



**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE BIOLOGÍA**

**EFECTO DE LAS CONDICIONES DE
ALMACENAMIENTO SOBRE LA CALIDAD DE
DOS CULTIVARES DE ARROZ (*Oryza sativa L.*)
CULTIVADAS EN EL ESTADO YARACUY**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela, por la bachiller Carolina Pérez Franco como requisito parcial para optar al título de Licenciado en Biología

Tutor(a): M. Sc. Zurima González

CARACAS, VENEZUELA
SEPTIEMBRE - 2011

**DEL EXAMEN PÚBLICO Y SOLEMNE DEL TRABAJO ESPECIAL DE GRADO DE
LA Br: Carolina Pérez Franco**

Quienes suscribimos, miembros del jurado evaluador designado por el Consejo de la Escuela de Biología de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela para examinar el Trabajo Especial de Grado de la **Br. Carolina Pérez Franco, C.I: V-15.337.923**, titulado **“EFECTO DE LAS CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO SOBRE LA CALIDAD DE DOS CULTIVARES DE ARROZ (*Oryza sativa L.*) CULTIVADAS EN EL ESTADO YARACUY”**, para optar al título de Licenciado en Biología, considerando que dicho trabajo cumple con los requisitos exigidos en los reglamentos respectivos lo consideramos **APROBADO**.

Para dar fe de ello se levanta la presente acta en Caracas, a los veintitrés (23) días del mes de Septiembre del año 2011.

Prof. Adriana Izquier
(Jurado)

Ing. Manuel Ávila
(Jurado)

Prof. Zurima González
(Tutor)

Dedicado a

Daniel Enrique Pérez Franco

*“Many, tus metas siempre van a
ser nuestras metas y yo las
cumpliré por los dos”*

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la vida y por renovar a cada momento esas fuerzas que tanto me ayudaron para finalizar mi carrera y seguir luchando.

A mi madre por darme la vida, por estar pendiente de cada paso que doy y por ayudarme en todo lo que sea posible.

A mi padre que siempre me ha apoyado en todo lo que he decidido hacer, por ayudarme cada vez que lo necesito y por estar allí siempre para mí.

A toda mi familia por apoyarme en todo y en especial a mis tíos Chuo y Mireya y a mi prima Jesmir por sus valiosas ayudas justo en el momento que las he necesitado, no sólo en mi carrera sino en toda mi vida.

A mi prima Delia Pérez que siempre será mi ejemplo a seguir, como dijiste una vez “todo se puede lograr, sólo hay que ser constantes”.

A mi novio, gran amigo y compañero Jorge Galvis por su paciencia, colaboración, apoyo y comprensión; te quiero mucho y espero estar siempre a tu lado.

A mi tutora Zurima González, no sólo por ayudarme en culminar este hermoso trabajo sino por ayudarme en un momento de mi carrera en la cual sentí que se me cerraban todas las puertas; para mí no sólo será mi tutora sino una gran amiga.

A la Fundación Danac y en especial al Ing. Manuel Ávila por haber aportado toda la ayuda posible para la realización de este trabajo; sin su ayuda esta investigación no hubiese sido posible.

A la profesora Adriana Izquier por el apoyo brindado y a las sugerencias dadas para la realización de este trabajo.

A mis amigas Oriza y Sosirée que con palabras de ánimo y apoyo me han acompañado en esta carrera.

A Yarcely, Jesus, Yeznareth, Arnel, Roxana, Olga, Vanessa, Alfredo y muchos otros amigos que han estado conmigo desde el inicio, siendo piezas importantes.

A mi segunda familia Mariandreina, Anayancy y Adolfo que con su carisma y alegría han logrado cambiar días de tristeza en días de felicidad.

A la Universidad Central de Venezuela y al Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos por darme la oportunidad de crecer profesionalmente.

A Ana, Bernadette, Neutzel, Víctor Hugo y el Prof. Ernesto González por la colaboración brindada para la realización de este trabajo.

A todos lo que de una u otra forma estuvieron allí, así fuese sin saberlo.

INDICE GENERAL

| | Pág. |
|--|------|
| HOJA DE EVALUACIÓN | II |
| DEDICATORIA | III |
| AGRADECIMIENTOS | IV |
| INDICE GENERAL | V |
| INDICE DE FIGURAS | VIII |
| INDICE DE TABLAS | X |
| INDICE DE ANEXOS | XIV |
| RESUMEN | XVII |
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. ANTECEDENTES | 3 |
| 1. RESEÑA BIBLIOGRÁFICA | 3 |
| 1.1 Origen del cultivo o domesticación del arroz | 3 |
| 1.2 Características generales del arroz | 3 |
| 1.3 Importancia como alimento | 5 |
| 1.4 Producción | 6 |
| 1.5 Calidad del arroz | 7 |
| 1.7 Almacenamiento del arroz | 8 |
| 2. ANTECEDENTES INTERNACIONALES | 9 |
| 3. ANTECEDENTES NACIONALES | 14 |
| III. OBJETIVO GENERAL | 17 |
| IV. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 17 |
| V. MATERIALES Y MÉTODOS | 18 |
| 1. MATERIALES | 18 |

| | |
|--|-----------|
| 1.1 Arroz en campo | 18 |
| 1.2 Cultivares de arroz | 19 |
| 2. MÉTODOS | 21 |
| 2.1 Procesamiento del arroz paddy | 22 |
| 2.1.1 Descascarado | 22 |
| 2.1.2 Pulido | 23 |
| 2.2 Caracterización del arroz paddy | 25 |
| 2.2.1 Granos enteros | 25 |
| 2.2.2 Blanco total | 26 |
| 2.2.3 Granos yesosos + panza blanca | 26 |
| 2.2.4 Dimensiones del grano (longitud y ancho) | 26 |
| 2.2.5 Blancura total y blancura cristalina | 26 |
| 2.3 Análisis químicos, físicos y reológicos | 27 |
| 2.3.1 Análisis químicos | 27 |
| 2.3.1.1 Preparación de las muestras | 27 |
| 2.3.1.2 Humedad | 28 |
| 2.3.1.3 Amilosa aparente | 28 |
| 2.3.1.4 Proteína cruda | 29 |
| 2.3.1.5 Prueba de rancidez | 29 |
| 2.3.1.6 pH y acidez | 30 |
| 2.3.2 Análisis físicos | 30 |
| 2.3.2.1 Color | 30 |
| 2.3.3 Análisis reológicos | 31 |
| 2.3.3.1 Perfil amilográfico | 31 |
| 2.4 Evaluación de la calidad culinaria | 31 |

| | |
|---|------------|
| 2.4.1 Pruebas de cocción | 31 |
| 2.4.1.1 Tiempo de cocción | 31 |
| 2.4.1.2 Relación de expansión volumétrica | 32 |
| 2.4.1.3 Relación de absorción de agua..... | 32 |
| 2.4.2 Análisis físicos | 32 |
| 2.4.2.1 Perfil de textura | 32 |
| 2.4.2.2 Color | 34 |
| 2.4.3 Análisis químicos | 34 |
| 2.4.3.1 Humedad | 34 |
| 2.5 Análisis de los resultados | 34 |
| VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 36 |
| 1 Caracterización del arroz paddy | 36 |
| 2 Análisis químicos, físicos y reológicos | 43 |
| 2.1 Análisis químicos | 43 |
| 2.2 Análisis físicos | 52 |
| 2.3 Análisis reológicos | 60 |
| 3 Evaluación de la calidad culinaria | 76 |
| 3.1 Pruebas de cocción y análisis químico | 76 |
| 3.2 Análisis físicos | 83 |
| 3.2.1 Perfil de textura | 83 |
| 3.2.2 Color | 88 |
| VII. CONCLUSIONES | 94 |
| VIII. RECOMENDACIONES | 96 |
| IX. BIBLIOGRAFÍA | 97 |
| X. ANEXOS | 103 |

INDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|------|
| Figura 1. Características de la planta de arroz. A. Partes vegetativas B. Panícula | 4 |
| Figura 2. Sección longitudinal del grano de arroz | 5 |
| Figura 3. “Trompo de los alimentos” | 6 |
| Figura 4. Esquema de almacenamiento de las muestras de arroz | 21 |
| Figura 5. Esquema de procesamiento para la obtención de arroz pulido | 22 |
| Figura 6. Descascarador modelo MTH-35A (RIMAC, USA) | 23 |
| Figura 7. Pulidor de arroz modelo 60-115-60-2AT (Grainman, USA) | 24 |
| Figura 8. Analizador de arroz Suzuki S21 | 25 |
| Figura 9. A. Molino de martillo Royal Triumph, España. B. Agitador de tamices con la serie de tamices utilizada | 27 |
| Figura 10. Colorímetro modelo CX1819 (Hunter Lab Color Flex, USA) | 31 |
| Figura 11. Analizador de textura modelo TA-XT2 (Texture Technologies Corp., New York, USA)..... | 33 |
| Figura 12. Curva típica de un análisis de perfil de textura | 33 |
| Figura 13. Granos de arroz del cultivar SD20A a tres meses de almacenamiento. a) 32 °C, b) 4 °C..... | 41 |
| Figura 14. Variación del contenido de humedad de las muestras almacenadas del cultivar D-Oryza..... | 45 |
| Figura 15. Resultados de la prueba de rancidez para el tiempo cero del cultivar D-Oryza..... | 48 |
| Figura 16. Resultados de la prueba de rancidez para el tiempo 1,5 meses del cultivar D-Oryza. a) 4 °C, b) 32 °C | 48 |

| | |
|--|----|
| Figura 17. Resultados de la prueba de rancidez para el tiempo 3 meses del cultivar D-Oryza. a) 32 °C, b) 4 °C | 48 |
| Figura 18. Resultados de la prueba de rancidez para el tiempo cero del cultivar SD20A..... | 51 |
| Figura 19. Resultados de la prueba de rancidez para el tiempo 1,5 meses del cultivar SD20A. a) 4 °C, b) 32 °C..... | 51 |
| Figura 20. Resultados de la prueba de rancidez para el tiempo 3 meses del cultivar SD20A. a) 32 °C, b) 4 °C. | 51 |
| Figura 21. Variación del índice de blancura del arroz pulido (WIp) de las muestras almacenadas del cultivar SD20A | 59 |
| Figura 22. Variación de la viscosidad máxima de las muestras almacenadas del cultivar D-Oryza | 65 |
| Figura 23. Perfiles amilográficos de las muestras del cultivar D-Oryza | 67 |
| Figura 24. Variación de la viscosidad máxima (RVU) de las muestras almacenadas del cultivar SD20A | 71 |
| Figura 25. Variación del “breakdown” (RVU) de las muestras almacenadas del cultivar SD20A | 72 |
| Figura 26. Variación de la viscosidad final (RVU) de las muestras almacenadas del cultivar SD20A..... | 73 |
| Figura 27. Perfiles amilográficos de las muestras del cultivar SD20A | 75 |
| Figura 28. Variación del contenido de humedad de arroz cocido (%) de las muestras de arroz del cultivar SD20A..... | 82 |

