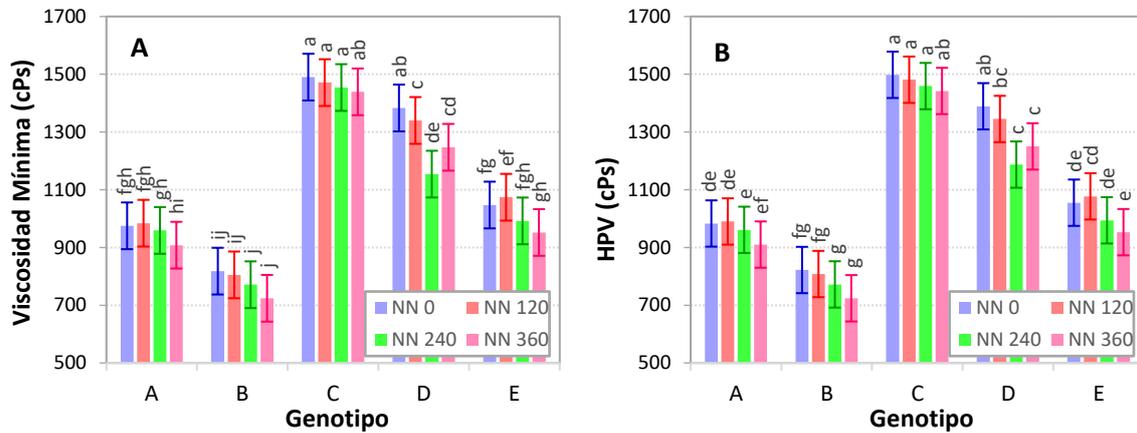


Figura 25. Viscosidad mínima (A) y viscosidad de pasta caliente “HPV” (B) del arroz según genotipo y nivel de nitrógeno

La VM y HPV están relacionadas con la resistencia del gránulo de almidón a la desintegración por calentamiento y cizallamiento (Balet 2019). Estos parámetros han mostrado una relación positiva con la dureza y negativa con la adhesividad (Kong *et al.* 2015b, Ferreira *et al.* 2017), sugiriendo que los genotipos C y D presentarían mejores características culinarias para el consumidor de América Latina, mientras que A, E y B con menor VM podrían desarrollar menor dureza tras la cocción. El efecto del NN sobre la VM y HPV fue diferente según el genotipo, en D y E se observó una disminución en la VM y HPV con el NN, también reportado por Yang *et al.* (2016) y Zhu *et al.* (2017a).

Los parámetros VF y CPV son mostrados en la Figura 26, ambos fueron afectados significativamente por el NN ($p < 0,05$) y el genotipo ($p < 0,001$), sin una interacción significativa entre estos factores ($p > 0,05$), siendo el genotipo la variable con mayor efecto. Los genotipos C y D presentaron mayor VF y CPV, y donde estos parámetros aumentaron con el NN. En cambio en los genotipos A, B y E estos parámetros no mostraron variación con el NN. En el análisis del perfil de pasta, durante el enfriamiento la viscosidad incrementa para obtener los valores de VF y CPV, este incremento está relacionado con la retrogradación del almidón a través de la reorganización de las cadenas de amilosa (Ye *et al.* 2016).

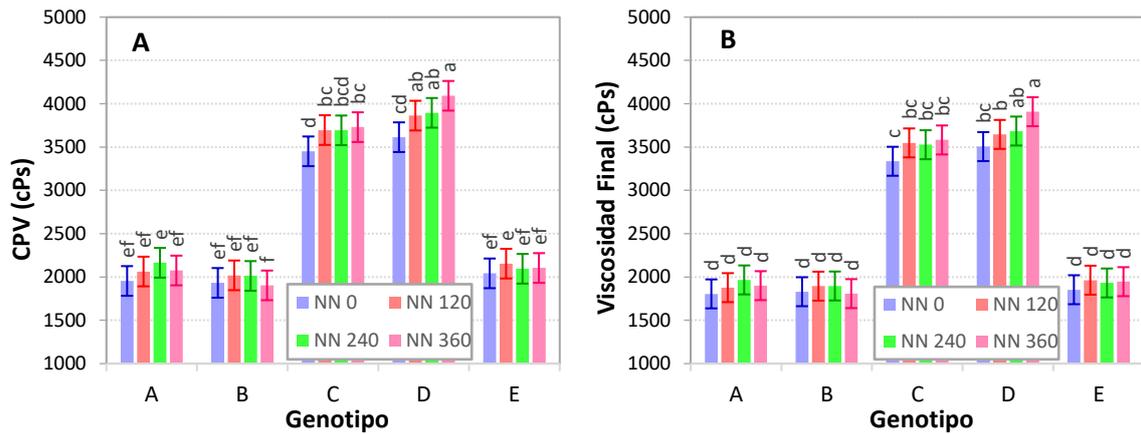


Figura 26. Viscosidad de pasta fría “CPV” (A) y Viscosidad final (VF) del perfil de pasta del arroz según el genotipo y nivel de nitrógeno

La VF y CPV están relacionados con el contenido de amilosa, proteína, y distribución de cadenas ramificadas de amilopectina (Allahgholipour *et al.* 2006). Mayores contenidos de amilosa están relacionados con una mayor retrogradación y en consecuencia mayores valores de VF y CPV (Cao *et al.* 2017, Tangsrianugul *et al.* 2019, Zhu *et al.* 2017b), explicando el incremento en estos parámetros en los genotipos C y D, mientras que otros factores como el tamaño del gránulo y la estructura de la amilopectina deben influir en la respuesta de los genotipos A, B y E.

Los parámetros BD y SB son mostrados en la Figura 27. Ambos Los parámetros fueron influenciados significativos por el NN y genotipo ($p < 0,001$), en el caso del BD se encontró una interacción significativa entre estos factores ($p < 0,01$), mientras que en el SB no hubo esta interacción ($p > 0,05$).

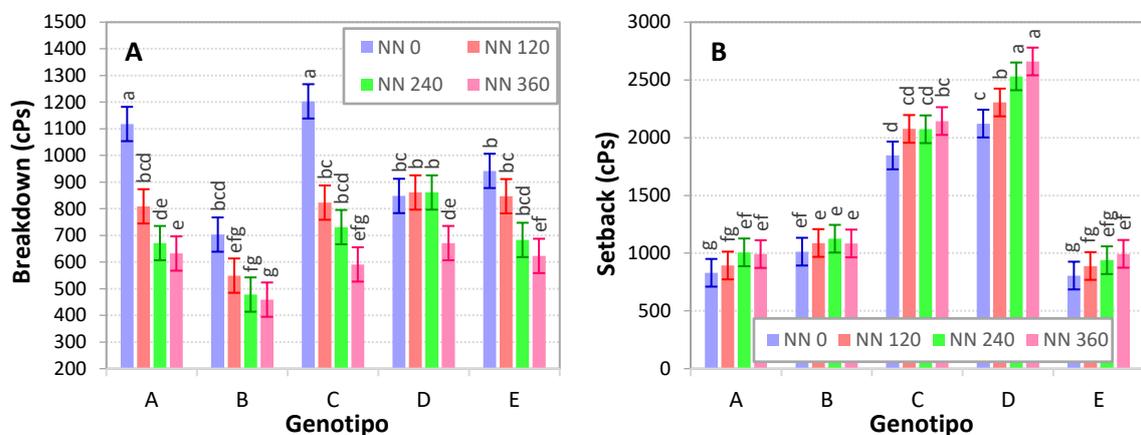


Figura 27. Breakdown “BD” (A) y setback (B) del arroz según el genotipo y el nivel de nitrógeno

Se encontró una tendencia a disminuir el valor de BD con el NN, también reportado por Yang *et al.* (2016), Cao *et al.* (2017) y Zhu *et al.* (2017a). En los genotipos C y E hubo una disminución significativa en el BD con el NN, mientras que en A y B no se encontró diferencia significativa a NN de 240 y 360 kg/ha. El genotipo D mostró una disminución significativa sólo a 360 kg/ha. A NN de 120, 240 y 360 kg/ha se determinó que el BD fue mayor en los genotipos A, C, D y E.

El SB fue mayor en los genotipos C y D, y menor en A, B y E. A diferencia del BD se encontró una tendencia a incrementar el SB con el NN, siendo este efecto más notorio en los genotipos D y E, un resultado similar a los de Yang *et al.* (2016), Cao *et al.* (2017) y Zhu *et al.* (2017b).

El BD está relacionado con la resistencia de la pasta contra el calentamiento y cizallamiento, mientras que el SB indica la tendencia del almidón hacia la retrogradación (Ye *et al.* 2016). Ambos son importantes indicadores de las características culinarias, un mayor SB está relacionado con mayor dureza y cohesividad del grano cocido, mientras que mayor BD con mayor palatabilidad y adhesividad (Allahgholipour *et al.* 2006, Tangsrianugul *et al.* 2019, Tran *et al.* 2001, Chun *et al.* 2015).

Tanto el BD como el SB han sido relacionados con el CA, donde mayores contenidos disminuyen el BD y aumentan el SB (Cao *et al.* 2017, Chung *et al.* 2011, Tangsrianugul *et al.* 2019), lo que concuerda con los resultados mostrados en la Figura 27. Mayores valores de CA obtenidos al aumentar el NN ocasionaría que el gránulo de almidón absorba menos agua durante la formación de la pasta y se desintegre menos durante el cizallamiento, dando un menor valor de BD, pero posteriormente provocaría una mayor retrogradación.

Zhan *et al.* (2019) indican que la remoción de la proteína superficial del gránulo de almidón reduce la retrogradación, sugiriendo que mayores contenidos de proteína interactúan con la amilosa para elevar la viscosidad durante la fase de enfriamiento del análisis del perfil de pasta y aumentar el valor del SB. Ferreira *et al.* (2017) y Chun *et al.* (2015) describen que un mayor contenido de proteína provee un arroz de mayor dureza.

El consumidor en América Latina está orientado a un arroz suave pero no adhesivo correspondiente a un CA intermedio (Torres y Martínez 2010). La mayoría de los genotipos estudiados presentaron niveles bajos de amilosa, por lo que puede relacionarse

la preferencia con menores valores de BD y mayores de SB. Por ello el NN permite mejorar las características culinarias del arroz cocido al disminuir el BD y aumentar el SB en los genotipos estudiados, de los cuales los genotipos C y D al tener mayor SB pueden considerarse que presentan mejores características culinarias.

4.5.3 Relación entre las características culinarias

Como el CA es una importante característica culinaria (Xie *et al.* 2008, Kong *et al.* 2015b), la Figura 29 muestra la relación entre los parámetros del perfil de pasta con el CA. En el caso de los parámetros FV, PV, SB y VM se observa que los genotipos C y D tienden a presentar una mayor viscosidad al resto de genotipos, formando una tendencia separada del resto de genotipos (A, B y E). Considerando las medias de las características de calidad, una clasificación por conglomerados jerárquicos muestra que los genotipos A, B y E presentan características más similares en contraste a los genotipos C y D, como muestra la Figura 29 (utilizando el método de Ward para la clasificación).

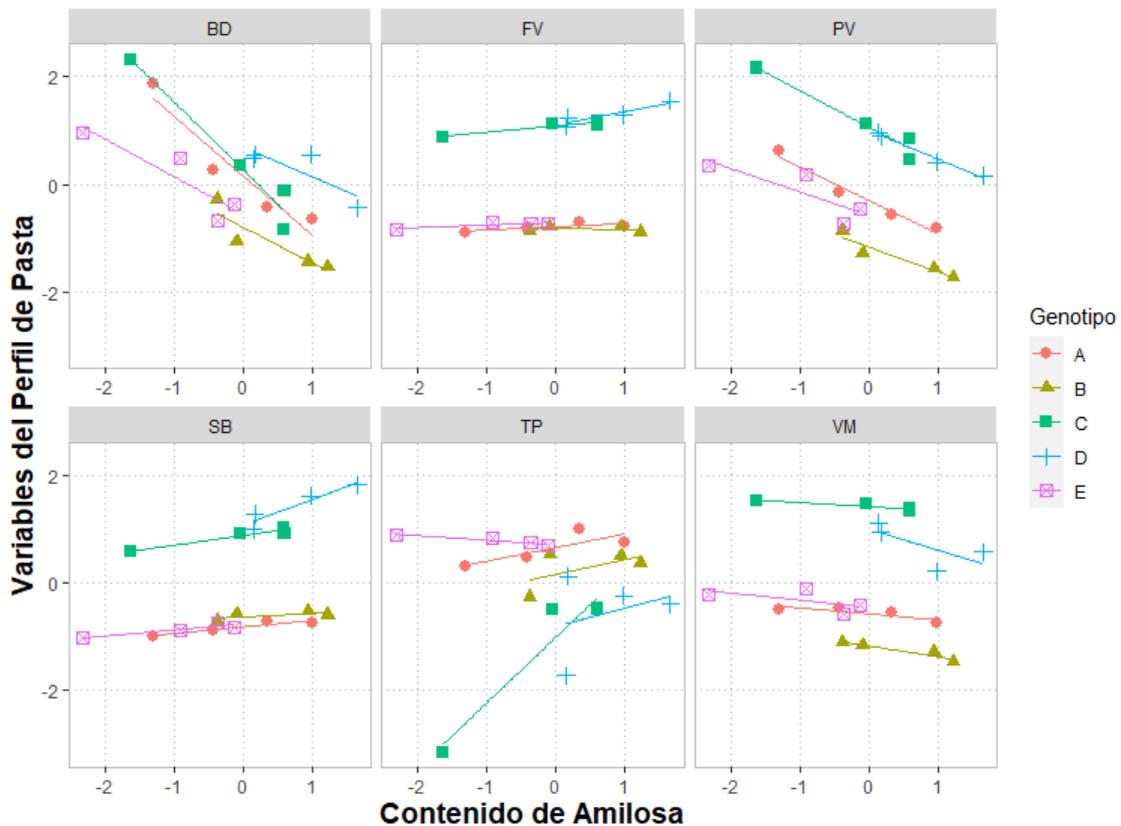


Figura 28. Relación entre los parámetros del perfil de pasta con el contenido de amilosa en los genotipos de arroz