INDICE DE TABLAS

| | Pág. |
|--|------|
| Tabla 1. Tabla de composición del arroz blanco e integral, expresada por cada 100 g de arroz ingerido | 4 |
| Tabla 2. Características del grano del cultivar D-Oryza | 9 |
| Tabla 3. Características del grano del cultivar SD20A | 10 |
| Tabla 4. Aplicación del abono para la siembra del arroz | 20 |
| Tabla 5. Calidad molinera de las muestras de arroz del cultivar D-Oryza..... | 37 |
| Tabla 6. Significación de los cuadrados medios del porcentaje de granos enteros y de granos yesosos+panza blanca de las muestras de arroz del cultivar D-Oryza | 37 |
| Tabla 7. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la calidad molinera de las muestras de arroz del cultivar D-Oryza | 38 |
| Tabla 8. Calidad molinera de las muestras de arroz del cultivar SD20A | 40 |
| Tabla 9. Significación de los cuadrados medios del porcentaje de granos enteros y granos yesosos+panza blanca de las muestras de arroz del cultivar SD20A .. | 40 |
| Tabla 10. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la calidad molinera de las muestras de arroz del cultivar SD20A..... | 41 |
| Tabla 11. Análisis químicos de las muestras de arroz del cultivar D-Oryza | 44 |
| Tabla 12. Significación de los cuadrados medios del contenido de humedad (%), proteína cruda (%) y amilosa aparente (%) de las muestras de arroz del cultivar D-Oryza | 44 |
| Tabla 13. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la acidez y el pH de las muestras de arroz del cultivar D-Oryza | 47 |

| | |
|---|----|
| Tabla 14. Análisis químico de las muestras de arroz del cultivar SD20A | 49 |
| Tabla 15. Significación de los cuadrados medios del contenido de humedad (%), proteína cruda (%), de amilosa aparente (%) y de la acidez (meq de NaOH/g) de las muestras de arroz del cultivar SD20A | 49 |
| Tabla 16. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la acidez (meq de NaOH/g) y el pH de las muestras de arroz del cultivar SD20A..... | 50 |
| Tabla 17. Parámetros de color, índice de blancura (WIp) y la diferencia total de color (ΔE) de las muestras del arroz pulido del cultivar D-Oryza | 53 |
| Tabla 18. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre los parámetros de color e índice de blancura (WIp) de las muestras del arroz pulido del cultivar D-Oryza | 54 |
| Tabla 19. Parámetros de color, índice de blancura (WIp) y la diferencia total de color (ΔE) de las muestras del arroz pulido del cultivar SD20A | 56 |
| Tabla 20. Efecto de la temperatura de almacenamiento sobre el parámetro L* de las muestras del arroz pulido del cultivar SD20A | 57 |
| Tabla 21. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre los parámetros a* y b* de las muestras del arroz pulido del cultivar SD20A | 58 |
| Tabla 22. Significación de los cuadrados medios del índice de blancura de las muestras del arroz pulido (WIp) del cultivar SD20A | 59 |
| Tabla 23. Parámetros del perfil amilográfico de las muestras de arroz del cultivar D-Oryza | 62 |
| Tabla 24. Significación de los cuadrados medios de la viscosidad máxima (RVU), la viscosidad final (RVU), el “setback” (RVU) y la consistencia (RVU) de las muestras de arroz del cultivar D-Oryza | 63 |

| | |
|---|----|
| Tabla 25. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre los parámetros del perfil amilográfico de las muestras de arroz del cultivar D-Oryza | 63 |
| Tabla 26. Parámetros del perfil amilográfico de las muestras de arroz del cultivar SD20A. | 69 |
| Tabla 27. Significación de los cuadrados medios de la viscosidad máxima (RVU), el “breakdown” (RVU) y la viscosidad final (RVU) de las muestras de arroz del cultivar SD20A | 70 |
| Tabla 28. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la temperatura de empaste (°C), la viscosidad media (RVU), el “setback” (RVU) y la consistencia (RVU) de las muestras de arroz del cultivar SD20A | 70 |
| Tabla 29. Parámetros obtenidos de las pruebas de cocción y el contenido de humedad de las muestras de arroz cocidas del cultivar D-Oryza | 77 |
| Tabla 30. Significación de los cuadrados medios de la relación de expansión volumétrica, la relación de absorción de agua y del contenido de humedad de las muestras de arroz cocidas del cultivar D-Oryza | 77 |
| Tabla 31. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre los parámetros obtenidos de las pruebas de cocción y el contenido de humedad de las muestras de arroz cocidas del cultivar D-Oryza | 78 |
| Tabla 32. Parámetros obtenidos de las pruebas de cocción y contenido de humedad de las muestras de arroz del cultivar SD20A | 80 |
| Tabla 33. Significación de los cuadrados medios de la relación de absorción de agua y del contenido de humedad del arroz cocido de las muestras de arroz del cultivar SD20A | 80 |
| Tabla 34. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre los parámetros obtenidos de la prueba de cocción de las muestras de arroz del cultivar SD20A | 81 |

| | |
|--|----|
| Tabla 35. Parámetros del perfil de textura de las muestras cocidas del cultivar D-Oryza | 84 |
| Tabla 36. Significación de los cuadrados medios de los parámetros del perfil de textura de las muestras cocidas del cultivar D-Oryza | 85 |
| Tabla 37. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la elasticidad y la cohesividad de las muestras cocidas del cultivar D-Oryza | 86 |
| Tabla 38. Parámetros del perfil de textura de las muestras cocidas del cultivar SD20A | 86 |
| Tabla 39. Significación de los cuadrados medios de los parámetros del perfil de textura de las muestras cocidas del cultivar SD20A | 87 |
| Tabla 40. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la cohesividad y la elasticidad de las muestras de arroz del cultivar SD20A | 88 |
| Tabla 41. Parámetros de color, índice de blancura (W _{Ic}) y diferencia total de color (ΔE) de las muestras de arroz cocido del cultivar D-Oryza | 89 |
| Tabla 42. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre los parámetros de color y el índice de blancura (W _{Ic}) de las muestras de arroz cocido del cultivar D-Oryza | 89 |
| Tabla 43. Parámetros de color, índice de blancura (W _{Ic}) y diferencia total de color (ΔE) de las muestras de arroz cocido del cultivar SD20A | 91 |
| Tabla 44. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre los parámetros de color de las muestras de arroz cocido del cultivar SD20A | 91 |

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A

| | Pág. |
|---|------|
| Tabla A1. Valores de correlación entre los parámetros de color de arroz pulido, color de arroz cocido, blancura total y blancura cristalina | 103 |
| Tabla A2. Valores de correlación entre la calidad molinera del arroz, amilosa aparente y parámetros reológicos | 103 |
| Tabla A3. Valores de correlación entre la calidad molinera del arroz y los parámetros de perfil de textura | 103 |
| Tabla A4. Valores de correlación entre los parámetros del perfil de textura y los parámetros de perfil amilográfico | 104 |
| Tabla A5. Valores de correlación entre los parámetros del perfil amilográfico y las pruebas de cocción | 104 |
| Tabla A6. Valores de correlación entre los parámetros del perfil de textura, contenido de amilosa aparente y los parámetros de calidad culinaria | 105 |
| Tabla A7. Valores de correlación entre los parámetros de los análisis químicos | 105 |
| Tabla A8. Valores de correlación entre los parámetros de la calidad molinera del arroz y el contenido de amilosa aparente | 105 |

ANEXO B

| | Pág. |
|--|------|
| Figura B1. A. Gráficas del tiempo de cocción. B. Gráficas de la proteína cruda ... | 106 |
| Figura B2. A. Gráficas del porcentaje de humedad de arroz cocido. B. Gráficas de la relación de expansión volumétrica | 106 |
| Figura B3. A. Gráficas de la relación de absorción de agua. B. Gráficas de pH | 106 |
| Figura B4. A. Gráficas de la acidez. B. Gráficas del contenido de humedad del arroz pulido | 107 |
| Figura B5. A. Gráficas de L* del arroz pulido. B. Gráficas de a* del arroz pulido .. | 107 |
| Figura B6. A. Gráficas de b* del arroz pulido. B. Gráficas de L* del arroz cocido.. | 107 |
| Figura B7. A. Gráficas de a* del arroz cocido. B. Gráficas de b* del arroz cocido.. | 108 |
| Figura B8. A. Gráficas de la dureza. B. Gráficas de la adhesividad | 108 |
| Figura B9. A. Gráficas de la cohesividad. B. Gráficas de la elasticidad | 108 |
| Figura B10. A. Gráficas del porcentaje de granos enteros. B. Gráficas del porcentaje de granos yesosos+panza blanca | 109 |
| Figura B11. A. Gráficas del contenido de amilosa. B. Gráficas de viscosidad máxima | 109 |
| Figura B12. A. Gráficas de la viscosidad media. B. Gráficas del “breakdown” | 109 |
| Figura B13. A. Gráficas de la viscosidad final. B. Gráficas del “setback” | 110 |
| Figura B14. A. Gráficas de la consistencia. B. Gráficas de la temperatura de empaste | 110 |
| Figura B15. A. Gráficas de la blancura total. B. Gráficas de la blancura cristalina .. | 110 |

ANEXO C

| | Pág. |
|---|------|
| Figura C1. Curva de calibración empleada para obtener el contenido de amilosa aparente (%) para ambos cultivares en todos los tiempos y las temperaturas de almacenamiento | 111 |
| Figura C2. Algunas curvas obtenidas del perfil de textura para el cultivar D-Oryza | 111 |
| Figura C3. Algunas curvas obtenidas del perfil de textura para el cultivar SD20A . | 112 |

RESUMEN

El arroz (*Oryza sativa* L.) es uno de los cereales más importantes en el mundo y el alimento básico de más de la mitad de la población del planeta. El arroz es un cultivo estacional por lo que hay que almacenarlo para garantizar su suministro durante todo el año y como consecuencia del almacenamiento, se han observado algunos cambios en la calidad del arroz. En este estudio se realizó el almacenamiento de dos cultivares de arroz (D-Oryza y SD20A) a dos temperaturas (4 y 32 °C) durante tres meses. La calidad molinera de los cultivares evaluados resultó afectada de manera diferente; hubo una reducción del porcentaje de granos yesosos+panza blanca, hecho que es altamente positivo para la calidad molinera de ambos; el porcentaje de granos enteros disminuyó para SD20A, lo cual no sería favorable para su valor comercial. Para ambos cultivares resultaron afectados la acidez y el pH durante el almacenamiento; asimismo, estos cultivares se clasifican como de grano largo de amilosa intermedia y el contenido de humedad de todas las muestras permitió garantizar su estabilidad durante este estudio. Además, durante el almacenamiento de las muestras de los cultivares D-Oryza y SD20A se observó un aumento del parámetro L^* a lo largo del tiempo para las primeras y con el aumento de la temperatura a 32°C para las segundas y los valores de a^* , b^* y ΔE incrementaron durante el estudio; todos estos resultados se reflejaron como un cambio de color perceptible con relación a la muestra control (tiempo cero). Los amilogramas obtenidos para ambos cultivares de las muestras almacenadas se ubicaron sobre el registro correspondiente a la muestra control de cada uno, evidenciando cambios en el comportamiento reológico del almidón; donde la temperatura de empaste y la viscosidad máxima aumentaron, mientras que el “breakdown” y el “setback” disminuyeron. Se produjo también para ambos cultivares, una reducción de la relación de absorción de agua, la relación de expansión volumétrica y del contenido de humedad de sus muestras cocidas y un incremento del tiempo de cocción, lo cual pudo ser el reflejo de la posible interacción entre el almidón y otros componentes. Para todas las muestras almacenadas y cocidas de los dos cultivares, se produjo un incremento de los parámetros L^* y b^* , así como del índice de blancura durante el almacenamiento y los valores de ΔE permitieron evidenciar diferencias de color perceptibles con la muestra control (tiempo cero). Es importante señalar que los valores de L^* y del índice de blancura incrementaron, mientras que los de b^* disminuyeron en las muestras cocidas con relación a las respectivas muestras pulida.

I. INTRODUCCIÓN

El arroz es un cereal que pertenece al Género *Oryza*, Subfamilia Oryzoideae de la Familia de las gramíneas (Gramineae). Tiene dos especies cultivadas, *Oryza sativa* L. y *Oryza glaberrima* Steud; ambas especies son diploides ($2n = 24$ cromosomas) (FAO, <http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/cropView?id=1574>). Ambos cultivos toleran diferentes condiciones climáticas y agronómicas, lo que hace que puedan desarrollarse en distintas zonas geográficas (FAO, 2004).

Este cereal es uno de los más importantes del mundo y el alimento básico de más de la mitad de la población del planeta (Juliano, 1994), por lo que se hace necesario desarrollar programas de mejoramiento genético que garanticen el suministro de variedades que reúnan las características de calidad adecuadas, a fin que satisfagan los requerimientos de los productores, la agroindustria y los consumidores. En vista de lo anterior, en Venezuela existen Institutos y Centros que se encargan de estos programas.

La calidad del arroz es el resultado de la acción de numerosos y variados factores; algunos están relacionados con las propiedades físicas y químicas del grano, tales como, el tamaño, la forma, el peso, el color, la dureza, la temperatura de gelatinización, el contenido de amilosa y el contenido de proteína, mientras que otros se refieren al cultivo y su manejo, incluidas las labores de cosecha, secado, transporte, procesamiento, almacenamiento, entre otros (Martínez y col., 1989).

El arroz es un cultivo estacional, por lo que hay que almacenarlo para garantizar su suministro durante todo el año. Como consecuencia del almacenamiento, se han observado algunos cambios en su calidad. Como ejemplo de lo anterior, se puede mencionar que, durante la cocción, el arroz recién cosechado absorbe el agua lentamente, se hincha poco, presenta mayor pérdida de sólidos y se vuelve muy pegajoso y forma grumos, mientras que el arroz almacenado se hincha y alarga más, su

pérdida de sólidos se reduce y el grano es suelto y no pegajoso. Algunos autores han denominado “envejecimiento” al proceso que conlleva a cambios en las propiedades del arroz durante el almacenamiento. Se ha demostrado que dichos cambios dependen de la temperatura y del tiempo de almacenamiento y que están determinados por los componentes del arroz y sus interacciones (Ramesh y col., 2000).

Se han realizado numerosos estudios respecto al efecto de diferentes condiciones de almacenamiento sobre la calidad del arroz. Sin embargo, se dispone de muy poca información respecto a la influencia de estas condiciones sobre la calidad de los cultivares de arroz cultivados en Venezuela, específicamente, de los cultivares D-Oryza y SD20A; por ello, no se ha podido establecer cómo se comporta su calidad a través del tiempo. De allí la importancia de esta investigación, la cual es una parte al limitado conocimiento existente acerca de las condiciones más apropiadas de manejo post-cosecha de este rubro ya que éste nos daría un mayor conocimiento sobre las condiciones apropiadas para almacenar el arroz.

II. ANTECEDENTES

1. RESEÑA BIBLIOGRÁFICA

1.1 Origen del cultivo o domesticación del arroz

El lugar geográfico donde se inició la domesticación del arroz todavía no se conoce de forma definitiva. Hay un consenso general que la misma se produjo de manera independiente en 3 regiones: China, India e Indonesia, dando lugar a tres razas de arroz: *sínica* (conocida también como *japónica*), *índica* y *javánica* (conocida también en Indonesia como *bulu*). Existen indicios que el arroz se cultivaba en la India entre los años 1.500 y 2.000 A.C. y en Indonesia, alrededor del año 1.650 A.C. (Juliano, 1994). Hallazgos arqueológicos han demostrado que el arroz tropical o índico se cultivaba en Ho-mu-tu, provincia de Chekiang, China, desde hace por lo menos 7.000 años (Chang, 1983). En los últimos seis siglos, ha llegado a extremos tan lejanos como África Occidental, América del Norte y Australia (Juliano, 1994).

1.2 Características generales del arroz

El arroz es una planta anual con tallos erectos, redondos, huecos y al final estriados, entre 0,6 y 2 m de altura, con 4 o 5 tallos, con hojas bastante planas del tipo lineal que se disponen en una secuencia alterna. Presenta raíces comunes, raicillas y raíces adventicias, como lo indica la Figura 1A y una inflorescencia en forma panícula terminal (Figura 1B); la panícula tiene entre 100 y 150 semillas. Cada rama de la panícula presenta varias espigas, cada espiga constituye una flor única y cada flor está rodeada en su base por la lemna y la palea, las cuales son dos glumas pequeñas. El grano de arroz, delimitado por estas glumas (cáscara), varía en tamaño, textura y color (Romero y Páez, 2004; FAO, <http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/GBASE/DATA/PF000274.HTM>). El cariósipide o grano de arroz integral (cargó o moreno) está

conformado por el pericarpio, el endospermo y el embrión (Figura 2) y su tamaño depende del cultivar (Álvarez, 1997).

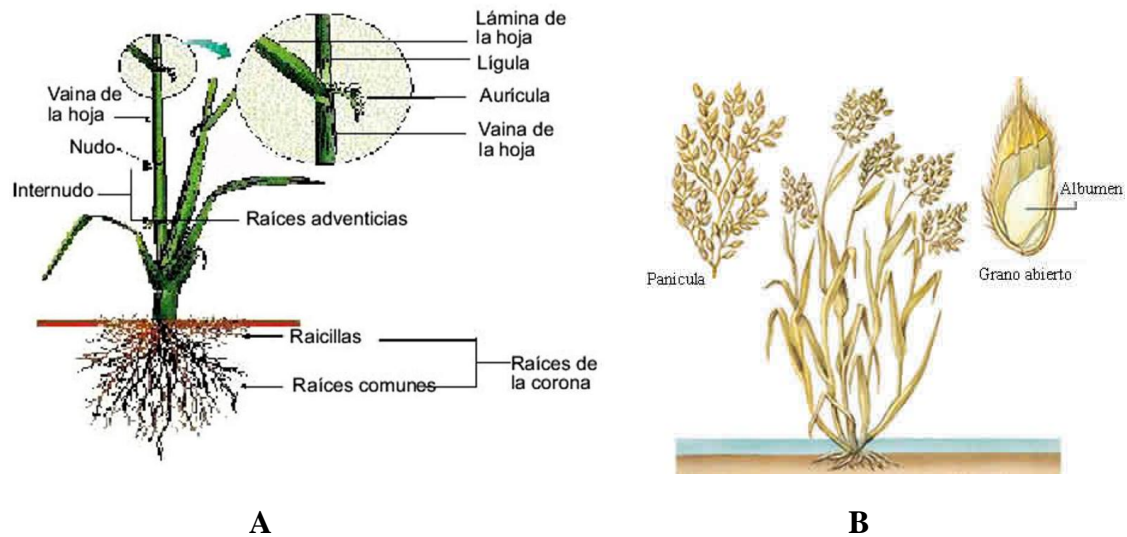


Figura 1. Características de la planta de arroz. **A.** Partes vegetativas <http://www.fao.org/docrep/006/y2778s/y2778s02.htm#bm2.2> [Consulta: 12 de abril de 2010]. **B.** Panícula <http://www.unctad.org/infocomm/espanol/arroz/images/RIZ2.jpg> [Consulta: 12 de abril de 2010].

El grano de arroz está compuesto, básicamente, por carbohidratos (principalmente por almidón), proteínas, grasas, vitaminas y minerales. La cantidad de estos constituyentes varía dependiendo si se trata de arroz paddy, integral o pulido (blanco). En la Tabla 1 se muestra la composición química, tanto del arroz integral, como del arroz pulido (blanco).

Tabla 1. Tabla de composición del arroz blanco e integral, expresada por cada 100 g de arroz ingerido.

| Arroz | Cal. | H. (g) | Prot. (g) | G. (g) | C. (g) Dis. | C. (g) T. | Fd. (g) T. | Ins. | Ce. (g) | Ca (mg) | P (mg) | Fe (mg) | Tim. (mg) | Riv. (mg) | Nic. (mg) |
|----------|------|--------|-----------|--------|-------------|-----------|------------|------|---------|---------|--------|---------|-----------|-----------|-----------|
| Blanco | 345 | 13 | 8,1 | 0,7 | 76,5 | 77,7 | 1,2 | 0,8 | 0,5 | 8 | 147 | 0,9 | 0,08 | 0,04 | 1,5 |
| Integral | 354 | 8,3 | 8,5 | 1,5 | 77 | 80 | 3,6 | 3 | 1,4 | 14 | 318 | 2,5 | 0,42 | 0,08 | 5,6 |

Cal.: Calorías, H.: Humedad, Prot.: Proteína, G.: Grasas, C.: Carbohidratos, Dis.: Disponibles, T.: Total o Totales, Fd.: Fibra Dietética, Ins.: Insoluble, Ce.: Cenizas, Tim.: Tiamina, Riv.: Riboflavina, Nic.: Niacina (INN, 2001).

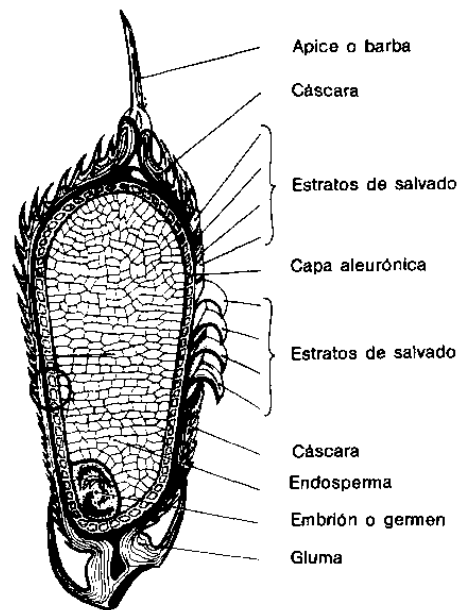


Figura 2. Sección longitudinal del grano de arroz. http://www.cd3wd.com/CD3WD_40/INPHO/VLIBRARY/X0037S/GIF/X0037S29.GIF [Consulta: 07 de abril de 2010].

1.3 Importancia como alimento

A nivel mundial, el arroz es el alimento básico de 17 países de Asia y del Pacífico, de 8 países de África, de 7 países de América Latina y del Caribe y de uno del Cercano Oriente. Por su composición, el arroz es un alimento excelente para mantener una buena salud, ya que contiene bajas cantidades de grasa y es una buena fuente de energía por ser su componente mayoritario el almidón. Aporta unas 350 calorías por cada 100 gramos, un 7% de proteínas y es rico en vitaminas del grupo B, si se consume en su forma integral (<http://www.alimentacion-sana.com.ar/informaciones/novedades/arroz.htm>).

En Venezuela, este cereal está incluido en la dieta básica, y aporta casi el 10 % de las calorías consumidas por día. El Instituto Nacional de Nutrición está promoviendo el “Trompo de los Alimentos” y en él está incluido el arroz en su franja amarilla; es importante destacar que todo alimento ubicado en esta franja debe ser consumido en dos

raciones en cada una de las comidas (Fundación Danac, [http://www.danac.org.ve/areas_disciplinarias/index.php?id_area= 1](http://www.danac.org.ve/areas_disciplinarias/index.php?id_area=1); Instituto Nacional de Nutrición, <http://www.inn.gob.ve/>).

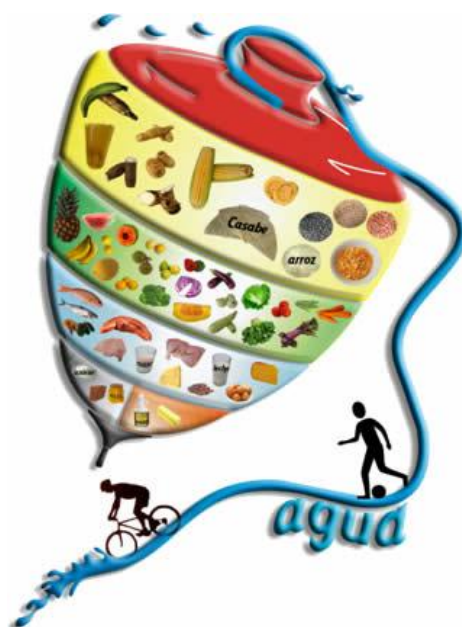


Figura 3. “Trompo de los alimentos” (Instituto Nacional de Nutrición, <http://www.inn.gob.ve/>).

1.4 Producción

En cuanto a la producción, el arroz ocupa el segundo lugar de importancia, después del trigo y se considera un alimento básico para más de la mitad de la población mundial (FAO, 2004). Según informes de la FAO, la producción de arroz aumentó cerca de 10 millones de toneladas en el 2009, para alcanzar un total de 678 millones de toneladas, un 2 % menos que la del 2008, aunque todavía sigue siendo la segunda mayor producción registrada hasta ahora (FAO, http://www.fao.org/es/ESC/es/15/70/highlight_71.html).

En Venezuela, para el 2008, el cultivo de arroz ocupaba 208.825 ha., las cuales produjeron 1.054.857 toneladas, siendo el segundo cereal más sembrado en el país (FAOSTAT, <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#anchor>).

1.5 Calidad del arroz

Las características de calidad del arroz varían dependiendo si se trata del productor, la agroindustria o el consumidor; ya que cada una de ellas tiene intereses particulares. Por ejemplo, el productor desea obtener una población adecuada de plantas, las cuales tengan buenas características de germinación, rendimiento y cosecha, mientras que la agroindustria se interesa por las características del grano, tal como un buen rendimiento en molino y un porcentaje bajo de granos partidos, yesosos y panza blanca (Calidad Molinera). Finalmente, el consumidor tiene sus propios criterios de calidad y éstos dependerán de la región donde habite y tomará en cuenta la apariencia externa del grano y su textura, aroma y sabor después de la cocción (Calidad Culinaria).