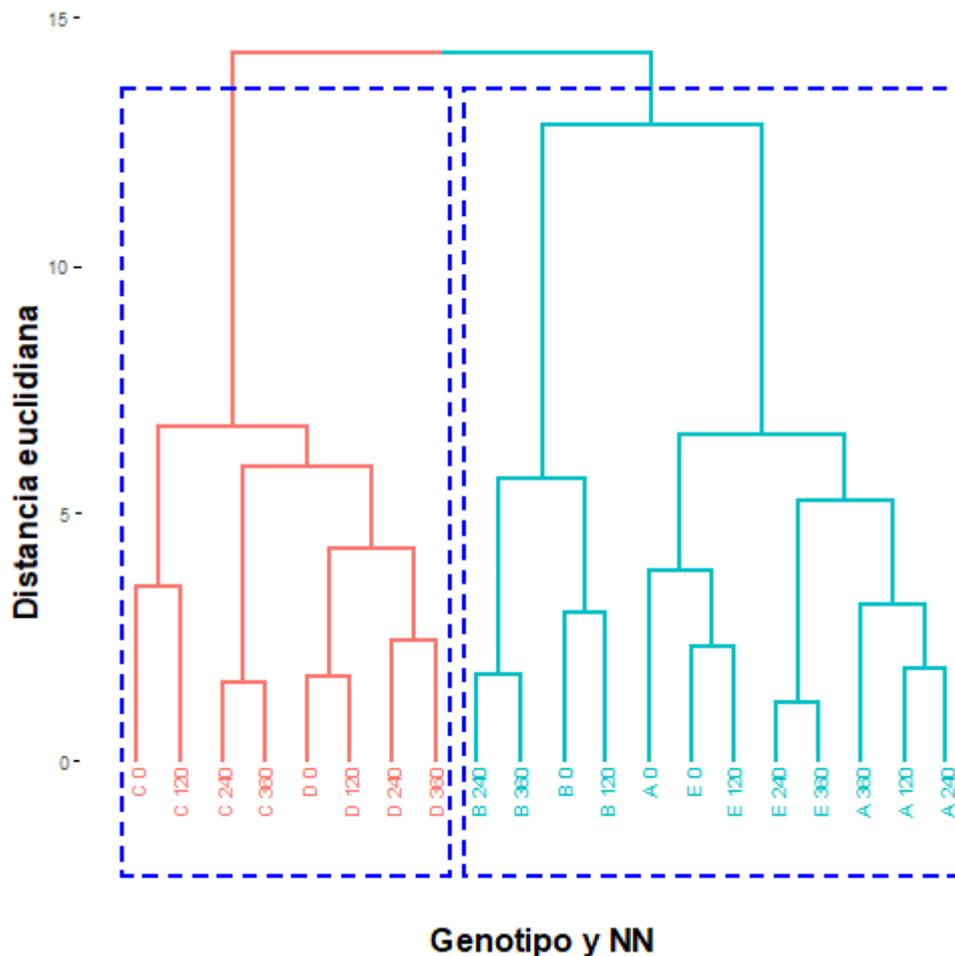


Figura 29. Clasificación de los genotipos de arroz según los indicadores de calidad

Allahgholipour *et al.* (2006), Bathacharya (2011) indican que genotipos con un similar CA pueden tener resultados diferentes en las propiedades de pasta, haciendo este análisis útil para determinar las características culinarias del arroz. La relación entre las propiedades de pasta y los indicadores previamente estudiados (utilizando coeficiente de correlación de Pearson) es indicado en la Tabla 20. En el grupo I, formado por los genotipos A, B y E, la VP tuvo una relación positiva con la CAA y las propiedades térmicas, y una relación negativa con el CA, CP, SOL y contenido de granos tizosos. Dado que la CAA y las propiedades térmicas son indicadores de cristalinidad y estructura de la amilopectina (Ye *et al.* 2018, Wang *et al.* 2010), esto sugiere que una mayor VP puede deberse a la presencia de cadenas ramificadas de amilopectina de mayor longitud. Una relación similar se encontró para la VM y el BD. En el grupo II (genotipos C y D) hubo relaciones similares principalmente en la VP, BD y SB, aunque la relación con las temperaturas de gelatinización fue menor.

Tabla 20. Coeficientes de Correlación entre las propiedades de pasta e indicadores de calidad de cocción, DSC y contenidos de amilosa y proteína

Genotipos	Factores	TP	VP	VM	VF	BD	SB
Grupo I	GEAP	0,722**	0,511	0,762**	0,442	0,319	-0,545
A, B y E	L/A	0,763**	0,393	0,766**	0,687*	0,148	-0,431
	GTZ	-0,646*	-0,705*	-0,900***	-0,310	-0,522	0,744**
	CA	-0,111	-0,812**	-0,661*	0,327	-0,803**	0,812**
	CP	0,447	-0,516	-0,153	0,676*	-0,654*	0,475
	CAA	0,230	0,971***	0,910***	-0,134	0,896***	-0,967***
	SOL	0,115	-0,881***	-0,660*	0,489	-0,903***	0,889***
	To	0,619*	0,758***	0,926***	0,262	0,584*	-0,794**
	Tp	0,481	0,838***	0,912***	0,068	0,706*	-0,872***
	Tc	0,281	0,888***	0,863***	-0,161	0,803**	-0,934***
	EG	-0,127	0,826***	0,685*	-0,334	0,811**	-0,840***
Grupo II	GEAP	0,340	-0,754*	-0,494	0,525	-0,605	0,556
C y D	L/A	0,573	-0,543	0,257	0,385	-0,781*	0,063
	GTZ	-0,911**	0,838**	0,505	-0,912**	0,697	-0,770*
	CA	0,805*	-0,990***	-0,582	0,906**	-0,832*	0,810*
	CP	0,633	-0,733*	-0,147	0,585	-0,777*	0,395
	CAA	-0,630	0,941***	0,417	-0,722*	0,868**	-0,619
	SOL	0,795*	-0,941***	-0,718*	0,938***	-0,698	0,903**
	To	0,042	-0,054	-0,583	0,211	0,266	0,438
	Tp	0,647	-0,750*	-0,753*	0,809*	-0,454	0,852**
	Tc	0,576	-0,623	-0,872**	0,780*	-0,238	0,904**
	EG	-0,770*	0,902**	0,456	-0,810*	0,800*	-0,688

GEAP: contenido de grano entero en arroz pulido, GTZ: porcentaje de grano Tizoso, CA: contenido de amilosa, CP: contenido de proteína, CAA: capacidad de absorción de agua, SOL: solubilidad, To, Tp, Tc: temperatura de gelatinización de comienzo, pico y culminación, EG: entalpía de gelatinización. VP: viscosidad pico, VM: viscosidad mínima, HPV: viscosidad de pasta caliente, CPV: viscosidad de pasta fría, VF: viscosidad final, BD: Breakdown, SB: Setback. Asteriscos indican nivel de significancia: * al 0.05, ** al 0.01, *** al 0.001

La relación positiva en el BD con las temperaturas y entalpía de gelatinización y CAA también sugiere que un mayor valor de BD está relacionado con una mayor cantidad de amilopectina, que pueda absorber más agua y demandar más energía para fundir sus cristales, que luego con el cizallamiento tenderían a desintegrarse más. Este comportamiento ha sido relacionado con la pegajosidad del grano de arroz cocido, por lo que un menor BD generaría una menor pegajosidad (Chun *et al.* 2015), una característica

adecuada para el consumidor de América Latina (Pérez & Montoya 2007). Por otro lado, el BD mostró una relación negativa con el CA, proteína, y solubilidad, descrito también por Cao *et al.* (2017) y Tangsrianugul *et al.* (2019), lo cual muestra que la amilosa restringe la capacidad de hinchamiento del gránulo y que su mayor presencia reduciría el BD al no aportar como la amilopeptina al crecimiento del gránulo.

El SB tuvo una relación significativa positiva con el contenido de amilosa y la solubilidad y una relación negativa con la CAA y las propiedades térmicas, característica también descrito por Allahgholipour *et al.* (2006) y Tan y Corke (2002). Kong *et al.* (2015 b), Xie *et al.* (2008) también indican que la mayor presencia de amilosa en el grano incrementa la pérdida de sólidos y aumenta la dureza y soltura del grano durante la cocción.

Dada la existencia de relaciones significativas se ejecutó un Análisis de Componentes Principales (ACP) para el grupo I (genotipos A, B, E) y otro para el grupo II (genotipo C y D), lo cual permite descomponer estas relaciones (Singh *et al.* 2011). Los gráficos de sedimentación del ACP para ambos grupos son mostrados en la Figura 30. En el grupo I (genotipos A, B, E) los dos primeros autovalores recogieron el 88,0 por ciento de la variabilidad de los datos, mientras que para el grupo II (genotipos C, D) fue del 76,7 por ciento. Al mismo tiempo en ambos grupos los dos primeros autovalores fueron superiores a la unidad y pueden ser utilizados para describir la variabilidad en los resultados. La correlación entre las variables estudiadas y las puntuaciones para el grupo I es mostrado en la Figura 31.

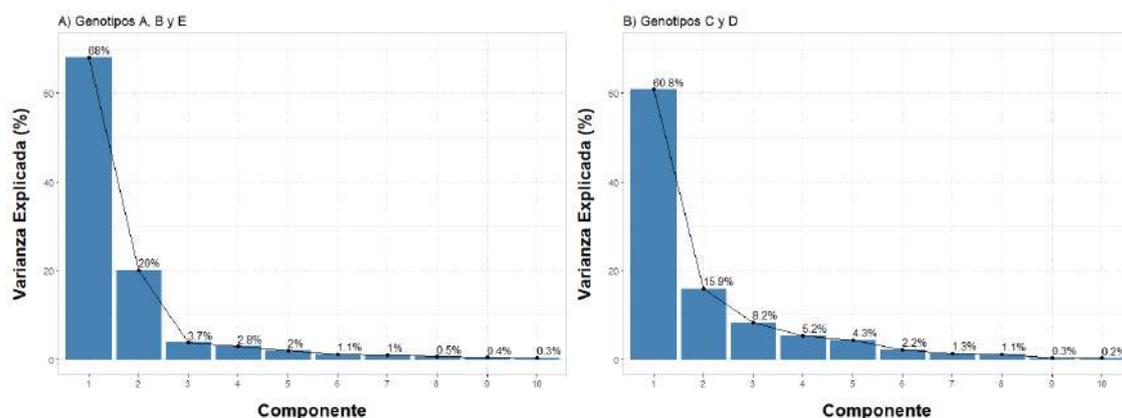


Figura 30. Importancia de los Componentes en el PCA en el grupo de genotipos A, B y E (A) y en el grupo C y D (B)