La calidad molinera se define como las características del arroz, una vez procesado (descascarado y pulido), que determinarán sus propiedades particulares y, por ende, su comercialización y uso industrial; la misma dependerá del cultivar y las condiciones de cultivo, recolección y de manejo posterior (Chen y col., 1998; Liu y col., 1998). En Venezuela, se emplean las Normas COVENIN 44-90, 3404 y 1641 para establecer esta calidad y, en función de ellas, se determina el valor comercial del arroz (COVENIN, 1990; COVENIN 1998; COVENIN, 1999).

La calidad culinaria del arroz está relacionada con su comportamiento luego de la cocción y es el resultado de una serie de factores físicos, químicos y sensoriales, los cuales están determinados por el efecto interdependiente del cultivar, la zona, las condiciones de cultivo, el manejo post-cosecha (secado, almacenamiento, entre otros) y de la naturaleza y el grado de procesamiento (Windham y col., 1997; Champagne y col., 1998; Kim y col., 2000; Lyon y col., 2000; Suwansri y Meullenet, 2004; Mohapatra y Bal, 2006). Una de las características del grano de arroz cocido, es su tendencia a aglutinarse o a mantenerse suelto, según sea el caso; este comportamiento se asocia a su

contenido de amilosa el cual puede ser bajo (8 a 20%), intermedio (20 a 27%) o alto (más de 27%) (Romero y Páez, 2004). El arroz que prefieren los venezolanos es el arroz de amilosa intermedia (22 a 27%), es decir, de granos sueltos, secos y de textura suave (Ávila, 2001), mientras que los arroces con un contenido bajo de amilosa se vuelven pegajosos luego de la cocción.

1.6 Almacenamiento del arroz

Como se indicó anteriormente, el arroz debe ser almacenado para garantizar el suministro del mismo; para ello, a nivel industrial, se utilizan silos, los cuales tienen un sistema que mantiene al grano a una temperatura y una humedad controladas, previniendo así la aparición de las plagas características del arroz (roedores, insectos, microorganismos y aves) (Castillo, 2007).

Durante el almacenamiento del arroz, ocurren una serie de cambios fisiológicos, reológicos, físicos y químicos que afectan su color, sabor y su composición, entre otras características y que pueden modificar su calidad; a este conjunto de cambios se le denomina “envejecimiento” (Zhou y col., 2001).

Anteriormente se creía que los cambios que ocurrían durante este proceso eran causados por la oxidación de las grasas y por modificaciones en la proteína y otros componentes, sin embargo, estudios recientes indican que la mayoría de los mismos son ocasionados por la interacción de la proteína con el almidón. Aunque se han realizado numerosas investigaciones en ese sentido, todavía no está completamente claro el fenómeno de “envejecimiento” del arroz durante su almacenamiento y de los posibles procesos que ocurren durante el mismo y que ocasionan cambios en la calidad del arroz (Ramesh y col., 2000).

2. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Perdon y col. (1997) estudiaron el efecto de diferentes condiciones de almacenamiento de muestras de arroz paddy de la variedad Bengal (grano intermedio) sobre la calidad, las cuales presentaban contenidos de humedad diferentes (8,8; 10,7; 12,9 y 13,6%); dichas muestras se almacenaron a varios períodos (0, 1, 2, 3, 4, 5 y 6 meses) y a diferentes temperaturas (3, 20 y 37 °C). Los autores observaron un incremento de los valores de viscosidad máxima y viscosidad final del perfil amilográfico (Brabender) durante el almacenamiento; este aumento fue mayor en las muestras almacenadas a 37°C. Además, se notó que hubo un incremento de la viscosidad máxima, entre 30-50%, durante los tres primeros meses de almacenamiento en las muestras mantenidas a 20 y 37°C para todos los contenidos de humedad. La absorción de agua de las muestras durante la cocción aumentó, en promedio, 15% a los 6 meses de almacenamiento. De este estudio se concluyó que el perfil amilográfico y las propiedades de cocción resultaron afectados significativamente ($p < 0,05$) por la duración y la temperatura del almacenamiento del arroz, así como por el contenido de humedad y la interacción entre estos parámetros.

Fan y Marks (1999) evaluaron los cambios en las propiedades de gelatinización y retrogradación de muestras de dos variedades de arroz paddy (Bengal, grano intermedio y Kaybonnet, grano largo) almacenadas a diferentes contenidos de humedad (12 y 14 %), temperaturas (4, 21, 38°C) y tiempos (0, 3, 9 y 16 semanas). El arroz almacenado a 38°C mostró una mayor entalpía y temperaturas de gelatinización ($p < 0,05$) que las muestras almacenadas a 4 y 21 °C. Los autores concluyeron que todas las condiciones de almacenamiento consideradas afectaron de manera significativa las propiedades evaluadas y, por lo tanto, concluyeron que es muy importante entender la relación entre el manejo post-cosecha y la calidad de arroz. Por otra parte, indicaron que

es posible controlar las condiciones de almacenamiento del arroz paddy para producir los cambios deseados en los atributos funcionales del arroz.

Meullenet y col. (2000) estudiaron los efectos del contenido de humedad, la temperatura y tiempo de almacenamiento, en muestras de arroz paddy de la variedad Cypress (grano largo), sobre sus características sensoriales. Las condiciones de almacenamiento fueron las siguientes: temperatura, 4, 21 y 38°C; contenido de humedad, 10, 12 y 14% y tiempo de almacenamiento, 0, 6, 12, 24 y 36 semanas. Estas muestras fueron analizadas utilizando un panel sensorial descriptivo, el cual evaluó ocho características de textura y seis atributos de sabor. Los autores encontraron que el manejo post-cosecha afectó negativamente las características sensoriales del arroz y concluyeron que las condiciones específicas de almacenamiento pueden ser importantes en la pérdida de su calidad y que si se controla la misma podría optimizarse.

Zhou y col. (2003a) evaluaron el perfil amilográfico (RVA) de tres variedades de arroz (Koshihikari, de grano medio; Kyeema, de grano largo aromático y Doongara, de grano largo) cultivadas en Australia, las cuales se almacenaron, como arroz blanco, a dos temperaturas (4 y 37 °C) durante 16 meses. El cambio más significativo en el amilograma fue la disminución del “breakdown” y la desaparición gradual del pico de viscosidad máxima en las muestras con mayor tiempo de almacenamiento. Los autores realizaron algunas hidrólisis enzimáticas, de las cuales la de mayor efecto fue la hidrólisis con proteasa, ya que la misma produjo un aumento de la viscosidad máxima y una disminución de la viscosidad final de las muestras almacenadas a la mayor temperatura. En vista de lo anterior, se concluyó que la proteína constituye un componente clave en el proceso de “envejecimiento” del arroz durante el almacenamiento.

Zhou y col. (2003b) determinaron la composición de ácidos grasos de muestras de tres variedades (Koshihikari, de grano medio; Kyeema, de grano largo aromático y Doongara, de grano largo) cultivadas en Australia, las cuales se almacenaron como arroz integral y arroz blanco, a dos temperaturas (4 y 37°C) y a diferentes intervalos de tiempo hasta un máximo de 7 meses. Estos lípidos fueron extraídos con éter de petróleo (lípidos libres) y propanol (lípidos unidos) y su contenido se determinó por gravimetría; posteriormente, se evaluó el perfil de ácidos grasos correspondiente. El almacenamiento a 37°C produjo ligeros cambios, aunque estadísticamente significativos, en dicho perfil. El arroz pulido de las tres variedades de arroz presentó una disminución del contenido de ácido linoleico después del almacenamiento a 37°C por 4 y 7 meses, en comparación con las muestras almacenadas a 4°C, mientras que en las muestras de arroz integral, el único cambio notable fue la reducción del contenido de los ácidos oleico y linoleico posterior al almacenamiento a 37°C. La cantidad de los ácidos grasos extraídos con propanol no varió durante el tiempo de almacenamiento del arroz pulido a 4 y 37°C durante 4 y 7 meses; esto permitió concluir que los lípidos unidos fueron más estables que los lípidos libres durante el almacenamiento, es decir, no sufrieron ninguna reacción de hidrólisis enzimática (lipasas) ni tampoco rancidez oxidativa.

Zhou y col. (2003c) evaluaron el efecto de la proteína sobre las propiedades del almidón de tres variedades de arroz (Koshihikari, de grano medio con 18% de amilosa; Kyeema, de grano largo aromático, con 20% de amilosa y Doongara de alta amilosa (29%) y grano largo) almacenadas, como arroz blanco, durante 16 meses a 4 y 37°C. El perfil amilográfico de las muestras de arroz resultó afectado por el almacenamiento a 37°C; los cambios más significativos se observaron en la viscosidad máxima y el “breakdown” (disminución de ambos parámetros). En contraste, a 4 °C se observó un retraso de estos cambios. En las muestras almacenadas se observa una disminución de la

lixiviación del almidón, posiblemente por su interacción con otros componentes, como proteínas, polisacáridos no amiláceos, entre otros. La hidrólisis con proteasa incrementó la proporción amilosa/amilopectina de forma significativa ($p < 0,05$) en las muestras almacenadas a 37°C, mientras que no hubo variación de este índice en las muestras almacenadas a 4°C. Se concluyó que la proteína es un factor importante en este proceso de “envejecimiento”. La mayor temperatura de almacenamiento causó una reducción en la cantidad de prolaminas y glutelinas en las fracciones extraíbles con propanol, lo cual reforzaría la afirmación anterior (interacción entre los componentes).

Patindol y col. (2005) evaluaron el efecto de las condiciones de almacenamiento sobre la estructura fina del almidón y las propiedades fisicoquímicas de dos variedades de arroz paddy (Bengal, de grano medio y Cypress, de grano largo). Las muestras fueron almacenadas a 4, 21 y 38°C durante 1, 3, 5, 7 y 9 meses, respectivamente. Los cambios significativos en la estructura fina de almidón se observaron, principalmente, en las muestras almacenadas a 38 °C y, en cierta medida, en las muestras almacenadas a 21°C. La disminución de la relación amilosa/amilopectina, la reducción de la longitud media de las cadenas de amilopectina y el cambio de la distribución de la longitud de las cadenas a cadenas ramificadas más cortas, evidenciaron la degradación del almidón a nivel molecular. La harina y el almidón provenientes de las muestras evidenciaron tendencias inconsistentes en los perfiles amilográficos (Brabender) y los termogramas, lo que sugiere el papel de, no solo el almidón, sino también de su interacción con los componentes no amiláceos en el “envejecimiento” del arroz.

Zhou y col. (2007) utilizaron tres variedades de arroz pulido de Australia (Koshihikari, de grano medio y 18% de amilosa; Kyeema, de grano largo aromático y 20% de amilosa y Doongara, de grano largo y 29% de amilosa), las cuales se almacenaron, como arroz blanco, a 4 y 37 °C por 16 meses, para evaluar el efecto de

estas condiciones de almacenamiento sobre su calidad. Los autores notaron que hubo una mayor absorción de agua y una disminución del pH y de los sólidos suspendidos en el agua residual, luego de la cocción, de las muestras almacenadas a mayor temperatura. También se realizaron mediciones con un analizador de textura, donde se observó un aumento de la dureza ($P < 0,01$) y una disminución de la adhesividad ($P < 0,01$) en las muestras almacenadas a 37°C , en comparación con las muestras almacenadas a 4°C . Además, el análisis de la fracción soluble en agua caliente sugirió que el almacenamiento a 37°C produjo una disminución de la lixiviación de los componentes del almidón, especialmente de la amilosa, lo cual estaría corroborando lo indicado en Zhou y col. (2003c) (interacción entre los componentes).

Jang y col. (2009) estudiaron el efecto del almacenamiento por 12 meses a diferentes temperaturas (5, 15 y 25°C) sobre la calidad de seis variedades de arroz paddy cultivadas en Corea (Ilmibyeyo, Chucheongbyeyo, Ilpumbyeyo, Hwayeongbyeyo, Nampyeongbyeyo y Odaebyeyo) y la manera cómo los consumidores percibieron los cambios en dicha calidad. La aceptabilidad global se correlacionó con el valor de b^* (uno de los parámetros dado por el colorímetro utilizado) del arroz cocido ($r = -0,826$), la acidez de la grasa ($r = -0,768$), la cohesividad ($r = 0,733$) y con la dureza ($r = -0,650$) es decir, se observó una mayor aceptabilidad al incrementar la cohesividad y al disminuir b^* , la acidez y la dureza, lo cual permitió inferir que los mismos podrían ser utilizados como indicadores de la calidad culinaria del arroz. Los autores proponen el almacenamiento a bajas temperaturas como una alternativa para mantener dicha calidad.

Zhou y col. (2010) evaluaron el efecto del almacenamiento sobre la cinética de la gelatinización del almidón de arroz, la cual se divide en dos etapas: absorción de agua de las zonas amorfas y la destrucción de las regiones cristalinas. Para ello, utilizaron tres variedades de arroz (koshihikari, de grano medio con 18% de amilosa; Kyeema,

aromático de grano largo con 20% de amilosa y Doongara, de grano largo con 29% de amilosa) y se almacenaron en oscuridad a 4 y 37 °C por 12 meses. En las muestras almacenadas a una mayor temperatura (37°C) se observó un aumento de la temperatura de gelatinización, lo que sugiere que la energía requerida para la desorganización de estas dos regiones (amorfos y cristalinos) del almidón del arroz almacenado a 37°C fue mayor que la del arroz almacenado a 4°C. También encontraron un incremento significativo de la temperatura pico (máxima) ($p < 0,05$) y del ancho de la endoterma ($p < 0,01$), la cual se obtuvo con el DSC, para las muestras almacenadas a 37°C, en comparación con las mantenidas a 4°C. Los almidones aislados de dichas muestras presentaron propiedades térmicas similares, esto denota que el efecto del almacenamiento sobre estas propiedades está asociado con las interacciones entre el almidón y los componentes no amiláceos. Al hidrolizar las muestras con celulasas y proteasas, disminuyó la temperatura de gelatinización ($p < 0,01$) y el ancho de la endoterma; esto permite inferir que en los componentes remanentes de la pared celular y las proteínas son responsables de los cambios en las propiedades térmicas del arroz durante el almacenamiento.

3. ANTECEDENTES NACIONALES

Ruiz (2001) seleccionó cuatro variedades comerciales de arroz (PN-1, Fonaiap-2000, D-Primera y Z-15), para establecer el efecto del genotipo y del tiempo de almacenamiento sobre su calidad culinaria. Las muestras utilizadas fueron secadas de forma natural a una humedad de 12% y se evaluaron a los 25, 45 y 65 días de almacenamiento. Los resultados arrojaron que el tiempo de almacenamiento mejoró la adhesividad (disminución); sin embargo, PN-1 y Z-15 alcanzaron valores adecuados a los 45 y 25 días de almacenamiento, respectivamente. En vista de lo anterior, el autor

señaló que el uso de estas variedades puede contribuir a reducir los costos de almacenamiento de la industria arrocera.

Ibarra (2002) evaluó el efecto del genotipo y del tiempo de almacenamiento sobre la calidad culinaria de cuatro líneas experimentales de arroz (EPAGRI 108, PN99A007, CNARRA953 y PN99A003). Estas muestras fueron almacenadas a 25, 45 y 65 días. Los resultados demostraron que dicha calidad resultó afectada por el tiempo de almacenamiento. El contenido de amilosa disminuyó a partir de los 45 días de almacenamiento; sin embargo, se mantuvo constante en el intervalo de aceptación por parte del consumidor (22-27% de amilosa). Los resultados obtenidos permitieron concluir que estas líneas están listas para ser procesadas industrialmente a los 25 días, a excepción de EPAGRI 108, la cual alcanza su calidad adecuada a los 45 días.

Daza (2007) se planteó, evaluar el efecto del almacenamiento sobre las características físicas, químicas y funcionales del arroz blanco, utilizando para ello dos variedades de arroz paddy (Cimarrón y D-Sativa) del ciclo de verano de los años 2006-2007 y cultivadas en Calabozo, Estado Guárico. Las muestras fueron almacenadas a 25 y 45°C por un período de 3 meses. El tiempo y la temperatura de almacenamiento afectaron dichas características. El almacenamiento a 45°C produjo una disminución en el índice de blancura y en la transparencia y un incremento en el porcentaje de granos enteros y de los parámetros a^* y b^* (medidos por un colorímetro Hunter Lab Color Flex, modelo CX1819). La variedad Cimarrón fue la que obtuvo menor aceptabilidad, debido a su apariencia. Se concluyó que el almacenamiento a 45°C ocasionó el mayor efecto sobre algunas de las propiedades consideradas.

La revisión anterior ha permitido evidenciar que el almacenamiento puede afectar la calidad del arroz y, por ende, su comercialización, uso a nivel industrial y la aceptabilidad del consumidor. Asimismo, se dispone de información limitada de estos

cambios en cultivares venezolanos, por lo que se hace necesario evaluar el efecto de las condiciones de almacenamiento sobre dicha calidad y, por ello, se desarrolló esta investigación, que se orientó hacia los cultivares D-Oryza y SD20A.

III. OBJETIVO GENERAL

- Evaluar el efecto de diferentes condiciones de almacenamiento sobre la calidad de dos cultivares de arroz (*Oryza sativa* L.) cultivadas en la localidad de San Javier, Estado Yaracuy.

IV. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el efecto de diferentes condiciones de temperatura y tiempo de almacenamiento sobre la calidad molinera de dos cultivares de arroz.
- Evaluar el efecto de diferentes condiciones de temperatura y tiempo de almacenamiento sobre la composición química de dos cultivares de arroz.
- Evaluar el efecto de diferentes condiciones de temperatura y tiempo de almacenamiento sobre las características físicas de dos cultivares de arroz.
- Evaluar el efecto de diferentes condiciones de temperatura y tiempo de almacenamiento sobre las características reológicas de dos cultivares de arroz.
- Evaluar el efecto de diferentes condiciones de temperatura y tiempo de almacenamiento sobre la calidad culinaria de dos cultivares de arroz.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

1. MATERIALES

En este estudio se utilizaron dos cultivares de arroz (D-Oryza y SD20A), los cuales fueron cultivados en los campos experimentales de la Fundación Danac en San Javier, Estado Yaracuy.

1.1 Arroz en campo

El tamaño de la parcela de siembra para ambos cultivares (D-Oryza y SD20A) fue de 20m x 6m (120 m²). La siembra se realizó el 12 de septiembre del 2010, con semillas pregerminadas (24 horas en remojo más 48 horas de escurrido o incubación a la sombra) y la densidad de siembra fue de 120 kg de semilla por hectárea. El riego fue intermitente por mojes y se estableció la lámina de agua entre 25 a 30 días después de la siembra. Para la fertilización, se aplicaron 170 kg/ha de nitrógeno, 60 kg/ha de fósforo y 90 kg/ha de potasio, de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 4. Aplicación del abono para la siembra del arroz.

| Fertilización | Días después de la siembra | Fuente | kg/ha |
|-------------------------|----------------------------|---------------------------|------------|
| Básica | 10 | 12-24-12 + Urea | 250 + 43,4 |
| 1 ^{er} reabono | 35 | Urea + cloruro de potasio | 130,4 + 50 |
| 2 ^{do} reabono | 55 | Urea + cloruro de potasio | 130,4 + 50 |

Para el control de malezas, se agregó Basagran M60 (3 l/ha) y Nominee (0,1 l/ha) con asperjadora de espalda a los 10 días después de la siembra (dds). Finalmente, la cosecha del arroz paddy se realizó el 4 de noviembre de 2010 a los 115 dds, a una humedad de grano de 21%, tanto para D-Oryza, como para SD20A.

El secado de las muestras consistió en colocar los granos en un patio de secado a exposición solar hasta alcanzar un valor de humedad inferior a 12,5%. Todo este

proceso del manejo del arroz en campo fue realizado por el personal técnico y bajo la supervisión de los ingenieros autorizados de la Fundación Danac (Ing. M.Sc. Manuel Ávila, Fundación Danac, comunicación personal).

1.2 Cultivares de arroz

Para este trabajo, se utilizaron dos muestras cultivadas en los campos experimentales de la Fundación Danac (San Javier, Edo. Yaracuy). La primera es D-Oryza, obtenida por el Programa Arroz de la Fundación Danac en el ciclo norte-verano 1998-1999. Fue postulada a los Ensayos Regionales Uniformes (ERU) a partir del ciclo norte-verano 2001-2002, obteniéndose la elegibilidad en el año 2003. Las características morfológicas de la planta son: follaje color verde oscuro, pubescente y áspero al tacto; capacidad de macollamiento, mayor a 30 macollos/planta (trasplante); hábito de crecimiento, intermedio; posición de la hoja bandera, intermedia; altura, 90 – 95 cm; longitud promedio de la panícula, 28,7 cm (trasplante); número promedio de granos/panícula, 130 (trasplante) y su ciclo es de 115 a 125 días. Esta planta es resistente a *Pyricularia grisea* en hoja y cuello, medianamente tolerante a *Rhizoctonia* sp., tolerante a *Helminthosporium* sp. y *Sarocladium* sp., tiene resistencia intermedia a la Sogata (*Tagosodes orizicolus*) y tolerante al Virus de la Hoja Blanca (Gamboa y col., 2005). Las características del grano son las siguientes:

Tabla 2. Características del grano del cultivar D-Oryza.

| | |
|-------------------------------------|---------------------|
| Longitud promedio de la semilla | 10,2 mm |
| Ancho promedio de la semilla | 2,4 mm |
| Espesor promedio de la semilla | 2,1 mm |
| Peso promedio de mil semillas | 29,1 g |
| Longitud promedio del grano pulido | 7,1 mm |
| Ancho promedio del grano pulido | 2,1 mm |
| Espesor promedio del grano pulido | 1,8 mm |
| Peso promedio de mil granos pulidos | 21,5 g |
| Potencial de rendimiento | 6.500 – 8.000 kg/ha |

(Gamboa y col., 2005).

La segunda muestra es el cultivar SD20A; este cultivo fue derivado mediante el método genealógico a partir de una planta seleccionada en la población PTC-16 (proveniente del Centro Internacional de Agricultura Tropical). Paralelamente al ingreso en Ensayos Regionales Uniformes (ERU) durante el ciclo 2003-2004, se realizaron siete ciclos de selección de plantas individuales para el desarrollo del cultivar. Las características morfológicas de la planta son: follaje pubescente, verde oscuro hasta maduración y senescencia rápida; capacidad de macollamiento, 16 macollos/planta en trasplante y 3-5 macollos/planta en siembra directa; hábito de crecimiento, erecto; posición de la hoja bandera, erecta a semi-erecta; altura, 90 a 105 cm; longitud promedio de la panícula, 25 cm (trasplante); número promedio de granos/panícula, 138 (trasplante) y su ciclo es de 110 a 115 días. Esta planta es resistente a *Pyricularia grisea*, es medianamente resistente a *Rhizoctonia solani*, es medianamente resistente al Virus de la Hoja Blanca y es medianamente resistente a la Sogata (*Tagosodes orizicolus*) (Jayaro y col., 2008). Las características del grano son las siguientes:

Tabla 3. Características del grano del cultivar SD20A.

| | |
|-------------------------------------|---------------------|
| Longitud promedio de la semilla | 10 mm |
| Ancho promedio de la semilla | 2,4 mm |
| Espesor promedio de la semilla | 2 mm |
| Peso promedio de mil semillas | 29 g |
| Longitud promedio del grano pulido | 7,36 mm |
| Ancho promedio del grano pulido | 2,06 mm |
| Espesor promedio del grano pulido | 1,9 mm |
| Peso promedio de mil granos pulidos | 21 g |
| Fertilidad de espiguillas | 85 a 95 % |
| Potencial de rendimiento | 6.000 a 9.000 Kg/ha |

(Jayaro y col., 2008).