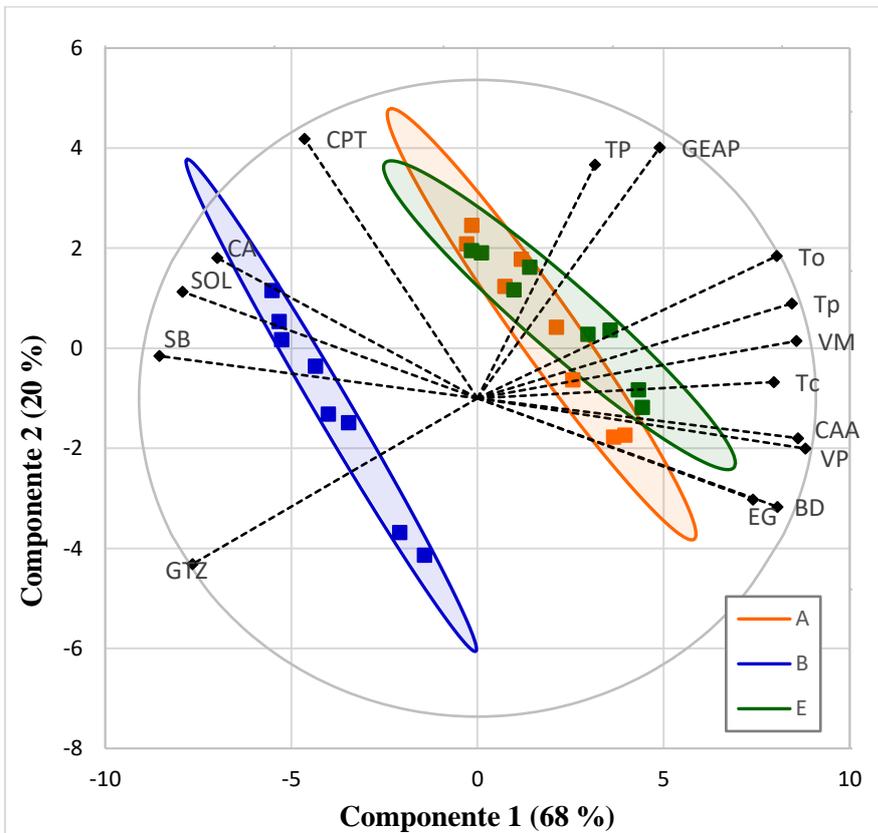
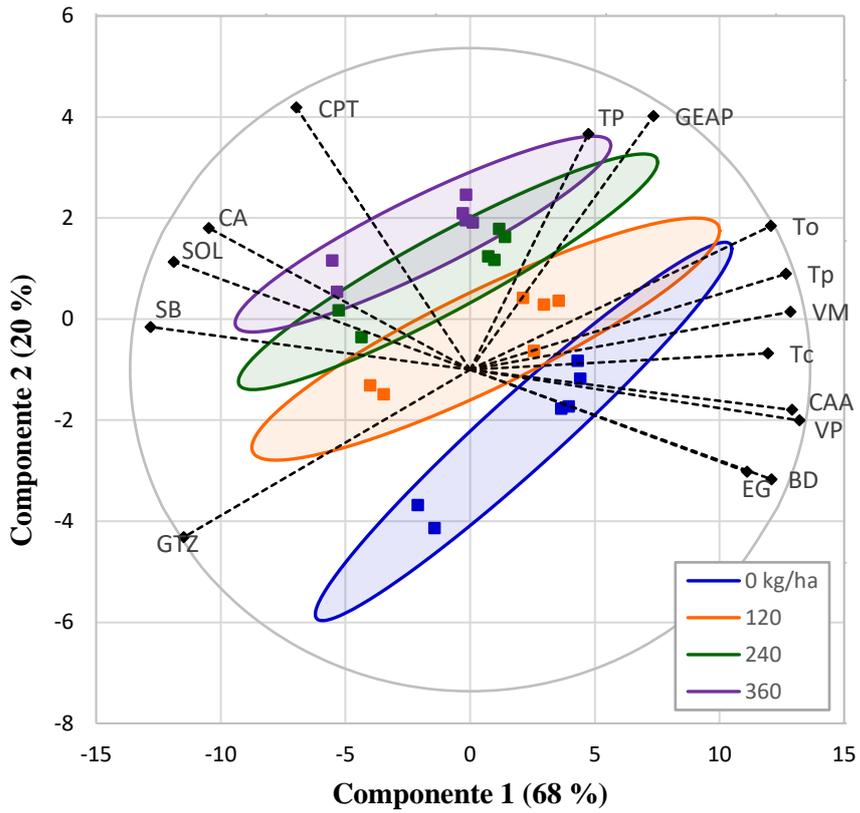


Figura 31. Byplot para las variables estudiadas en las dos primeras componentes del ACP en los genotipos A, B y E

La Figura 31 muestra que en el grupo I (genotipos A, B, E) la primera componente estuvo relacionada de forma positiva con las temperaturas de gelatinización inicial (T_0), pico (T_p), de culminación (T_c), entalpía de gelatinización (EG), capacidad de absorción de agua (CAA), viscosidad pico (VP), y Breakdown (BD), y negativamente con el Setback (SB), solubilidad (SOL), contenido de amilosa (CA) y contenido de grano tizoso (GTZ), mostrando la relación inversa entre estos dos grupos de variables, lo cual sugiere que la primera componente podría representar el nivel de cristalinidad. La segunda componente estuvo relacionada con el contenido de proteína (CPT), temperatura de pasta (TP), y el rendimiento de grano entero en arroz pulido (GEAP), sugiriendo que la segunda componente podría reflejar el contenido de proteína, lo que influyó en el rendimiento de grano entero.

El efecto multivariado del NN es ilustrado en la Figura 31 A, donde al aumentar el NN las puntuaciones se direccionan hacia valores negativos de la primera componente y positivos de la segunda componente. Esto ilustra que aumentos del NN aumentan el contenido de proteína, CA, SB y reducen el BD, EG, CAA, y las temperaturas de gelatinización, un efecto que puede traducirse en granos más firmes durante la cocción, menos adhesivos, y con mejores características culinarias.

El efecto del genotipo en el grupo I (genotipos A, B y E) se ilustra en la Figura 31 B mostrando que los genotipos A y E tienen puntuaciones más altas en la primera y segunda componentes, mostrando que estos genotipos tienen mayor GEAP, temperaturas de gelatinización, BD, CAA, y menor CA, SB, y GTZ. Por otro lado el genotipo B está posicionado en valores negativos de la primera componente, indicando que este genotipo presentó mayor contenido de grano tizoso, mayor SB y contenido de amilosa.

El círculo de correlación entre las variables y las puntuaciones del ACP en las dos primeras componentes del grupo II (genotipos C y D) es mostrado en la Figura 32. La primera componente estuvo relacionada con las variables Setback (SB), solubilidad (SOL), contenido de amilosa (CA), temperatura de pasta (TP), rendimiento de grano entero (GEAP), contenido de proteína (CPT) y negativamente con las variables Breakdown (BD), entalpía de gelatinización (EG), capacidad de absorción de agua (CAA), contenido de grano tizoso (GTZ), y viscosidad pico (VP). La segunda componente estuvo relacionada con las temperaturas de gelatinización pico (T_p) y de culminación (T_c) y negativamente con la viscosidad mínima (VM).

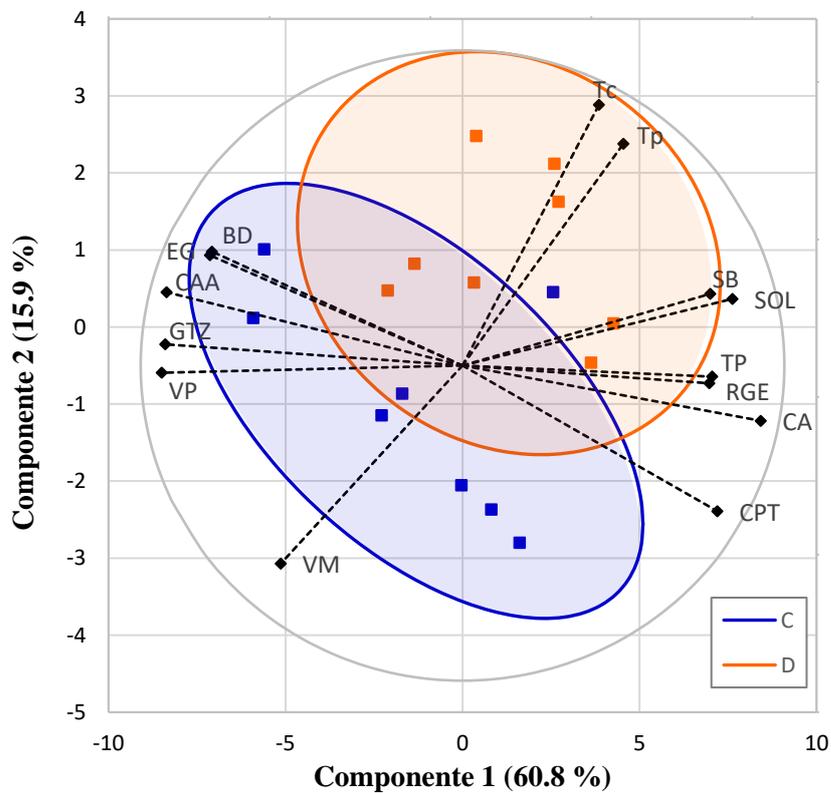
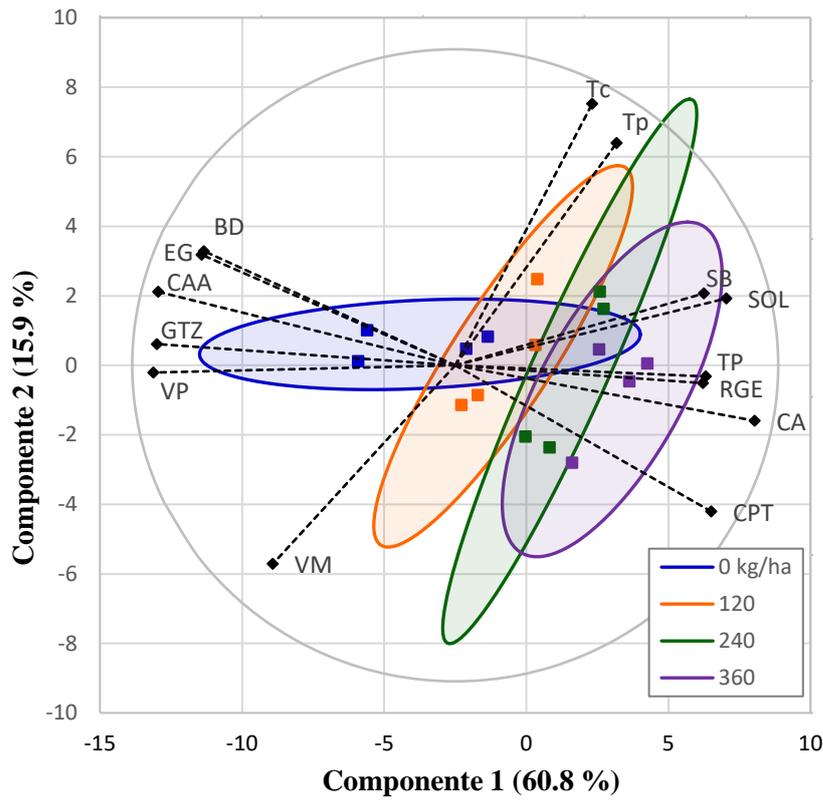


Figura 32. Byplot para las variables estudiadas en las dos primeras componentes del ACP en los genotipos C y D

En los genotipos C y D (Figura 32 A) a un mayor nivel de NN las puntuaciones se orientan hacia mayores valores de la primera componente, mostrando aumentos en la SOL, SB, CA, RGE y menor BD, EG, CAA y GTZ. Dado que mayores valores en estas variables están relacionados con mejores características culinarias, indica que mayores NN permitiría mejorar la calidad del grano de arroz.

En los genotipos C y D (Figura 32 B) el genotipo D presenta se observa que ambos genotipos tienen valores ampliamente distribuidos en la primera componente, mientras que respecto a la segunda componente el genotipo C presenta puntuaciones más bajas, indicando menores temperaturas de gelatinización y mayor VM. Esto muestra al genotipo C como el genotipo con mejores características culinarias.

V. CONCLUSIONES

1. El nivel de nitrógeno y el genotipo afectaron significativamente al contenido de amilosa, contenido de proteína, longitud, relación largo/ancho, peso de mil granos, contenido de grano tizoso, capacidad de absorción de agua, solubilidad y capacidad de hinchamiento, entalpía de gelatinización y propiedades de pasta, mientras que el ancho del grano y las temperaturas de gelatinización sólo fueron afectadas por el genotipo de arroz.
2. El incremento en la fertilización con nitrógeno aumentó el contenido de amilosa y proteína en los genotipos de arroz PALM 52-53-4-2 (A), PALM 25-42-3-4 (B), PALM 25-59-6-1 (C), PALM 11-41-3-2 (D) y la variedad comercial “La Puntilla” (E) siendo el genotipo PALM 11-41-3-2 (D) el que mostró un mayor contenido de amilosa, con un aumento de 16,71 a 20,31 por ciento, mientras que el contenido de proteína aumentó de 5 a 9 por ciento en todos los genotipos.
3. El nivel de nitrógeno mejoró la calidad física, molinera y culinaria del grano de arroz, evidenciado en un incremento en la longitud, relación largo/ancho, peso de mil granos, disminución del contenido de granos tizosos, incremento del rendimiento de grano entero en arroz cáscara, proporción de grano entero pulido, solubilidad de sólidos en la cocción, disminución de la capacidad de absorción de agua, entalpía de gelatinización, viscosidad pico, Breakdown, y aumento del Setback.
4. De los genotipos estudiados el genotipo PALM 25-59-6-1 (C) mostró mayor longitud, mayor peso de mil granos, menor capacidad de absorción de agua, (disminuyó de 11,1 a 10 g agua/g), menor temperatura de gelatinización pico (66° C), culminación (71° C) y entalpía de gelatinización (5,25 J/g), y junto con el genotipo PALM 11-41-3-2 (D) mostraron tener menor temperatura de pasta, Breakdown y mayor Setback. Estas características están relacionadas con el desarrollo de una mayor dureza y consistencia del grano así como menor adhesividad posterior a la cocción, por lo que el genotipo C presentó las mejores características culinarias.