2. MÉTODOS

Las muestras de arroz paddy fueron almacenadas en bolsas de papel a diferentes temperaturas y tiempos, como lo muestra el siguiente esquema:

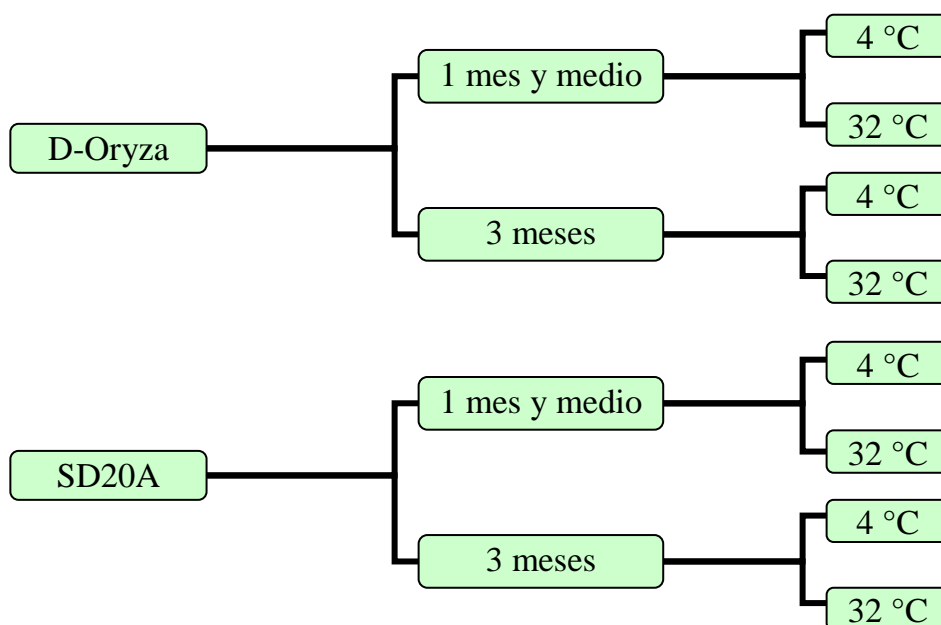


Figura 4. Esquema de almacenamiento de las muestras de arroz.

Las muestras almacenadas a 4 °C y 32°C se ubicaron en un refrigerador y en una estufa, respectivamente. Para cada condición, se estuvo monitoreando periódicamente la

temperatura para garantizar que se mantuviera constante durante el tiempo del ensayo. En la nevera se obtuvo una humedad relativa promedio de 43%, mientras que en la estufa, fue de 32%. Al cumplirse los tiempos de almacenamiento correspondientes, se retiraron las muestras de la estufa y la nevera y se mantuvieron a temperatura ambiente (25 °C) por 24 horas antes de ser procesadas.

2.1 Procesamiento del arroz paddy

Una vez transcurrido el atemperado de las muestras de arroz paddy a temperatura ambiente (24 horas), se procedió a realizar el siguiente esquema de procesamiento en el Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICTA), Facultad de Ciencias, UCV:

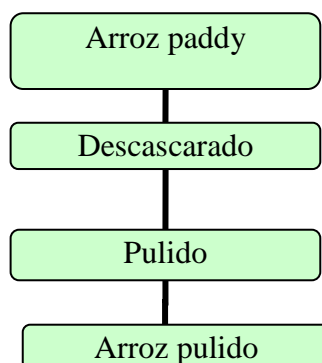


Figura 5. Esquema de procesamiento para la obtención de arroz pulido.

2.1.1 Descascarado

El descascarado de las muestras de arroz paddy de D-Oryza y SD20A se realizó con el descascarador modelo MTH-35A (RIMAC, USA) (Fig. 5); inicialmente, se procedió a estandarizar este proceso con otras muestras de arroz paddy, ajustando tanto la velocidad de alimentación, con las perillas del equipo, como la separación de los rodillos, hasta lograr que el 90% del arroz fuese descascarado y permaneciera la mayor parte del mismo como grano entero (arroz cargo, integral o moreno) (COVENIN, 1990). Una vez que se establecieron las condiciones operativas, se descascararon cada una de

las muestras de arroz paddy previamente pesadas (170 g). Finalizado el descascarado, se pesó el arroz cargo obtenido para calcular el rendimiento de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento del descascarado} = (M_1/M) \times 100$$

Donde: M_1 = masa de arroz cargo en g y M = masa de arroz paddy en g.



Figura 6. Descascarador modelo MTH-35A (RIMAC, USA).

2.1.2 Pulido

El pulido del arroz cargo se realizó con un pulidor de arroz modelo 60-115-60-2AT (GRAINMAN, USA) (Fig. 7). Para poder lograr un pulido comercial con este equipo, primero se evaluó el grado de pulitura mediante el color de un arroz pulido comercial con el colorímetro Hunter Lab Color Flex, modelo CX1819, con una placa blanca estándar ($L = 93,54$, $a = -0,81$ y $b = 1,58$) y se midió el parámetro L^* para usarlo como referencia, el cual representa la luminosidad y tiene una escala de valores que varía desde “0” para el color negro hasta “100” para el color blanco. Una vez obtenidos los valores de L^* para el arroz pulido comercial, se realizó una serie de pruebas variando el tiempo de pulido con la pesa (2 Kg) y la cantidad de arroz cargo agregado hasta obtener un pulido comercial (es decir, hasta obtener valores de L^* similares al del arroz pulido comercial). Finalmente, se estableció que las condiciones finales de este

pulido se lograron en dos pases: el primero de 5 minutos con la pesa colocada en su posición respectiva y el segundo de 1 minuto sin la pesa, utilizando un peso de muestra de 70 g.



Figura 7. Pulidor de arroz modelo 60-115-60-2AT (GRAINMAN, USA).

Luego de haber realizado el pulido, se procedió a pesar el arroz obtenido para realizar los cálculos correspondientes (porcentaje de granos enteros y blanco total, ver secciones 2.2.1 y 2.2.2, respectivamente).

Los análisis que se mencionan a continuación fueron realizados en dos laboratorios; el porcentaje de granos enteros y de los granos yesosos + panza blanca, las dimensiones del grano, la blancura total y la blancura cristalina, el contenido de amilosa aparente y el perfil amilográfico se realizaron en el Laboratorio de Calidad de Granos y Semillas de Fundación Danac (San Javier, Edo. Yaracuy) por duplicado y mientras que el porcentaje de granos enteros y de blanco total, el contenido de humedad y proteína cruda, la prueba de rancidez, el pH y la acidez, el color, el tiempo de cocción, la relación de expansión volumétrica, la relación absorción de agua y el perfil de textura se llevaron a cabo en el ICTA, Facultad de Ciencias, UCV por triplicado cada evaluación.

2.2 Caracterización del arroz paddy

La caracterización del arroz paddy se realizó de acuerdo a la Norma COVENIN N° 44-90 (COVENIN, 1990) y además se utilizó el analizador de arroz S21 (Suzuki).

2.2.1 Granos enteros

El porcentaje de granos enteros se determinó de dos maneras:

En la primera (realizada en el ICTA), se pesó la totalidad del arroz pulido obtenido, luego se colocó en una bandeja y se separaron, grano a grano, los granos enteros (grano con longitud igual o mayor a las $\frac{3}{4}$ de la longitud del grano normal) que finalmente se pesaron. Los resultados se expresaron de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de granos enteros} = (M_1/M) \times 100$$

Donde: M_1 = masa de los granos enteros en g y M = masa de arroz paddy en g (COVENIN, 1990).

La segunda fue realizada con el analizador de arroz Suzuki S21 (Fig. 8) en el Laboratorio de Calidad de Granos y Semillas de Fundación Danac (San Javier, Edo. Yaracuy), calibrando el equipo de modo tal que todo grano con una longitud igual o mayor a 4,5 mm es considerado un grano entero; es de resaltar que se utilizaron 50 g de muestra para todos los análisis realizados con este analizador. Los resultados se expresaron como porcentaje de granos enteros.



Figura 8. Analizador de arroz Suzuki S21 (Castillo y Gaviria, 2000).

2.2.2 Blanco total

Para obtener el blanco total, se pesó la muestra limpia de arroz paddy, luego se descascaró y pulió y se pesó la totalidad de la muestra pulida. El porcentaje del blanco total se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje del blanco total} = (M_1/M) \times 100$$

Donde: M_1 = masa del blanco total en g y M = masa de arroz paddy en g.

2.2.3 Granos yesosos + panza blanca

El porcentaje de granos yesosos + panza blanca (Y+PB) se obtuvo utilizando el analizador de arroz Suzuki S21 (Fig. 8), usando un filtro Y + PB que separa todos los granos con un área yesosa igual o mayor a 16,5 % del área total del grano; esto quiere decir que todo grano que presente un área yesosa mayor al 16,5 % de su área total se considera como un grano Y + PB. El resultado se expresó como porcentaje de granos yesosos + panza blanca.

2.2.4 Dimensiones del grano (longitud y ancho)

Las dimensiones (longitud y ancho) de los granos de las muestras de arroz se obtuvieron utilizando el analizador de arroz Suzuki S21 (Fig. 8). Estos resultados se reportaron en mm.

2.2.5 Blancura total y blancura cristalina

La blancura total y la blancura cristalina se determinaron con el analizador de arroz Suzuki S21 (Fig. 8), es de resaltar que la blancura total incluye, tanto los granos yesosos y los no yesosos, mientras que la blancura cristalina solo toma en cuenta los granos vítreos (no yesosos), de acuerdo a las condiciones operativas descritas en el punto 2.2.3.

Los resultados obtenidos de rendimiento del descascarado, porcentaje de granos enteros y de blanco total (ICTA) no fueron reportados, ya que sólo fueron calculados

para garantizar que las condiciones de procesamiento de las diferentes muestras almacenadas se mantuviera constante.

2.3 Análisis químicos, físicos y reológicos

Los siguientes análisis se realizaron por triplicado para cada una de las muestras pulidas, a excepción del contenido de amilosa aparente y el perfil amilográfico, que se realizaron por duplicado.

2.3.1 Análisis químicos

2.3.1.1 Preparación de las muestras

Se tomaron submuestras de aproximadamente 50 g de granos enteros de cada muestra y se sometieron a un proceso de molienda en un molino de martillo (Royal Triumph, España) (Fig. 9A); posteriormente, los productos obtenidos se pasaron por la siguiente serie de tamices ASTM: malla N° 50, malla N° 60, malla N° 80, malla N° 100 y malla N° 120 (Fig. 9B). La harina retenida entre los tamices de malla N° 120 y 100 fue empleada para la determinación del contenido de amilosa aparente y la harina retenida entre los tamices de malla N° 60 y 80 fue utilizada para las determinaciones del perfil amilográfico, contenido de humedad y proteína cruda, pH y acidez.



A



B

Figura 9. A. Molino de martillo (Royal Triumph, España). **B.** Agitador de tamices con la serie de tamices utilizada.

2.3.1.2 Humedad

El contenido de humedad se determinó por el método oficial de la “American Association of Cereal Chemists” N° 44-15.02 (AACC, 2004).

2.3.1.3 Amilosa aparente

Se determinó, según el método descrito por Juliano (1971), en el Laboratorio de Calidad de Granos y Semillas de Fundación Danac, con algunas modificaciones según el criterio de evaluación del CIAT de Colombia (resaltando estas modificaciones con letras en negrita). Se colocaron 100 mg de harina de arroz (malla N° 100) en un balón aforado de 100 ml, luego se le añadió 1 ml de solución de etanol al 95% (v/v) y 9 ml de solución de hidróxido de sodio 1N, posteriormente, se colocó el balón en un baño térmico a 100 °C por **9 minutos** y se dejó enfriar por **30 minutos**. Luego se llevó a volumen con agua destilada.

Seguidamente, se transfirió 1 ml de la solución a un balón aforado de 100 ml, se le añadió 1 ml de solución de ácido acético 1N y 2 ml de solución de yodo (0,2 g de yodo y 2 g de yoduro de potasio y se completó el volumen con agua destilada); posteriormente, se tapó, se agitó y se dejó en reposo por **1 hora**. Luego se determinó la absorbancia en un espectrofotómetro (HACH, USA) a 620 nm contra un blanco. La lectura que se obtuvo se llevó a una curva estándar, la cual se preparó así: pesar 40 mg de amilosa de papa en una fiola de 50 ml, agregar 1 ml de solución de etanol al 95% (v/v) y 9 ml de solución de hidróxido de sodio 1N; posteriormente, colocar en un baño térmico a 100°C por **9 minutos** y dejar enfriar por **30 minutos**, transferir cuantitativamente a un balón aforado de 100 ml. Colocar alícuotas de 1, 2, 3, 4 y 5 ml de esta solución en igual número de balones aforados de 100 ml y acidificar con la solución de ácido acético 1N (0,2; 0,4; 0,6; 0,8 y 1,0 ml, respectivamente) y continuar

con el procedimiento descrito anteriormente a partir de la adición de la solución del ácido acético.

El resultado se reportó como porcentaje de amilosa con base al peso de muestra, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de amilosa} = (\text{Abs} / y) \times 20 \times \text{FC}$$

Donde: Abs: Absorbancia obtenida de la muestra.

y: Pendiente obtenida de la curva patrón.

FC: Factor de corrección de afinidad del yodo.

2.3.1.4 Proteína cruda

El contenido de proteína cruda se determinó por el método oficial de la “American Association of Cereal Chemists” N° 46-13.01 (AACC, 2004) y se empleó el factor 5,95 para realizar los cálculos correspondientes (Juliano, 1985).

2.3.1.5 Prueba de rancidez

Esta prueba se realizó con una mezcla de indicadores (rojo de metilo y azul de bromotimol) y con el arroz pulido, de acuerdo a la siguiente metodología: se pesaron 0,1 g de rojo de metilo (rojo a pH 4,4 y amarillo a pH 6,2) y 0,3 g de azul de bromotimol (amarillo a pH 6,2 y azul a pH 7,6), los cuales se disolvieron en 150 ml de etanol y se llevaron hasta un volumen de 200 ml con agua destilada. Esta solución se diluyó 50 veces con agua destilada. Se colocaron 2 g de arroz blanco en un tubo de ensayo y se añadieron 10 ml de la solución. El color de la mezcla indicadora puede cambiar, dependiendo del pH del arroz, desde verde azulado (pH > 6,2) (muestra sin rancidez) hasta un color naranja a rojizo (pH < 4,4) (muestra con rancidez) (Ohtsubo, 1995).

2.3.1.6 pH y acidez

El pH y la acidez se determinaron por los métodos oficiales de la “American Association of Cereal Chemists” N°s 02-52.01 y 02-31.01, respectivamente (AACC, 2004).

2.3.2 Análisis físicos

2.3.2.1 Color

La evaluación del color de las muestras de arroz pulido se realizó con un colorímetro modelo CX1819 (Hunter Lab Color Flex, USA) (Fig. 10), calibrando el equipo con una placa blanca estándar ($L = 93,54$, $a = -0,81$ y $b = 1,58$) y se midieron los parámetros L^* , a^* y b^* , donde L^* representa la luminosidad, con una escala de valores que varía desde “0” para el color negro hasta “100” para el color blanco, a^* corresponde al matiz (tonalidad del color) y cambia de rojo a verde (valores positivos = rojo y valores negativos = verde) y b^* (intensidad del color) varía de amarillo a azul (valores positivos = amarillo y valores negativos = azul) (Good, 2002).

Asimismo, se determinaron los valores de diferencia total del color (ΔE) y del índice de blancura (WI) (Leelayuthsoontorn y Thipayarat, 2006) a través de las siguientes ecuaciones, considerando como estándares los valores de L^* , a^* y b^* de las muestras del tiempo “0”:

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$$

Donde: $\Delta L = L^*$ de la muestra - L^* de la muestra tiempo “0”.

$\Delta a = a^*$ de la muestra - a^* de la muestra tiempo “0”.

$\Delta b = b^*$ de la muestra - b^* de la muestra tiempo “0”.

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L)^2 + a^2 + b^2}$$

Donde: $L = L^*$; $a = a^*$ y $b = b^*$ de cada una de las muestras.



Figura 10. Colorímetro modelo CX1819 (Hunter Lab Color Flex, USA).

2.3.3 Análisis reológicos

2.3.3.1 Perfil amilográfico

El perfil amilográfico se realizó de acuerdo a la metodología descrita en el método oficial de la “American Association of Cereal Chemists” N° 61-02.01 (AACC 2004). Se determinaron los valores de viscosidad pico (P) (RVU), temperatura de empaste (°C), viscosidad final (C) (RVU), viscosidad media (H) (RVU), “setback” o asentamiento (C-P) (RVU), “breakdown” o estabilidad (P- H) (RVU) y consistencia (C-H) (RVU).

2.4 Evaluación de la calidad culinaria

En vista de la poca disponibilidad de las muestras para la evaluación de la calidad culinaria, se utilizaron las siguientes metodologías sugeridas por Batcher y col. (1956) y Juliano y col. (1969).

2.4.1 Pruebas de cocción

2.4.1.1 Tiempo de cocción

Esta prueba se realizó según la metodología descrita por Juliano y col. (1969). Se colocaron 125 ml de agua en un beaker y se llevó a ebullición en una plancha de calentamiento; posteriormente, se añadieron 5 g de la muestra de arroz blanco, se cubrió con un vidrio de reloj y se anotó este tiempo. Luego de transcurrir 10 min, se

retiraron 10 granos y se presionaron entre dos portaobjetos; este proceso se repitió cada minuto. Cuando el 90% de los granos no presentaron opacidad en el centro, se consideró como el final del ensayo. Se tomó como tiempo de cocción el tiempo transcurrido desde que se agregó el arroz al agua hasta que se obtuvo el 90% de los granos sin opacidad en el centro.

2.4.1.2 Relación de expansión volumétrica

Esta determinación se realizó según Batcher y col. (1956), con algunas modificaciones (estas modificaciones se presentan en negrita). Se colocaron **125 ml** de agua en un beaker y se llevó a ebullición en una plancha de calentamiento; se pesaron 8 g de arroz blanco (masa 1) y se midió el volumen ocupado por este peso en un cilindro graduado de 100 ml (volumen 1). Una vez que el agua alcanzó la ebullición, se agregó el arroz y se cubrió con un vidrio de reloj; luego se dejó cocinar durante **el tiempo de cocción determinado** para cada muestra en particular (sección 2.4.1). Finalmente, se pesó el arroz ya cocinado (masa 2) y se midió el volumen ocupado en el mismo cilindro de 100 ml (volumen 2). La relación de expansión volumétrica se calculó con la siguiente expresión:

$$\text{Relación de expansión volumétrica (Rev)} = \text{volumen 2} / \text{volumen 1}$$

2.4.1.3 Relación de absorción de agua

La relación de absorción de agua se obtuvo empleando la siguiente relación:

$$\text{Relación de absorción de agua (Rw)} = \text{masa 2} / \text{masa 1 (sección 2.4.2)}$$

2.4.2 Análisis físicos

2.4.2.1 Perfil de textura

La textura del arroz cocido se evaluó en un analizador de textura modelo TA-XT2 (Texture Technologies Corp., USA) (Fig. 11). El equipo se ajustó para los siguientes parámetros y condiciones operativas: 1) velocidad de pre-ensayo (velocidad

de descenso de la celda antes de la compresión) a 0,5 mm/s, 2) velocidad de la prueba a 0,5 mm/s (la velocidad con la que se realizó la compresión), 3) velocidad post-ensayo (la velocidad una vez que se ha realizado la compresión) a 10,0 mm/s, 4) altura del plato a la celda a 15 mm, 5) compresión de la muestra a 90% y 6) peso de celda, 5 kg. Luego se realizó la prueba seleccionando 10 granos atemperados (1 min luego de la cocción). En el perfil de textura, curva Tiempo (s) vs. Fuerza (g), se determinaron los parámetros: 1) dureza (pico mayor en la primera curva), 2) cohesividad (relación del área debajo de la segunda compresión al área de la primera compresión), 3) elasticidad (relación de la distancia recorrida por la celda en la dos curvas) y 4) adhesividad (área negativa de la primera curva, representada por el trabajo de separar la celda de la muestra) (Fig. 12).



Figura 11. Analizador de textura modelo TA-XT2 (Texture Technologies Corp., USA).

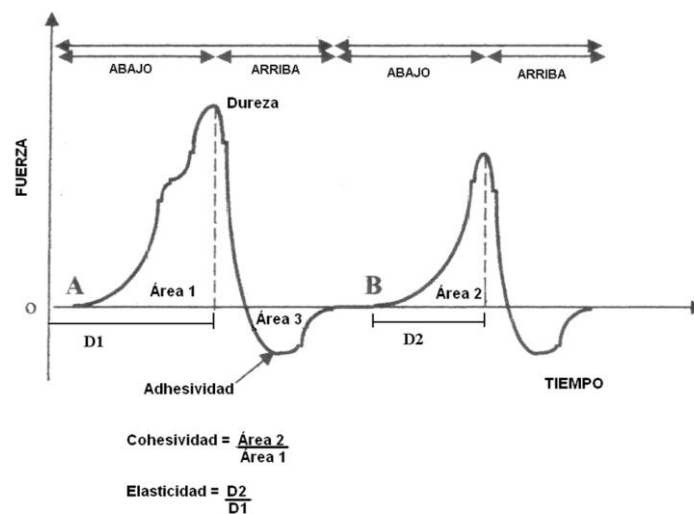


Figura 12. Curva típica de un análisis de perfil de textura (Bourne, 2002).

2.4.2.2 Color

El color de las muestras de arroz cocido se determinó de acuerdo a la sección 2.3.2.1.

2.4.3 Análisis químicos

2.4.3.1 Humedad

El contenido de humedad se determinó con la metodología propuesta por Chen y Siebenmorgen (1997), excepto por el peso de la muestra: en vez de utilizar 15 g, se utilizaron 3 g de arroz cocido, los cuales se colocaron en una cápsula tarada y a peso constante y se ubicaron en una estufa a 130 °C por 24h. Luego se retiró de la estufa, se dejó enfriar en un desecador y se pesó. El porcentaje de humedad se calculó de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de humedad} = [\text{Pac (g)} - \text{Pas (g)}] / \text{Pac (g)} \times 100$$

Donde: Pac = peso arroz cocido y Pas = peso de arroz seco.

2.5 Análisis de los resultados

El análisis estadístico de los resultados de los distintos parámetros evaluados, tanto del arroz sin cocinar como del arroz cocinado, se llevó a cabo mediante un análisis de varianza de uno o dos factores o sus equivalentes no paramétricos, mediante los paquetes estadísticos STATGRAPHICS (Statistical Graphics System Educational, versión 6.0), Portable Statistica 8 (<http://www.filecrop.com/statistica-8-portable.html>) y el SAS JMP (versión 7.0.2), con el propósito de determinar si hubo un efecto estadísticamente significativo, a un nivel del 5% y 1%, del tiempo y la temperatura de almacenamiento y su interacción sobre las características físicas, químicas y funcionales de las muestras de arroz analizadas. Además, se aplicó una prueba *a posteriori* (análisis de rangos múltiples de Duncan en el caso de las pruebas paramétricas y comparación múltiple de p para las no paramétricas) en aquellos parámetros donde se determinó un

efecto significativo de las variables o factores considerados (tiempo de almacenamiento y temperatura de almacenamiento).

Igualmente, se utilizó el paquete estadístico Portable Statistica 8 para realizar pruebas de correlación, a un 1% de significancia, entre los diferentes parámetros considerados (Meilgaard y col., 1999).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1 Caracterización del arroz paddy

La caracterización del arroz paddy se realiza para evaluar su calidad molinera y así poder establecer su valor comercial y uso industrial. Los análisis que conforman la calidad molinera son el porcentaje de granos enteros y el porcentaje de granos yesosos+panza blanca. Para que un arroz presente una buena calidad molinera, debe tener un alto porcentaje de granos enteros, así como un bajo contenido de granos yesosos + panza blanca, ya que se ha demostrado que este tipo de granos tiende a partirse en su procesamiento (descascarado-pulido), lo que conlleva a la obtención de una menor proporción de granos enteros y, por ende, a un arroz de bajo valor comercial (COVENIN, 1990). Asimismo, se ha encontrado que estos granos yesosos+panza blanca presentan una mayor temperatura y entalpía de gelatinización (ΔH), lo que podría afectar sus características de cocción (Singh y col., 2003; Cheng y col., 2005).