5. A través del análisis de componentes principales se observó que en los genotipos A, B y E hubo una relación positiva en las temperaturas de gelatinización, capacidad de absorción de agua, entalpía de gelatinización, Breakdown, y viscosidad pico, y negativamente con la solubilidad, contenido de amilosa y Setback. Por otro lado hubo una relación positiva entre el rendimiento de grano entero, contenido de proteína y negativamente con el contenido de granos tizosos. Una relación similar hubo en los genotipos C y D, mostrando la importancia del contenido de amilosa y proteína sobre las características culinarias del grano y de calidad física.

VI. RECOMENDACIONES

1. Evaluar las condiciones óptimas de preferencia del consumidor peruano respecto a parámetros como el contenido de amilosa, propiedades térmicas, propiedades del perfil de pasta, propiedades de cocción a través de un mapa de preferencia interno y externo.
2. Plantear modelos predictivos para la relación entre las características culinarias con la aceptabilidad del consumidor peruano
3. Analizar los cambios en la digestibilidad del almidón de arroz con las variaciones en el nivel de nitrógeno de fertilización.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acevedo, M; Castrillo, W; Belmonte, U. 2006. Origen, evolución y diversidad del arroz. *Agronomía Tropical*. 2 (56): 25 – 56.

Ahmad, S.; Zia-Ul-Haq, M.; Ali, H.; Ahmad, A.; Khan, M.A.; Khaliq, T.; Husnain, Z.; Hussain, A.; Hoogenboom, G. 2009. Morphological and quality parameters of *Oryza sativa* L. as affected by population dynamics nitrogen fertilization and irrigation regimes. *Pak. J. Bot.* 41 (3): 1259 – 1269

Ai, Y; Jane, J. 2015. Gelatinization and rheological properties of starch. *Starch*. 67 (2015): 213 – 224.

Allahgholipour, M; Ali, A; Alinia, F; Nagamine, T; Kojima, Y. 2006. Relationship between rice grain amylose and pasting properties for breeding better quality rice varieties. *Plant Breeding*. 125 (2006): 357 – 362.

Altamirano, L. 2018. Rendimiento del Cultivo de Arroz con Sistema de Riego por Goteo en La Molina. Tesis Ing. Lima. Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Amagliani, L; O' Regan, J; Kelly, A; O' Mahony, J. 2016. Chemistry, structure, functionality and applications of rice starch. *Journal of Cereal Science*. 70 (2016): 291 – 300.

AOAC. 2005. Official Methods of Analysis of AOAC International. 18th Edition. Washington DC. USA. Association of Officiating Analytical Chemists.

Atungulu, G; Pan, Z. 2014. Rice industrial processing worldwide and impact on macro and micronutrient content, stability, and retention. *Annals of The New York Academy of Sciences*. 1324 (2014): 15 – 28.

Atungulu, G; Sadaka, S. 2019. Chapter 15, Postharvest technology: rice drying. In *Rice, Chemistry and Technology*. 4th Ed. Bao, J Editor. Cambridge, USA. Elsevier Inc.

- Aulakh, C.S.; Kaur, P.; Walia, S.S.; Gill, R.S.; Sharma, S.; Buttar, G.S. 2016. Productivity and quality of basmati rice (*Oryza sativa*) in relation to nitrogen management. *Indian Journal of Agronomy*. 61 (4): 467 – 473
- Badui, S. 2012. *La Ciencia de los Alimentos en la Práctica*. México. Pearson Educación de México S.A. 295 p.
- Bahmaniar, M; Ranjbar, G. 2007. Response of Rice (*Oryza sativa* L) Cooking Quality Properties to Nitrogen and Potassium Application. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 10 (11): 1880 – 1884.
- Balet, S; Guelpa, A; Fox, G; Manley, M. 2019. Rapid Visco Analyser (RVA) as a Tool for Measuring Starch-Related Physicochemical Properties in Cereals: a Reviw. *Food Analytical Methods*. 12 (2019): 2344 – 2360.
- Bao, J. 2019a. Chapter 3, Rice starch. In *Rice, Chemistry and Technology*. 4th Ed. Bao, J Editor. Cambridge, USA. Elsevier Inc.
- Bao, J. 2019b. Chapter 10, Rice milling quality. In *Rice, Chemistry and Technology*. 4th Ed. Bao, J Editor. Cambridge, USA. Elsevier Inc.
- Bao, J.S. 2008. Accurate Measurement of Pasting Temperature by the Rapid Visco-Analyser: A Case Study Using Rice Flour. *Rice Science*. 15 (1): 69 – 72
- Becerra, R; Sigüeñas, M. 2007. Perú: Segundo Informe sobre el Estado de los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la agricultura (2007). Lima. Perú. Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA).
- Bertoft, E; Laohaphatanalert, K ; Piyachomkwan, K; Sriroth, K. 2010. The fine structure of cassava starch amylopectin. Part 2: Building block structure of clusters. *International Journal of Biological Macromolecules*. 47 (2010): 325 – 335.
- Bhattacharya, K. 2011. *Rice Quality, A guide to Rice Properties and Analysis*. USA. Woodhead Publishing. 563 p.
- Cao, X.; Sun, H.; Wang, C.; Ren, X.; Liu, H.; Zhang, Z. 2017. Effects of late-stage nitrogen fertilizer application on the starch structure and cooking quality of rice. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 98 (6): 2332–2340

Centro Nacional de Alimentación y Nutrición. 2009. Tablas Peruanas de Composición de Alimentos. Lima. Perú. Ministerio de Salud, Instituto Nacional de Salud.

Champagne, E; Bett-Barber, K; Thompson, J; Mutters, R; Grimm, C; McClung, M. 2005. Effects of Drain and Harvest Dates on Rice Sensory and Physicochemical Properties. *Cereal Chem.* 82 (4): 369 – 374.

Choi, W; Arroyo, S; Seo, H. 2018. Cross Cultural Comparisons between Korean and US Adults with Respect to Texture Perception and Acceptance of Cooked Milled Rice. *International Journal of Food Science and Technology.* 53 (9): 2181 – 2194.

Chun, A; Lee, H; Hamaker, B; Janaswamy, S. 2015. Effects of Ripening Temperature on Starch Structure and Gelatinization, Pasting, and Cooking Properties in Rice (*Oryza sativa*). *J. Agric. Food Chem.* 63 (2015): 3085 – 3093.

Chung, H.J.; Liu, Q.; Lee, L.; Wei, D. 2011. Relationship between the structure, physicochemical properties and in vitro digestibility of rice starches with different amylose contents. *Food Hydrocolloids.* 25 (2011): 968 – 975

Cortegana, M. 2017. Respuesta de Fuentes y Niveles de Nitrógeno en el Cultivo de Arroz (*Oryza sativa* L.) en Condiciones del Valle Chancay, Lambayeque. Tesis Ing. Lima. Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Deepa, G; Singh, V; Naidu, A. 2008. Nutrient Composition and Physicochemical Properties of Indian Medicinal rice- Njavara. *Food Chemistry.* 106 (2008): 165 – 171.

Degiovanni, V; Berrío, L; Charry, R. 2010. Capítulo 4, Origen, taxonomía, anatomía y morfología de la planta de arroz (*Oryza sativa* L.). En Producción Eco-Eficiente del Arroz en América Latina. Degiovanni, V; Martínez, C; Motta, F. Editores. Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

Dendy, D. 2004. Cereales y Productos Derivados, Química y Tecnología. Zaragoza. España. Editorial Acribia. 552 p.

Díaz, S; Morejon, R; Lucinada, D; Castro, R. 2015. Evaluación morfoagronómica de Cultivares Tradicionales de Arroz (*Oryza sativa* L.) Colectados en Fincas de Productores de la Provincia Pinar del Río. *Cultivos Tropicales.* 36 (2015): 131 – 132.

- Ekeran, P.J. 2003. Thermodynamics Background to Thermal Analysis and Calorimetry. Ch 2. In Handbook of Thermal Analysis and Calorimetry. Brown, M Editor. Amsterdam. Netherlands. Elsevier B.V.
- Fennema, O. 2000. Química de Alimentos. Editorial Acribia S.A. Zaragoza. España. 1258 p.
- Ferreira, A; Oliveira, J; Pathania, S; Almeida, A; Brites, C. 2017. Rice Quality Profiling to Classify Germplasm in Breeding Programs. Journal of Cereal Science. 76 (2017): 17 – 27.
- Fitzgerald, M; McCouch, S; Hall, R. 2009. Not Just a Grain of Rice: The Quest for Quality. Trends Plant Sci. 14 (2009): 133 – 139.
- Gallant, D; Bouchet, B; Baldwin, P. 1997. Microscopy of starch: evidence of a new level of granule organization. Carbohydrate Polymers. 32 (1997): 171 – 191.
- García, D; Bassinello, P; Ascheri, D; Ascheri, J; Trovo, J; Cobucci, R. 2011. Cooking Quality of Upland and Lowland Rice Characterized by Different Methods. Ciencia e Tecnología de Alimentos. 31 (2): 341 – 348.
- García, O; Pérez, N; González, M. 2014. Producción de semillas de arroz con alta calidad, obtenidas en Pinar del Río. Revista Científica Avances. 16 (4): 329 – 340.
- Goesaert, H; Brijs, K; Veraberbeke, W; Courtin, C; Bebruers, K; Delcour, J. 2005. Wheat flour constituents: how they impact bread quality, and how to impact their functionality. Trends in Food Science & Technology. 16 (2005): 12 – 30.
- Gonzales, M; Seminario, K. 2016. Plan de Negocios para la Transformación y Comercialización de Arroz Integral en los Distritos de Piura y Castilla. (Tesis para Licenciatura en Administración de Empresas). Piura. Perú. Universidad Nacional de Piura.
- González, M; Alonso, A. 2016. Tecnologías para Ahorrar agua en el Cultivo de Arroz. NOVA. 14 (26): 111 – 126.
- González, R; Livore, A; Pons, B. 2004. Physico-Chemical and Cooking Characteristics of Some Rice Varieties. Brazilian Archives of Biology and Technology. 47 (1): 71 – 76.

Han, H.; Yang, C.; Zhu, J.; Zhang, L.; Bai, Y.; Li, e.; Gilbert, R.G. 2019. Competition between Granule Bound Starch Synthase and Starch Branching Enzyme in Starch Biosynthesis. *Rice*. 12 (96): 9

Heros, E. 2018. Unalm frente al cambio climático en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* l.) (en línea). Redagícola. Consultado 10 ene 2020. Disponible en <http://www.redagricola.com/pe/unalm-frente-al-cambio-climatico-en-el-cultivo-de-arroz-oryza-sativa-l/>

Hizukuri, S. 1986. Polymodal distribution of the chain lengths of amylopectins, and its significance. *Carbohydrate Research*. 147 (2): 342 – 347.

Huang, L., Yu, J., Yang, J., Zhanz, R., Bai, Y., Sun, C., Zhuang, H. 2016. Relationships Between Yield, Quality and Nitrogen Uptake and Utilization of Organically Grown Rice Varieties. *Pedosphere*. 26 (1): 85 – 97

INACAL. 2014. NTP 205.011. Arroz, arroz elaborado, requisitos. Lima. Perú. Instituto Nacional de la Calidad INACAL.

INIA. 2009. Segundo Informe sobre el Estado de los Recursos Fitogenéticos para la Agricultura y la Alimentación. Lima. Perú. Instituto Nacional de Innovación Agraria. Subdirección de recursos Genéticos y Biotecnología. 94 p.

INIA. 2018. INIA Presenta Nueva Variedad de Arroz Resistente a Plagas y con Alta Capacidad de Producción (en línea). Portal del Ministerio de Agricultura y Riego. Consultado 10 ene 2020. Disponible en <https://www.inia.gob.pe/2018-nota-213/>

Jane, J. 2009. Structural features of starch granules II. In *Starch: Chemistry and Technology*. BeMiller, Whistler Editors. Amsterdam. Academi Press. 557 p.

Jarma, A; Degiovanni, V; Montoya, R. 2010. Capítulo 5, Índices fisioténicos, fases de crecimiento y etapas de desarrollo de la planta de arroz. En *Producción Eco-Eficiente del Arroz en América Latina*. Degiovanni, V; Martínez, C; Motta, F. Editores. Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

Jin, Q; Xu, X. 2020. Microstructure, gelatinization and pasting properties of rice starch under acid and heat treatments. *International Journal of Biological Macromolecules*. 149 (2020): 1098 – 1108.

Juliano, B. 1993. Rice in human nutrition. Rome. Italy. Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO.

Juliano, B; Tũaño, A. 2019. Chapter 2, Gross structure and composition of the rice grain. In *Rice, Chemistry and Technology*. 4th Ed. Bao, J Editor. Cambridge, USA. Elsevier Inc.

Kaminski, T; Brackmann, A; Silva, L; Nicoletti, A; Sampaio, B. 2013. Changes in culinary, viscoamylographic and sensory characteristics during rice storage at different temperatures. *Journal of Stored Products Research*. 53 (2013): 37 – 42.

Kasai, M; Lewis, A; Ayabe, S; Hatae, K; Fyfe, C. 2007. Quantitative NMR imaging study of the cooking of Japonica and Indica rice. *Food Research International*. 40 (2007): 1020 – 1029.

Khair, R; Pan, Z. 2019. Chapter 2, Rice. In *Integrated Processing Technologies for Food and Agricultural By-Products*. London. Pan, Z; Zhang, R; Zicari, S Editors. United Kingdom. Academic Press.

Kong, X; Chen, Y; Zhu, P; Sui, Z; Corke, H; Bao, J. 2015a. Relationships among Genetic, Structural, and Functional Properties of Rice Starch. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 63 (2015): 6241 – 6248.

Kong, X; Zhu, P; Sui, Z; Bajo, J. 2015b. Physicochemical Properties of Starches from Diverse Rice Cultivars varying in Apparent Amylose Content and Gelatinization Temperature Combinations. *Food Chemistry*. 172 (2015): 433 – 440.

Krishnan, S; Dayanandan, P. 2003. Structural and histochemical studies on grain-filling in the caryopsis of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal of Biosciences*. 4 (28): 455 – 469.

Kumar, A.; Sen, A.; Kumar, P.; Singh, R.K. 2017. Effect of Zinc, Iron and Manganese levels on Quality, Micro and macro Nutrients content of Rice and their relationship with Yield. *Communications in soil science and plant analysis*. 48 (13): 1539 – 1551

Leesawatwong, M.; Jamjod, S.; Kuo, J.; Dell, B.; Rerkasem. 2005. Nitrogen Fertilizer Increases Seed Protein and Milling Quality of Rice. *Cereal Chem.* 82 (5): 588 – 593

León, C. 2015. Producción nacional creció 55.8% durante el periodo 2004-2014 (en línea). Agraria.pe: Agencia agraria de noticias. Consultado 10 ene 2020. Disponible en <http://agraria.pe/noticias/produccion-nacional-de-arroz-crecio-558-durante-el-periodo-2-8059>

León, J; Carreres, R. 2002. Calidad del Arroz: Criterios para una adecuada valoración. *Vida Rural.* 145: 38 – 40.

Li, H.; Prakash, S.; Nicholson, T.M.; Fitzgerald, M.; Gilbert, R.G. 2016. The importance of amylose and amylopectin fine structure for textural properties of cooked rice grains. *Food Chemistry.* 196 (2016): 702 – 711

Li, H.; Wen, Y.; Wang, J.; Sun, B. 2018. Relations between chain-length distribution, molecular size, and amylose content of rice starches. *International Journal of Biological Macromolecules.* 120 (2018): 2017 – 2025

Martínez, C; Torres, E; Chatel, M; Mosquera, G; Duitama, J; Ishitani, M; Selvaraj, M; Dedicova, B; Tohme, J. 2014. Chapter 5, Rice Breeding in Latin America. In *Plant Breeding Reviews*. Janick, J Editor. USA. John Wiley & Sons, Inc.

Matignon, A; Ducept, F; Siefferman, J; Barey, P; Desprairies, M; Mauduit, S; Michon, C. 2014. Rheological properties of starch suspensions using a rotational rheometer fitted with a starch stirrer cell. *Rheol Acta.* 53 (2014): 255 – 267.

Megazyme. 2018. Amylose/Amylopectin assay procedure (K-AMYL 06/18). Megazyme. Ireland. Disponible en: https://www.megazyme.com/documents/Assay_Protocol/K-AMYL_DATA.pdf

Mestres, C; Briffaz, A; Valentin, D. 2019. Chapter 12, Rice cooking and sensory quality. In *Rice, Chemistry and Technology*. 4th Ed. Bao, J Editor. Cambridge, USA. Elsevier Inc.

Meullenet, J; Marks, B; Hankins, J; Griffin, V; Daniels, M. 2000. Sensory Quality of Cooked Long Grain as Affected by Rough Rice moisture Content, Storage Temperature, and Storage Duration. *Cereal Chem.* 77 (2): 259 – 263.

MINAGRI. 2010. Arroz en el Perú. Lima. Perú. Ministerio de Agricultura, Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos. Lima. Perú. Disponible en: <https://www.minagri.gob.pe/portal/>

MINAGRI. 2017. Informe del Arroz. Lima. Perú. Ministerio de Agricultura y Riego. Dirección General de Políticas Agrarias. Lima. Perú.

MINAGRI. 2020. Plan Nacional de Cultivos, Campaña Agrícola 2019 – 2020. Lima, Perú. Ministerio de Agricultura y Riego. Lima. Perú. Disponible en: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/>

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, MIDAGRI. 2021. Observatorio de Commodities: Arroz, enero – marzo 2021. Dirección General de Políticas Agrarias. Lima. Perú.

Mohapatra, D; Bal, S. 2006. Cooking Quality and Instrumental Textural Attributes of Cooked Rice for Different Milling Fractions. *Journal of Food Engineering*. 73 (2006): 253 – 259.

Nachimutu, V.V.; Sudhakar, R.D.; RAveendran, M.; Rajeswari, S.; Manonmani, S. 2014. Evaluation of Rice Genetic Diversity and Variability in a Population Panel by principal Component Analysis. *Indian Journal of Science and Technology*. 7 (10): 1555 – 1562

Nambi, E; Manickavasagan, A; Shahir, S. 2017. Chapter 1, Rice Milling Technology to Produce Brown Rice. In *Brown Rice*. Manickavasagan, A; Chandini, S; Venkatachalapathy, N Editors. EE UU. Springer International Publishing AG.

Nin, H.; Qiao, J.; Liu, Z.; Lin, Z.; Li, G.; Wang, Q.; Wang, S.; Ding, Y. 2010. Distribution of proteins and aminoacids in milled and brown rice as affected by nitrogen fertilization and genotype. *Journal of Cereal Science*. 52 (2010): 90 – 95

Nori, H.; Halim, R.A.; Ramlan, M.F. 2008. Effects of nitrogen fertilization management practice on the yield and straw nutritional quality of commercial Rice varieties. *Malaysian Journal of mathematical Sciences*. 2 (2): 61 – 71

Nuwamanya, E; Baguma, Y; Emmambux, N; Rubaihayo, P. 2010. Crystalline and pasting properties of cassava starch are influenced by its molecular properties. *African Journal of Food Science*. 4 (1): 008 – 015.

Park, I.M.; Ibáñez, A.M.; Shoemaker, C.F. 2007. Rice Starch Molecular Size and its Relationship with Amylose Content. *Starch*. 59 (2007): 69 – 77

Park, I; Ibáñez, A; Zhong, F; Shoemaker, C. 2007. Gelatinization and Pasting Properties of Waxy and Non Waxy Rice Starches. *Starch*. 59 (2007): 388 – 396.

Patindol, J; Siebenmorgen, T; Wang, Y. 2015. Impact of environmental factors on rice starch structure: A review. *Starch*. 67 (2015): 42 – 54.

Pérez, I; Montoya, M. 2009. Calidad del Grano y Variabilidad Genética de Variedades y Líneas de Arroz del Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). *Agronomía Trop*. 59 (4): 445 – 456.

Place, G; Sims, J; Hall, V. 1970. Effects of Nitrogen and Phosphorus Fertilization on Growth, Yield, and Cooking Characteristics of Rice. *Agronomy Journal*. 62 (1970): 239 – 243.

Puicón, C. 1997. Aplicación de Técnicas in Vitro en el Mejoramiento Genético del Arroz (*Oryza sativa* L.): Cultivo de Anteras y Embriones Inmaduros. Tesis Mg. Sc. Lima. Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Qiao, J.; Liu, Z.; Deng, S.; Ning, H.; Yang, X.; Lin, Z.; Li, G.; Wang, Q.; Wang, S.; Ding, Y. 2011. Occurrence of perfect and imperfect grains of six japonica rice cultivars as affected by nitrogen fertilization. *Plant Soil*. 349: 191 – 202

Rincón, N; Vega, L; Contreras, M; Acosta, A; Rodríguez, M. 2016. Analysis of the pasting profile in corn starch: Structural, morphological, and thermal transformations, Part I. *International Journal of Biological Macromolecules*. 91 (2016): 106 – 114.

Rodríguez, D. 2017. Potencial de Rendimiento de Líneas Mutantes de Arroz (*Oryza sativa* l.) Desarrolladas Mediante Aplicación de Rayos Gamma en Condiciones del Valle de Jequetepeque. Tesis Ing. Lima. Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina.

- Salazar, W. 2018. Respuesta del Cultivo de Arroz, CV IR 71706 al Estrés Hídrico Bajo Riego por Goteo en la UNALM. Tesis Ing. Lima. Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Sanjinez, F; Julca, A. 2019. Caracterización de parcelas productoras de arroz (*Oryza sativa*L.) en Tumbes, Perú. *Agroindustrial Science*. 9 (1): 67 – 75.
- Scade, J. 1984. Cereales. Zaragoza. España. Editorial Acribia. 94 p.
- Schirmer, M; Jekle, M; Becker, T. 2015. Starch gelatinization and its complexity for analysis. *Starch*. 67 (2015): 30 – 41.
- Serna, S. 2003. Manufactura y Control de Calidad de Productos Basados en Cereales. México. AGT Editor S.A. 340 p.
- Singh, N.; Pal, N.; Mahajan, G.; Singh, S.; Shevkani, K. 2011. Rice grain and starch properties: effects of nitrogen fertilizer application. *Carbohydrate Polymers*. 86 (2011): 219 – 225.
- Singh, N; Naur, L; Singh, N; Singh, K. 2005. Physicochemical, cooking, and textural properties of milled rice from different Indian rice cultivars. *Food Chemistry*. 89 (2005): 253 – 259.
- Sowbhagya, C; Bhattacharya, R. 2001. Changes in Pasting Behaviour of Rice during Ageing. *Journal of Cereal Science*. 34 (2001): 115 – 124.
- Srisawas, W; Jindal, V. 2007. Sensory Evaluation of Cooked Rice in Relation to Water-to-Rice Ratio and Physicochemical Properties. *Journal of Texture Studies*. 38 (1): 21 – 41.
- Sun, J., Hou, C., Zhang, S., 2008. Effect of protein on the rheological properties of rice flour. *J. Food Process. Preserv.* 32: 987 – 1001
- Taghinezhad, E; Khoshtaghaza, H; Minaei, S; Suzuki, T; Brenner, T. 2016. Relationship Between Degree of Starch Gelatinization and Quality Attributes of Parboiled Rice During Steaming. *Rice Science*. 23 (6): 339 – 344.

Tan, Y.; Corke, H. 2002. Factor analysis of physicochemical properties of 63 rice varieties. *J Sci Food Agric.* 82 (2002): 745 – 752

Tangsrianugul, N; Wongsagonsup, R; Suphantharika, M. 2019. Physicochemical and rheological properties of flour and starch from Thai pigmented rice cultivars. *International Journal of Biological Macromolecules.* 137 (2019): 666 – 675.

Teng, B.; Xi, M.; Du, S.; Zhou, Y.; Zhang, Y.; Zhang, Y.; Luo, Z.; Wu, W. 2021. Structural and functional properties of indica rice starch as influenced by late-stage nitrogen fertilization. *International Journal of Food Properties.* 24 (1): 249 – 263

Thiranosornkij, L.; Thamnarathip, P.; Chandrachai, A.; Kuakpetoon, D.; Adisakwattana, S. 2019. Comparative studies on physicochemical properties, starch hydrolysis, predicted glycemic index of Hom Mali rice and Riceberry rice flour and their applications in bread. *Food Chemistry.* 283 (2019): 224 – 231

Torres, E; Martínez, C. 2010. Capítulo 9, El mejoramiento del arroz. En *Producción Eco-Eficiente del Arroz en América Latina*. Degiovanni, V; Martínez, C; Motta, F. Editores. Cali, Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

Tran, U; Okadome, H; Murata, M; Homma, S; Ohtsubo, K. 2001. Comparison of Vietnamese and Japanese Rice Cultivars in Terms of Physicochemical Properties. *Food Sci. Technol. Res.* 7 (4): 323 – 330.

Umemoto, T.; Terashima, K. 2002. Activity of granule-bound starch synthase is an important determinant of amylose content in rice endosperm. *Functional Plant Biology.* 29 (9): 1121 – 1124

Vandeputte, G; Delcour, J. 2004. From sucrose to starch granule to starch physical behavior: a focus on rice starch. *Carbohydrate polymers.* 58 (2004): 245 – 266.

Varavinit, S; Shobsngob, S; Varayanond, W; Chinachoti, P; Vaivikul, O. 2003. Effect of amylose content on gelatinization, retrogradation, and pasting properties of flours from different cultivars of Thai rice. *Starch.* 55 (2003): 410 – 415.

Vásquez, I. 2013. INIA presenta Nuevo Arroz Resistente, Productivo y de Calidad Culinaria (en línea). La República. Consultado 10 ene 2020. Disponible en

<https://larepublica.pe/archivo/713118-inia-presenta-nuevo-arroz-resistente-productivo-y-de-calidad-culinaria/>

Vaughan, D; Kadowaki, K; Kaga, A; Tomooka, N. 2005. On the Phylogeny and Biogeography of the Genus *Oryza*. *Breeding Science*. 55 (2005): 113 – 122.

Walker, T. W., Bond, J. A., Ottis, B. V., Gerard, P. D., Harrell, D. L. (2008). Hybrid Rice Response to Nitrogen Fertilization for Midsouthern United States Rice Production. *Agronomy Journal*. 100 (2): 381

Wang, L.; Xie, B.; Shi, H.; Xue, S.; Deng, Q.; Wei, Y.; Tian, B. 2010. Physicochemical properties and structure of starches from Chinese rice cultivars. *Foods Hydrocolloids*. 24 (2010): 208 – 216

Wang, L; Liu, W; Xu, Y; He, Y; Luo, L; Xing, Y; Xu, C; Zhang, O. 2007. Genetic Basis of 17 Traits and Viscosity Parameters Characterizing the Eating and Cooking Quality of Rice Grain. *Theor Appl Genet*. 115 (2007): 463 – 476.

Wang, S; Chao, C; Xiang, F; Zhang, X; Wang, S; Copeland, L. 2018. New insights into gelatinization mechanisms of cereal endosperms starches. *Scientific Reports*. 3011 (2018): 1 – 8.

Wang, S; Copeland, L. 2013. Molecular disassembly of starch granules during gelatinization and its effect on starch digestibility: a review. *Food & Function*. 4 (2013): 1564 – 1580.

Wang, S; Li, C; Copeland, L; Niu, Q; Wang, S. 2015. Starch Retrogradation: A Comprehensive Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 14 (2015): 568 – 585.

Wang, S; Li, C; Copeland, L; Niu, Q; Wang, S. 2015. Starch Retrogradation: A comprehensive Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 14 (2015): 568 – 585.

Wei X; Huang, X. 2019. Chapter 1, Origin, taxonomy, and phylogenetics of rice. In *Rice, Chemistry and Technology*. 4th Ed. Bao, J Editor. Cambridge, USA. Elsevier Inc.

- Willfahrt, A; Steiner, E; Hötzel, J; Crispin, X. 2019. Printable acid-modified corn starch as non toxic, disposable hydrogel-polymer electrolyte in supercapacitors. *Applied Physics A*. 125 (2019): 473 – 483.
- Xie, L; Chen, N; Duan, B; Zhu, Z; Liao, X. 2008. Impact of Proteins on Pasting and Cooking Properties of Waxy and Non Waxy Rice. *Journal of Cereal Science*. 47 (2008): 372 – 379.
- Yang, L; Wang, Y, Dong, G; Gu, H; Huang, J; Zhu, J; Yang, H; Liu, G; Han, Y. 2007. The impact of free-air CO₂ enrichment (FACE) and nitrogen supply on grain quality of rice. *Field Crops Research*. 102 (2007): 128 – 140.
- Yang, X.; Bi, J.; Gilbert, R., Li, G.; Liu, Z.; Wang, S.; Ding, Y. 2016. Amylopectin chain length distribution in grains of japonica rice as affected by nitrogen fertilizer and genotype. *Journal of Cereal Science*. 71 (2016): 230 – 238
- Ye, J.; Hu, X.; Luo, S.; McClements, D.J.; Liang, L; Liu, C. 2018. Effect of endogenous proteins and lipids on starch digestibility in rice flour. *Food Research International*. 106 (2018): 404 – 409
- Ye, L; Wang, C; Wang, S; Zhou, S; Liu, X. 2016. Thermal and Rheological Properties of Brown Flour from *Indica* rice. *Journal of Cereal Science*. 70 (2016): 270 – 274.
- Yu, S; Ma, Y; Menager, L; Sun, D. 2012. Physicochemical properties of starch and Flour from Different Rice Cultivars. *Food Bioprocess Technol*. 5 (2012): 626 – 637.
- Zapata, R. 2015. Influencia de la Variedad, Fuente y Dosis de Nitrógeno en la Producción del Cultivo de Arroz (*Oryza sativa* L.) en Siembre por Transplante. Tesis Ing. Piura. Perú. Universidad Nacional de Piura. 110 p.
- Zhan, Q., Ye, X., Zhang, Y., Kong, X., Bao, J., Corke, H., & Sui, Z. 2019. Starch granule-associated proteins affect the physicochemical properties of rice starch. *Food Hydrocolloids*, 105504
- Zhang, H; Hou, D; Peng, X; Ma, B; Shao, S; Jing, W; Gu, J; Liu, J; Wang, Z; Liu, Y; Yang, J. 2019. Optimizing Integrative Cultivation Management Improves Grain Quality

while Increasing Yield and Nitrogen Use Efficiency in Rice. *Journal of Integrative Agriculture*. 18 (12): 2716 – 2731.

Zhang, L.; Xie, C.; Yang, G. 2008. Effects of nitrogen and potassium on starch content and activities of starch synthase in grains of hybrid Rice B You 827. *Chin J Rice Sci*. 22 (2008): 551–554

Zhong, L; Cheng, F; Wen, X; Sun, X; Zhang, G. 2005. The Deterioration of Eating and Cooking Quality Caused by High Temperature During Grain Filling in Early-Season *indica* Rice Cultivars. *J. Agronomy & Crop Science*. 191 (2005): 218 – 225.

Zhou, L.; Liang, S.; Ponce, K.; Marundon, S.; Ye, G.; Zhao, X. 2015. Factors affecting head rice yield and chalkiness in indica rice. *Field Crops Research*. 172: 1–10

Zhou, T.; Zhou, Q.; Li, E.; Yuan, L.; Wang, W.; Zhang, H.; Liu, L.; Wang, Z.; Yang, J.; Gu, J. 2020. Effects of nitrogen fertilizer on structure and physicochemical properties of ‘super’ rice starch. *Carbohydrate Polymers*. 239 (1): 116237

Zhou, W.; Lv, T.; Zhang, P.; Huang, Y.; Chen, Y.; Ren, W. 2016. Regular nitrogen application increases nitrogen utilization efficiency and grain yield in Indica hybrid rice. *Agronomy Journal*. 108 (5): 1951 – 1961.

Zhu, D.; Zhang, H.; Guo, B.; Xu, K.; Dai, Q.; Wei, C.; Zhou, G.; Huo, Z. 2017b. Effects of nitrogen level on structure and physicochemical properties of rice starch. *Food Hydrocolloids*. 63 (2017): 525 – 532

Wei, D; Zhang, H; Guo, B; Xu, K; Wei, H; Gao, H; Hu, Y; Cui, p; Huo, Z. 2017a. Effects of Nitrogen Level on Yield and Quality of Japonica Soft Super Rice. *Journal of Integrative Agriculture*. 6 (5): 1018 – 1027.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: ANOVA y LSD para la longitud del grano de arroz

ANOVA para la longitud del grano de arroz por genotipo y nivel de nitrógeno

Efecto	GL	SC	CM	F	p
NN	3	1.438	0.479	74.4	0.000000
Genotipo	4	6.679	1.670	259.1	0.000000
Interacción	12	0.414	0.034	5.3	0.000001
Error	100	0.644	0.006		
Total	119	9.175			

Comparación de medias de la longitud del grano de arroz

NN	Genotipo	Media	Subgrupo					
			1	2	3	4	5	6
0	B	6.598	****					
0	A	6.614	****					
120	D	6.796		****				
120	A	6.811		****				
240	A	6.825		****				
240	D	6.830		****				
0	D	6.832		****				
120	B	6.854		****				
0	E	6.885		****	****			
360	A	6.888		****	****			
360	D	6.917		****	****			
240	B	6.971			****	****		
360	B	7.061				****		
240	E	7.161					****	
360	E	7.171					****	
120	E	7.189					****	
0	C	7.193					****	
120	C	7.475						****
240	C	7.483						****
360	C	7.549						****

Error: Between MS = .00644, df = 100.00

Anexo 2: ANOVA y LSD para el ancho del grano de arroz

ANOVA para el ancho del grano de arroz por genotipo y nivel de nitrógeno

Efecto	GL	SC	CM	F	p	
NN		3	0.0027	0.0009	2	0.215605
Genotipo		4	1.7050	0.4262	714	0.000000
Interacción		12	0.0144	0.0012	2	0.031060
Error		100	0.0597	0.0006		
Total		119	1.7818			

Comparación de medias el ancho del grano de arroz

NN	Genotipo	Media	Subgrupo						
			1	2	3	4	5	6	7
0	E	2.372	****						
240	E	2.382	****						
360	E	2.397	****						
120	E	2.400	****						
120	D	2.444		****					
240	D	2.454		****	****				
360	D	2.461		****	****				
0	D	2.481			****				
0	A	2.571				****			
120	A	2.576				****			
360	A	2.577				****			
240	A	2.608					****		
0	C	2.616					****	****	
240	C	2.632					****	****	
360	C	2.640						****	
120	C	2.641						****	
0	B	2.709							****
120	B	2.712							****
240	B	2.727							****
360	B	2.732							****

Error: Between MS = .00060, df = 100.00

Anexo 3: ANOVA y LSD para la relación longitud/ancho grano de arroz

ANOVA para la relación Longitud/Ancho grano de arroz por genotipo y nivel de nitrógeno

Efecto	GL	SC	CM	F	p
NN	3	0.1749	0.0583	104	0.000000
Genotipo	4	2.8630	0.7158	1279	0.000000
Interacción	12	0.0308	0.0026	5	0.000007
Error	100	0.0560	0.0006		
Total	119	3.1246			

Comparación de medias la relación Longitud/Ancho del grano de arroz

NN	Genotipo	Media	Subgrupo												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
0	B	2.441	****												
120	B	2.533		****											
240	B	2.564			****										
0	A	2.590			****	****									
360	B	2.593				****									
240	A	2.634					****								
120	A	2.661					****								
360	A	2.690						****							
0	C	2.756							****						
0	D	2.761							****	****					
120	D	2.786								****					
240	D	2.792								****					
360	D	2.817								****	****				
120	C	2.836									****				
240	C	2.850									****				
360	C	2.867									****				
0	E	2.908											****		
360	E	2.999													****
120	E	3.002													****
240	E	3.015													****

Anexo 4: ANOVA y LSD para el peso de mil granos del arroz

ANOVA para la relación Longitud/Ancho grano de arroz por genotipo y nivel de nitrógeno

Efecto	GL	SC	CM	F	p	
NN		3	26.70	8.90	48.4	0.000000
Genotipo		4	309.79	77.45	420.7	0.000000
Interacción		12	18.03	1.50	8.2	0.000000
Error		100	18.41	0.18		
Total		119	372.92			

Comparación de medias para el peso de mil granos del arroz

NN	Genotipo	Media	Subgrupo							
			1	2	3	4	5	6	7	8
0	E	18.17271	****							
120	D	19.02775		****						
240	D	19.07672		****						
0	A	19.59954			****					
0	D	19.64651			****					
240	E	19.70460			****					
360	D	19.98355			****					
240	A	20.02080			****					
120	E	20.03237			****					
360	E	20.05498			****					
360	A	20.11294			****					
120	A	20.11369			****					
0	B	21.22933				****				
0	C	22.12643					****			
120	B	22.73451						****		
240	B	23.09368						****	****	
240	C	23.18804						****	****	****
360	B	23.41820							****	****
120	C	23.57746							****	****
360	C	23.59933								****

Error: Between MS = .18407, df = 100.00

Anexo 5: ANOVA y LSD para el contenido de granos tizosos del arroz

ANOVA para el contenido de granos tizosos del arroz por genotipo y nivel de nitrógeno

Efecto	GL	SC	CM	F	p
NN	3	3106.92	1035.64	257.45	0.00
Genotipo	4	53356.57	13339.14	3315.96	0.00
Interacción	12	2379.35	198.28	49.29	0.00
Error	100	402.27	4.02		
Total	119	59245.11			

Comparación de medias para el contenido de granos tizosos del arroz

NN	Genotipo	Media	Genotipo										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9		
360	D	5.17767	****										
360	E	6.50646	****	****									
120	E	7.72775	****	****									
240	E	8.02892	****	****									
240	D	9.12900	****	****	****								
360	C	9.18356	****	****	****								
120	D	10.31454		****	****								
0	E	10.58168		****	****								
120	A	12.35213			****	****							
240	A	12.74086			****	****							
360	A	12.99748			****	****							
240	C	13.28346			****	****							
0	A	15.98146				****							
120	C	23.17087					****						
0	D	31.71327						****					
0	C	36.43474							****				
360	B	61.71909								****			
240	B	66.04703									****		
120	B	66.94727										****	
0	B	68.83639											****

Error: Between MS = 4.0227, df = 100.00

Anexo 6: ANOVA y LSD para el rendimiento de grano posterior al descascarillado

ANOVA para el rendimiento de grano de arroz por genotipo y nivel de nitrógeno

Efecto	GL	SC	CM	F	p	
NN		3	46.7	15.6	17.2	0.000000
Genotipo		4	170.6	42.7	47.1	0.000000
Interacción		12	21.0	1.8	1.9	0.047987
Error		60	54.4	0.9		
Total		79	292.8			

Comparación de medias para el rendimiento de grano

NN	Genotipo	Media	Subgrupo						
			1	2	3	4	5	6	7
0	D	65.721	****						
240	D	65.721	****						
120	D	66.085	****	****					
0	B	67.091		****	****				
120	A	67.109		****	****				
120	B	67.585			****				
0	C	67.670			****				
120	C	67.718			****				
0	A	68.005			****	****			
360	D	68.046			****	****			
360	C	68.367			****	****			
240	C	68.517			****	****			
240	A	69.086				****	****		
360	A	69.378				****	****		
240	B	69.973					****		
360	B	70.174					****	****	
0	E	70.222					****	****	
120	E	70.361					****	****	
360	E	71.475						****	****
240	E	71.730							****

Error: Between MS = .90612, df = 60.000

Anexo 7: ANOVA y LSD para el rendimiento de grano entero

ANOVA para el rendimiento de grano entero en arroz-cáscara por genotipo y nivel de nitrógeno

Efecto	GL	SC	CM	F	p	
NN		3	451.9	150.6	85.5	0.000000
Genotipo		4	1002.7	250.7	142.2	0.000000
Interacción		12	123.4	10.3	5.8	0.000001
Error		60	105.8	1.8		
Total		79	1683.7			

Comparación de medias para el rendimiento de grano entero en arroz-cáscara

NN	Genotipo	Media	Subgrupo									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	
0	B	51.97	****									
120	B	54.40		****								
120	C	56.74			****							
0	C	57.75			****							
120	D	58.08			****	****						
0	D	58.48			****	****						
240	B	59.70				****						
240	D	59.80				****						
240	C	61.71					****					
360	D	62.52					****					
120	A	62.79					****	****				
0	A	62.83					****	****				
360	C	63.26					****	****	****			
360	B	63.38					****	****	****			
0	E	64.45						****	****	****		
240	A	64.85							****	****		
360	A	66.21								****		
120	E	66.41								****		
360	E	68.93									****	
240	E	69.09										****

Error: Between MS = 1.7627, df = 60.000

Anexo 8: ANOVA y LSD para el rendimiento de grano entero en arroz pulido

ANOVA para el rendimiento de grano entero en arroz pulido por genotipo y nivel de nitrógeno

Efecto	GL	SC	CM	F	p	
NN		3	490.8	163.6	69.6	0.000000
Genotipo		4	1356.4	339.1	144.2	0.000000
Interacción		12	204.2	17.0	7.2	0.000000
Error		60	141.1	2.4		
Total		79	2192.6			

Comparación de medias para el rendimiento de grano entero en arroz pulido

NN	Genotipo	Media	Subgrupo												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
0	B	77.471	****												
120	B	80.469		****											
120	C	83.792			****										
240	B	85.314			****										
0	C	85.368			****										
120	D	87.882				****									
0	D	88.989				****	****								
240	C	90.066					****	****							
360	B	90.309					****	****							
240	D	91.027					****	****	****						
0	E	91.749						****	****						
360	D	91.880						****	****						
0	A	92.377						****	****	****					
360	C	92.523							****	****					
120	A	93.577							****	****	****				
240	A	93.860							****	****	****				
120	E	94.387								****	****	****			
360	A	95.433									****	****			
240	E	96.319											****		
360	E	96.442												****	

Anexo 9: ANOVA y LSD para el contenido de humedad del arroz

ANOVA para la humedad en arroz por genotipo y nivel de nitrógeno

Efecto	GL	SC	CM	F	p
NN	3	1.427	0.476	7.17	0.001871
Genotipo	4	1.082	0.270	4.08	0.014152
Interacción	12	1.135	0.095	1.43	0.233637
Error	20	1.328	0.066		
Total	39	4.972			

Comparación de medias para el contenido de humedad del arroz

NN	Genotipo	Media	Subgrupo			
			1	2	3	4
360	B	10.22	****			
240	C	10.24	****			
120	B	10.37	****	****		
120	E	10.39	****	****		
360	D	10.41	****	****		
120	C	10.43	****	****		
360	A	10.50	****	****		
120	A	10.58	****	****	****	
240	B	10.58	****	****	****	
120	D	10.59	****	****	****	
240	A	10.60	****	****	****	
360	C	10.72	****	****	****	
240	D	10.74	****	****	****	
0	D	10.74	****	****	****	
0	A	10.87		****	****	****
0	C	10.93		****	****	****
0	B	10.95		****	****	****
360	E	11.06			****	****
240	E	11.12			****	****
0	E	11.40				****

Error: Between MS = .06638, df = 20.000

Anexo 10: ANOVA y LSD para el contenido de amilosa del arroz

ANOVA para el contenido de amilosa en arroz por genotipo y nivel de nitrógeno

Efecto	GL	SC	CM	F	p	
NN		3	126.40	42.13	65.23	0.000000
Genotipo		4	73.34	18.33	28.38	0.000000
Interacción		12	14.58	1.21	1.88	0.102144
Error		20	12.92	0.65		
Total		39	227.24			

Comparación de medias para el contenido de amilosa del arroz

NN	Genotipo	Media	Subgrupo							
			1	2	3	4	5	6	7	8
0	E	10.835	****							
0	C	12.605		****						
0	A	13.255		****						
120	E	14.190		****	****					
120	A	15.340			****	****				
0	B	15.465			****	****				
360	E	15.495			****	****				
240	E	16.075				****	****			
120	B	16.160				****	****	****		
120	C	16.265				****	****	****		
0	D	16.710				****	****	****		
120	D	16.775				****	****	****		
240	A	17.180					****	****	****	
360	C	17.780						****	****	
240	C	17.795						****	****	
240	B	18.625							****	
240	D	18.705							****	****
360	A	18.735							****	****
360	B	19.285							****	****
360	D	20.310								****

Error: Between MS = .64598, df = 20.000

Anexo 11: ANOVA y LSD para el contenido de proteína del arroz

ANOVA para el contenido de proteína en arroz por genotipo y nivel de nitrógeno

Efecto	GL	SC	CM	F	p
NN	3	122.552	40.851	5232.2	0.000000
Genotipo	4	2.647	0.662	84.8	0.000000
Interacción	12	2.031	0.169	21.7	0.000000
Error	20	0.156	0.008		
Total	39	127.386			

Comparación de medias para el contenido de proteína del arroz

NN	Genotipo	Media	Subgrupo											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
0	C	5.48500	****											
0	E	5.48500	****											
0	D	5.53000	****											
0	B	5.54000	****											
0	A	5.57500	****											
120	E	6.85000		****										
120	B	6.85500		****										
120	A	6.98500		****	****									
120	D	7.04000			****									
120	C	7.50500				****								
240	A	8.23500					****							
240	D	8.63000						****						
240	B	8.70000						****						
240	E	8.91500							****					
240	C	9.63500								****				
360	E	9.76500									****	****		
360	D	9.82000										****		
360	A	9.82500											****	
360	B	10.41000												****
360	C	10.89000												****

Error: Between MS = .00781, df = 20.000

Anexo 12: ANOVA y LSD para la capacidad de absorción de agua del arroz

ANOVA para la capacidad de absorción de agua del arroz por genotipo y nivel de nitrógeno

Efecto	GL	SC	CM	F	p	
NN		3	4.699	1.566	39.6	0.000000
Genotipo		4	9.995	2.499	63.1	0.000000
Interacción		12	0.542	0.045	1.1	0.383520
Error		20	0.792	0.040		
Total		39	16.028			

Comparación de medias para la capacidad de absorción de agua del arroz

NN	Genotipo	Media	Subgrupo							
			1	2	3	4	5	6	7	8
360	D	9.669	****							
360	C	10.036	****	****						
360	B	10.117		****						
240	D	10.224		****	****					
240	C	10.261		****	****					
240	B	10.312		****	****	****				
120	B	10.587			****	****				
0	D	10.594			****	****				
120	D	10.687				****	****			
120	C	10.747				****	****			
360	A	11.028					****	****		
0	B	11.088					****	****		
240	A	11.156					****	****		
0	C	11.169						****		
360	E	11.183						****		
120	A	11.346						****		
240	E	11.418						****	****	
120	E	11.789							****	****
0	A	11.839								****
0	E	11.851								****

Error: Between MS = .03960, df = 20.000

Anexo 13: ANOVA y LSD para solubilidad del arroz

ANOVA para la solubilidad del arroz por genotipo y nivel de nitrógeno

Efecto	GL	SC	CM	F	p	
NN		3	61.86	20.62	157.97	0.000000
Genotipo		4	57.05	14.26	109.28	0.000000
Interacción		12	7.38	0.62	4.71	0.001154
Error		20	2.61	0.13		
Total		39	128.90			

Comparación de medias para la solubilidad del arroz

NN	Genotipo	Media	Subgrupo							
			1	2	3	4	5	6	7	8
0	C	15.105	****							
0	A	15.298	****							
120	A	15.445	****							
0	E	15.568	****	****						
240	C	16.300		****						
240	A	16.592			****					
120	C	16.947			****					
120	E	17.021			****					
0	B	17.301			****	****				
240	E	17.648			****	****				
0	D	17.780				****				
360	C	17.901				****				
120	D	18.228				****	****			
360	E	18.861					****	****		
240	D	19.113						****		
120	B	19.412						****		
360	A	19.471						****		
240	B	19.704						****		
360	D	20.595							****	
360	B	21.529								****

Error: Between MS = .13052, df = 20.000

Anexo 14: ANOVA y LSD para la capacidad de hinchamiento del arroz

ANOVA para la capacidad de hinchamiento del arroz por genotipo y nivel de nitrógeno

Efecto	GL	SC	CM	F	p	
NN		3	1.321	0.440	7.0	0.002098
Genotipo		4	14.158	3.540	56.3	0.000000
Interacción		12	1.813	0.151	2.4	0.040028
Error		20	1.257	0.063		
Total		39	18.549			

Comparación de medias para la capacidad de hinchamiento del arroz

NN	Genotipo	Media	Subgrupo							
			1	2	3	4	5	6	7	
360	D	11.885	****							
240	C	11.909	****							
0	D	11.990	****	****						
360	C	12.005	****	****						
240	D	12.345	****	****	****					
0	B	12.473		****	****					
0	C	12.494		****	****					
360	B	12.502		****	****	****				
240	B	12.514		****	****	****				
120	D	12.603			****	****	****			
120	C	12.804			****	****	****			
120	B	13.020				****	****	****		
240	A	13.123					****	****		
120	A	13.175					****	****		
360	A	13.397						****	****	
360	E	13.496						****	****	
240	E	13.580						****	****	
0	E	13.748							****	
0	A	13.916							****	
120	E	13.924							****	

Error: Between MS = .06285, df = 20.000

Anexo 15: ANOVA y LSD para la temperatura de comienzo de gelatinización

ANOVA para la temperatura de comienzo de gelatinización del arroz por genotipo y nivel de nitrógeno

Efecto	GL	SC	CM	F	p	
NN		3	0.2	0.1	1	0.636381
Genotipo		4	161.2	40.3	419	0.000000
Interacción		12	1.6	0.1	1	0.238144
Error		20	1.9	0.1		
Total		39	164.9			

Comparación de medias para la temperatura de comienzo de gelatinización del arroz

NN	Genotipo	Media	Subgrupo			
			1	2	3	4
120	B	55.285	****			
240	B	55.330	****			
360	B	55.360	****			
0	B	55.475	****			
120	C	56.795		****		
360	D	56.895		****		
0	D	57.000		****		
240	C	57.065		****		
360	C	57.225		****		
0	C	57.350		****		
120	D	57.360		****		
240	D	57.425		****		
360	E	60.105			****	
0	A	60.110			****	
120	A	60.230			****	
360	A	60.345			****	
240	A	60.370			****	
240	E	60.505			****	****
0	E	60.635			****	****
120	E	61.055				****

Error: Between MS = .09621, df = 20.000

Anexo 16: ANOVA y LSD para la temperatura pico de gelatinización

ANOVA para la temperatura pico de gelatinización del arroz por genotipo y nivel de nitrógeno

Efecto	GL	SC	CM	F	p	
NN		3	0.2	0.1	1	0.582842
Genotipo		4	56.7	14.2	129	0.000000
Interacción		12	2.5	0.2	2	0.098557
Error		20	2.2	0.1		
Total		39	61.6			

Comparación de medias para la temperatura pico de gelatinización del arroz

NN	Genotipo	Media	Subgrupo				
			1	2	3	4	5
120	C	63.535	****				
240	C	63.585	****				
0	C	63.635	****	****			
360	B	63.868	****	****	****		
240	B	63.902	****	****	****		
0	D	63.902	****	****	****		
360	D	63.985	****	****	****		
120	B	64.068	****	****	****		
360	C	64.285		****	****		
120	D	64.418			****		
0	B	64.452			****		
240	D	64.535			****		
360	E	65.802				****	
240	E	66.151				****	****
240	A	66.468				****	****
360	A	66.468				****	****
0	E	66.584					****
0	A	66.601					****
120	E	66.618					****
120	A	66.668					****

Error: Between MS = .10987, df = 20.000

Anexo 17: ANOVA y LSD para la temperatura de culminación de gelatinización

ANOVA para la temperatura de culminación de gelatinización del arroz por genotipo y nivel de nitrógeno

Efecto	GL	SC	CM	F	p	
NN		3	0.9	0.3	0.9	0.454337
Genotipo		4	39.0	9.7	30.3	0.000000
Interacción		12	4.1	0.3	1.1	0.444613
Error		20	6.4	0.3		
Total		39	50.3			

Comparación de medias para la temperatura de culminación de gelatinización del arroz

NN	Genotipo	Media	Subgrupo				
			1	2	3	4	5
240	C	70.79000	****				
120	C	70.79500	****				
0	C	71.00500	****	****			
360	C	71.51000	****	****	****		
0	D	71.52000	****	****	****		
360	D	71.57000	****	****	****		
360	B	71.94500	****	****	****	****	
240	B	72.16500		****	****	****	
120	D	72.32000			****	****	
120	B	72.37500			****	****	
240	D	72.49500			****	****	
360	E	72.82000				****	****
0	B	72.89000				****	****
240	E	73.34000				****	****
360	A	73.48500				****	****
240	A	73.68500					****
0	A	73.71500					****
120	E	73.72000					****
0	E	73.97000					****
120	A	73.97000					****

Error: Between MS = .32129, df = 20.000

Anexo 18: ANOVA y LSD para la entalpía de gelatinización

ANOVA para la entalpía de gelatinización del arroz por genotipo y nivel de nitrógeno

Efecto	GL	SC	CM	F	p	
NN		3	8.700	2.900	28.91	0.000000
Genotipo		4	19.992	4.998	49.82	0.000000
Interacción		12	2.301	0.192	1.91	0.096578
Error		20	2.006	0.100		
Total		39	33.000			

Comparación de medias para la entalpía de gelatinización del arroz

NN	Genotipo	Media	Sub grupo										
			1	2	3	4	5	6	7	8	9		
240	C	5.015223	****										
360	D	5.246917	****	****									
360	C	5.272688	****	****									
240	D	5.383089	****	****	****								
240	B	5.816687		****	****	****							
120	D	5.835580		****	****	****							
360	B	5.896968		****	****	****							
120	C	5.936285			****	****							
120	B	6.024606			****	****	****						
0	D	6.155487				****	****						
0	C	6.438212				****	****	****					
360	E	6.637922					****	****	****				
360	A	6.893841						****	****				
240	A	6.993357						****	****	****			
240	E	7.066976						****	****	****			
120	A	7.170195							****	****	****		
0	A	7.604589								****	****		
120	E	7.677199								****	****		
0	B	7.730087										****	
0	E	7.847114											****

Error: Between MS = .10032, df = 20.000

Anexo 19: ANOVA y LSD para temperatura de pasta

ANOVA para la temperatura de pasta del arroz por genotipo y nivel de nitrógeno

Efecto	GL	SC	CM	F	p	
NN		3	19.8	6.6	33	0.000000
Genotipo		4	57.0	14.3	72	0.000000
Interacción		12	16.3	1.4	7	0.000093
Error		20	4.0	0.2		
Total		39	97.1			

Comparación de medias para la temperature de pasta del arroz

NN	Genotipo	Media	Subgrupo							
			1	2	3	4	5	6	7	
0	C	74.019	****							
0	D	75.659		****						
120	C	77.728			****					
360	C	77.749			****					
240	C	77.766			****					
360	D	77.909			****	****				
0	B	78.119			****	****				
240	D	78.174			****	****	****			
120	D	78.777				****	****	****		
0	A	79.089					****	****	****	
360	B	79.181						****	****	
120	A	79.373						****	****	
240	B	79.416						****	****	
120	B	79.451						****	****	
240	E	79.731							****	
360	E	79.852							****	
360	A	79.862							****	
120	E	79.968							****	
0	E	80.084							****	
240	A	80.262							****	

Error: Between MS = .19811, df = 20.000

Anexo 20: ANOVA y LSD para la viscosidad pico

ANOVA para la viscosidad pico del arroz por genotipo y nivel de nitrógeno

Efecto	GL	SC	CM	F	p	
NN		3	1181970	393990	53.68	0.000000
Genotipo		4	4349756	1087439	148.15	0.000000
Interacción		12	135212	11268	1.54	0.191648
Error		20	146802	7340		
Total		39	5813740			

Comparación de medias para la viscosidad pico del arroz

NN	Genotipo	Media	Sub grupo																	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10								
360	B	1182.970	****																	
240	B	1249.360	****																	
120	B	1354.220	****	****																
0	B	1521.060		****	****															
360	A	1540.135			****															
360	E	1575.280			****															
240	A	1630.770			****	****														
240	E	1675.295			****	****														
120	A	1792.995				****	****													
360	D	1917.995					****	****												
120	E	1921.450					****	****												
0	E	1988.875						****												
240	D	2014.570						****	****											
360	C	2029.750						****	****	****										
0	A	2092.595						****	****	****										
240	C	2185.550							****	****	****									
120	D	2201.095								****	****									
0	D	2231.180								****	****									
120	C	2294.880									****									
0	C	2683.343										****								

Error: Between MS = 7340.1, df = 20.000

Anexo 21: ANOVA y LSD para la viscosidad mínima

ANOVA para la viscosidad mínima del arroz por genotipo y nivel de nitrógeno

Efecto	GL	SC	CM	F	p
NN	3	56078	18693	6.21	0.003725
Genotipo	4	2297156	574289	190.76	0.000000
Interacción	12	43221	3602	1.20	0.349221
Error	20	60211	3011		
Total	39	2456666			

Comparación de medias para la viscosidad mínima del arroz

NN	Genotipo	Media	Sub grupo																		
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10									
360	B	723.581	****																		
240	B	771.101	****																		
120	B	805.500	****	****																	
0	B	817.912	****	****																	
360	A	908.328		****	****																
360	E	952.034			****	****															
240	A	959.472			****	****															
0	A	974.785			****	****	****														
120	A	984.406			****	****	****														
240	E	992.128			****	****	****														
0	E	1047.285				****	****														
120	E	1074.230					****	****													
240	D	1153.760						****	****												
360	D	1247.120							****	****											
120	D	1340.095								****	****										
0	D	1382.965									****	****									
360	C	1438.605										****	****								
0	C	1445.562											****	****							
240	C	1454.205												****	****						
120	C	1471.395													****	****					

Error: Between MS = 3010.6, df = 20.000

Anexo 22: ANOVA y LSD para la viscosidad de pasta caliente

ANOVA para la viscosidad de pasta caliente del arroz por genotipo y nivel de nitrógeno

Efecto	GL	SC	CM	F	p
NN	3	57933	19311	6.52	0.002955
Genotipo	4	2344099	586025	197.99	0.000000
Interacción	12	32352	2696	0.91	0.553212
Error	20	59196	2960		
Total	39	2493580			

Comparación de medias para la viscosidad de pasta caliente del arroz

NN	Genotipo	Media	Sub grupo							
			1	2	3	4	5	6	7	
360	B	724.196	****							
240	B	771.952	****							
120	B	808.198	****	****						
0	B	821.816	****	****						
360	A	910.017		****	****					
360	E	952.925			****					
240	A	961.171			****					
0	A	983.112			****	****				
120	A	990.347			****	****				
240	E	994.193			****	****				
0	E	1055.135			****	****				
120	E	1077.155				****	****			
240	D	1187.285					****			
360	D	1250.380					****			
120	D	1344.855					****	****		
0	D	1389.430						****	****	
360	C	1442.355						****	****	
0	C	1451.755						****	****	
240	C	1459.380							****	
120	C	1481.460								****

Error: Between MS = 2959.8, df = 20.000

Anexo 23: ANOVA y LSD para la viscosidad de pasta fría

ANOVA para la viscosidad de pasta fría del arroz por genotipo y nivel de nitrógeno

Efecto	GL	SC	CM	F	p
NN	3	225023	75008	5.56	0.006085
Genotipo	4	28384042	7096010	526.25	0.000000
Interacción	12	183707	15309	1.14	0.387247
Error	20	269681	13484		
Total	39	29062453			

Comparación de medias para la viscosidad de pasta fría del arroz

NN	Genotipo	Media	Sub grupo						
			1	2	3	4	5	6	
360	B	1903.085	****						
0	B	1932.340	****	****					
0	A	1953.515	****	****					
240	B	2011.805	****	****					
120	B	2018.660	****	****					
0	E	2041.530	****	****					
120	A	2063.365	****	****					
360	A	2075.385	****	****					
240	E	2094.735	****	****					
360	E	2104.340	****	****					
120	E	2154.255		****					
240	A	2164.140		****					
0	C	3450.580			****				
0	D	3613.810			****	****			
240	C	3692.730			****	****	****		
120	C	3696.262				****	****		
360	C	3730.465				****	****		
120	D	3862.610					****	****	
240	D	3895.249					****	****	
360	D	4092.242							****

Error: Between MS = 13484., df = 20.000

Anexo 24: ANOVA y LSD para la viscosidad final

ANOVA para la viscosidad final del arroz por genotipo y nivel de nitrógeno

Efecto	GL	SC	CM	F	p
NN	3	141796	47265	3.67	0.029523
Genotipo	4	28116971	7029243	546.11	0.000000
Interacción	12	131942	10995	0.85	0.600538
Error	20	257427	12871		
Total	39	28648135			

Comparación de medias para la viscosidad final del arroz

NN	Genotipo	Media	Sub grupo			
			1	2	3	4
0	A	1804.570	****			
360	B	1807.940	****			
0	B	1830.420	****			
0	E	1853.255	****			
120	A	1876.915	****			
120	B	1893.805	****			
240	B	1895.680	****			
360	A	1899.915	****			
240	E	1930.795	****			
360	E	1946.205	****			
120	E	1963.445	****			
240	A	1966.445	****			
0	C	3368.213		****		
0	D	3505.180		****	****	
240	C	3526.810		****	****	
120	C	3547.871		****	****	
360	C	3582.485		****	****	
120	D	3645.545			****	
240	D	3684.697			****	****
360	D	3907.531				****

Error: Between MS = 12871., df = 20.000

Anexo 25: ANOVA y LSD para el Breakdown

ANOVA para el breakdown del arroz por genotipo y nivel de nitrógeno

Efecto	GL	SC	CM	F	p	
NN		3	741647	247216	129.75	0.000000
Genotipo		4	448355	112089	58.83	0.000000
Interacción		12	216744	18062	9.48	0.000008
Error		20	38107	1905		
Total		39	1444852			

Comparación de medias para el breakdown del arroz

NN	Genotipo	Media	Sub grupo						
			1	2	3	4	5	6	7
360	B	459.389	****						
240	B	478.259	****	****					
120	B	548.721	****	****	****				
360	C	591.145	****	****	****				
360	E	623.246		****	****				
360	A	631.807			****				
360	D	670.875			****	****			
240	A	671.298			****	****			
240	E	683.167			****	****	****		
0	B	703.149			****	****	****		
240	C	731.345			****	****	****		
120	A	808.590				****	****	****	
120	C	823.485					****	****	
120	E	847.220					****	****	
0	D	848.215					****	****	
240	D	860.810						****	
120	D	861.000						****	
0	E	941.590						****	
0	A	1117.810							****
0	C	1237.781							****

Error: Between MS = 4941.1, df = 20.000

Anexo 26: ANOVA y LSD para el Setback

ANOVA para el setback del arroz por genotipo y nivel de nitrógeno

Efecto	GL	SC	CM	F	p
NN	3	327497	109166	16.49	0.000012
Genotipo	4	15816278	3954069	597.22	0.000000
Interacción	12	160603	13384	2.02	0.079127
Error	20	132416	6621		
Total	39	16436794			

Comparación de medias para el setback del arroz

NN	Genotipo	Media	Sub grupo							
			1	2	3	4	5	6	7	
0	E	805.970	****							
0	A	829.785	****	****						
120	E	889.215	****	****						
120	A	892.510	****	****						
240	E	938.667	****	****	****					
360	A	991.587		****	****					
360	E	994.171		****	****					
240	A	1006.973		****	****					
0	B	1012.509		****	****					
360	B	1084.359			****					
120	B	1088.306			****					
240	B	1124.579			****					
0	C	1922.651				****				
240	C	2072.605				****	****			
120	C	2076.476				****	****			
0	D	2122.215					****			
360	C	2143.880					****	****		
120	D	2305.450						****		
240	D	2530.937								****
360	D	2660.411								****

Error: Between MS = 6621, df = 20.000