Además de lo indicado anteriormente, es importante determinar las dimensiones de los granos de arroz, ya que en Venezuela se prefiere consumir un grano largo. Las dimensiones obtenidas fueron, en promedio, 6,75 mm de longitud y 2,27 mm de ancho para el cultivar D-Oryza (relación longitud/ancho: 2,97) y 6,8 mm de longitud y 2,25 mm de ancho para el cultivar SD20A (relación longitud/ancho: 3,02). Ambos cultivares se clasifican como granos largos, ya que su relación longitud-ancho es mayor o igual a 3, como lo indica la Norma COVENIN 1641 (COVENIN, 1999). Comparando los resultados obtenidos para el cultivar D-Oryza con los valores reportados en la Tabla 2 (Gamboa y col., 2005), se aprecia que la longitud del grano fue menor (6,75 mm vs 10,2 mm), mientras que para el ancho, los valores fueron similares (2,27 mm vs 2,4 mm); para el cultivar SD20A, al igual que el caso anterior, la longitud fue menor que el valor reportado para el cultivar (6,8 mm vs 10 mm), tal y como se muestra en la Tabla 3

(Jayaro y col., 2008), aunque para el ancho, los valores fueron similares (2,25 mm vs 2,4 mm).

En la Tabla 5 se muestran los valores de cada uno de los parámetros de la calidad molinera de las muestras del cultivar D-Oryza.

Tabla 5. Calidad molinera de las muestras de arroz del cultivar D-Oryza.

| Cultivar de arroz | Tiempo (meses) | T (°C) | Granos enteros (%) | Granos yesosos+panza blanca (%) | Blancura total (Unidades S21) | Blancura cristalina (Unidades S21) |
|-------------------|----------------|-----------|--------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| D-Oryza | 0 | 25 | 57,19 ± 0,00 | 14,30 ± 0,00 | 122,80 ± 0,00 | 109,37 ± 0,00 |
| | | 4 | 62,65 ± 3,32 | 19,57 ± 5,50 | 122,54 ± 2,69 | 112,87 ± 2,55 |
| | 1,5 | 32 | 62,85 ± 0,94 | 11,02 ± 2,84 | 119,51 ± 1,36 | 111,11 ± 0,16 |
| | | 4 | 57,05 ± 2,98 | 3,28 ± 0,65 | 91,70 ± 4,31 | 89,00 ± 4,05 |
| | 3 | 32 | 53,20 ± 1,07 | 3,81 ± 0,60 | 91,24 ± 10,73 | 88,25 ± 10,29 |

- Tiempo: tiempo de almacenamiento, T: temperatura de almacenamiento.
- Cada valor representa la media ± la desviación estándar; la media es el promedio de dos determinaciones.

La Tabla 6 indica que solamente el tiempo de almacenamiento tuvo un efecto significativo sobre el porcentaje de granos enteros ($p < 0,05$) y el porcentaje de granos yesosos+panza blanca ($p < 0,01$) del cultivar D-Oryza.

Tabla 6. Significación de los cuadrados medios del porcentaje de granos enteros y de granos yesosos+panza blanca de las muestras de arroz del cultivar D-Oryza.

| Cultivar de arroz | Fuente de variación | Grados de libertad | Granos enteros (%) | Granos yesosos+panza blanca (%) |
|-------------------|-----------------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------------|
| D-Oryza | Temperatura | 1 | 7,16.10 ⁻²⁷ ns | 1,26.10 ⁻²⁹ ns |
| | Tiempo | 2 | 20,40 * | 138,00 ** |
| | Temperatura x tiempo | 2 | 5,22 ns | 25,88 ns |

- Valores reportados de p.
- * Significativo a nivel de $p < 0,05$.
- ** Significativo a nivel de $p < 0,01$.
- ns no significativo.

En la Tabla 7 se observa que el porcentaje de granos enteros del cultivar D-Oryza incrementó para el tiempo mes y medio ($p < 0,05$) y que el valor obtenido a los

tres meses de almacenamiento fue igual al valor del tiempo cero; el aumento de este porcentaje al mes y medio de almacenamiento pudo ser un efecto puntual, porque al inicio del estudio se guardaron submuestras de una muestra completa del cultivar D-Oryza en bolsas individuales y al separar estas submuestras, tal vez no se mantuvo la homogeneidad de las mismas. En resumen, el porcentaje de granos enteros no varió durante el almacenamiento, lo cual sería favorable para la calidad molinera de este cultivar.

En la agroindustria, se acepta el arroz paddy que, una vez procesado (descascarado-pulido), proporcione un mínimo de 50% de granos enteros (Martínez, 1998). En vista de lo anterior, todas las muestras de D-Oryza cumplen con este requisito (Tablas 5 y 7).

Tabla 7. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la calidad molinera de las muestras de arroz del cultivar D-Oryza.

| Cultivar de arroz | Tiempo (meses) | Granos enteros (%) * | Granos yesosos+panza blanca (%) ** | Blancura total (Unidades S21) * | Blancura cristalina (Unidades S21) ** |
|-------------------|----------------|----------------------|------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| | 0 | 57,19 b | 14,30 a | 122,80 a | 109,37 ab |
| D-Oryza | 1,5 | 62,75 a | 15,30 a | 121,02 ab | 111,99 a |
| | 3 | 55,12 b | 3,54 b | 91,47 b | 88,62 b |

- Tiempo: tiempo de almacenamiento.
- Cada valor representa el promedio de 4 determinaciones, es decir, que para cada tiempo se calculó el promedio de los dos valores (promedio de dos réplicas) de las dos temperaturas.
- Los valores con al menos una letra en común en una misma columna son estadísticamente iguales a un nivel de significancia de 5% (*) y 1% (**) ($p < 0,05$ y $p < 0,01$).

En cuanto al porcentaje de granos yesosos+panza blanca, se obtuvo una disminución ($p < 0,01$) a los tres meses de almacenamiento (Tabla 7); como ya se indicó, la presencia de estos granos no es conveniente, ya que tienden a partirse en su procesamiento, por ello, su reducción es positiva y le proporciona una mejora a la calidad molinera de este cultivar.

De acuerdo a la Norma COVENIN 44-90 (COVENIN, 1990), el arroz paddy se clasifica en tres tipos de acuerdo al porcentaje de granos yesosos+panza blanca (valores

máximos): tipo I, 11%, tipo II, 13% y tipo III, 17%. En vista de lo anterior, las muestras almacenadas al tiempo 1,5 estarían fuera de clasificación, las mantenidas durante tres meses serían tipo I y las del tiempo cero serían tipo III (Tabla 7). A nivel de la agroindustria, el máximo permitido para este parámetro es 11% (Martínez, 1998). De acuerdo a lo anterior, las muestras de D-Oryza almacenadas durante tres meses cumplirían con lo indicado por este autor (Tablas 5 y 7).

La blancura total se mantuvo constante hasta el mes y medio de almacenamiento y luego disminuyó ($p < 0,05$) a los tres meses (Tabla 7); esta disminución pudo haber ocurrido por una posible migración de compuestos entre el pericarpio y el endospermo del grano o a interacciones entre compuestos, ambas surgidas, posiblemente, durante el almacenamiento. Además, la reducción del valor del porcentaje de granos yesosos+panza blanca pudo afectar este índice (Tabla 5), ya que para el cálculo de la blancura total, se consideran, tanto los granos enteros, como los granos yesosos+panza blanca (sección 2.2.5 de materiales y métodos). Es importante resaltar que se determinó este parámetro en un arroz pulido comercial y se encontró un valor de 108,6, el cual fue similar a los resultados obtenidos para este cultivar (Tablas 5 y 7).

La blancura cristalina tendió a disminuir a los tres meses, si bien dicha tendencia no fue significativa. Al igual que con la blancura total, se evaluó este parámetro en un arroz comercial y se obtuvo un valor de 95,98, el mismo fue similar a los datos reportados en las Tablas 5 y 7.

En la Tabla 8 se pueden apreciar los resultados de la calidad molinera de las muestras del cultivar SD20A.

Tabla 8. Calidad molinera de las muestras de arroz del cultivar SD20A.

| Cultivar de arroz | Tiempo (meses) | T (°C) | Granos enteros (%) | Granos yesosos+ panza blanca (%) | Blancura total (Unidades S21) | Blancura cristalina (Unidades S21) |
|-------------------|----------------|--------|--------------------|----------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
| SD20A | 0 | 25 | 62,99 ± 0,00 | 21,80 ± 0,00 | 125,16 ± 0,00 | 111,99 ± 0,00 |
| | | 4 | 61,72 ± 1,90 | 18,15 ± 2,30 | 121,68 ± 1,86 | 111,99 ± 0,13 |
| | 1,5 | 32 | 63,79 ± 0,26 | 14,11 ± 9,12 | 120,54 ± 4,88 | 112,30 ± 2,10 |
| | | 4 | 52,90 ± 5,17 | 10,52 ± 2,22 | 97,59 ± 0,09 | 92,79 ± 0,08 |
| | 3 | 32 | 60,99 ± 0,24 | 9,25 ± 0,30 | 96,72 ± 2,15 | 93,05 ± 2,21 |

- Tiempo: tiempo de almacenamiento, T: temperatura de almacenamiento.
- Cada valor representa la media ± la desviación estándar; la media es el promedio de dos determinaciones.

En la Tabla 9 se observa que el único factor que tuvo un efecto significativo sobre el porcentaje de granos enteros ($p < 0,01$) y el porcentaje de granos yesosos+panza blanca ($p < 0,05$) fue el tiempo de almacenamiento.

Tabla 9. Significación de los cuadrados medios del porcentaje de granos enteros y granos yesosos+panza blanca de las muestras de arroz del cultivar SD20A.

| Cultivar de arroz | Fuente de variación | Grados de libertad | Granos enteros (%) | Granos yesosos+panza blanca (%) |
|-------------------|----------------------|--------------------|------------------------|---------------------------------|
| SD20A | Temperatura | 1 | 7,10.10 ⁻²⁸ | 7,50.10 ⁻²⁹ |
| | Tiempo | 2 | 71,08 ** | 65,79 * |
| | Temperatura x tiempo | 2 | 21,73 | 4,27 |

- Valores reportados de p.
- * Significativo a nivel de $p < 0,05$.
- ** Significativo a nivel de $p < 0,01$.

El porcentaje de granos enteros de este cultivar, como lo muestra la Tabla 10, disminuyó ($p < 0,01$) a los tres meses de almacenamiento; esto pudo deberse a las bajas humedades relativas mantenidas durante el estudio (43 % en la nevera y 32 % en la estufa), comparadas con las humedades relativas presentes en los silos (60%, aproximadamente, según Castillo, 2007) y a su carácter higroscópico, es decir, a la tendencia que tienen los granos de absorber o ceder humedad al ambiente que los rodea, para equilibrar su contenido de humedad con el mismo (Castillo, 2007). En vista de lo anterior, los granos pudieron perder humedad porque su entorno pudo estar más seco,

hasta el punto que se formaran fisuras, como puede apreciarse en la Figura 13. Estos cambios en su estructura física pudieron producir, la ruptura de los granos durante su procesamiento y, por ende, una disminución del porcentaje de granos enteros.

La disminución del porcentaje de granos enteros durante el almacenamiento del cultivar SD20A podría afectar su calidad molinera y, probablemente, su valor comercial. Al igual que lo indicado para D-Oryza, todas las muestras del cultivar SD20A cumplen con lo señalado por Martínez (1998), en vista que su porcentaje de granos enteros supera el 50% (Tablas 8 y 10).

Tabla 10. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la calidad molinera de las muestras de arroz del cultivar SD20A.

| Cultivar de arroz | Tiempo (meses) | Granos enteros (%) ** | Granos yesosos+panza blanca (%) * | Blancura total (Unidades S21) * | Blancura cristalina (Unidades S21) ** |
|-------------------|----------------|-----------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------|
| SD20A | 0 | 62,99 a | 21,80 a | 125,16 a | 111,99 a |
| | 1,5 | 62,75 a | 16,13 a | 121,11 a | 112,14 a |
| | 3 | 56,54 b | 9,89 b | 97,15 b | 92,92 b |

- Tiempo: tiempo de almacenamiento.
- Cada valor representa el promedio de 4 determinaciones, es decir, que para cada tiempo se calculó el promedio de los dos valores (promedio de dos réplicas) de las dos temperaturas.
- Los valores con al menos una letra en común en una misma columna son estadísticamente iguales a un nivel de significancia de 5% (*) y 1% (**) ($p < 0,05$ y $p < 0,01$).

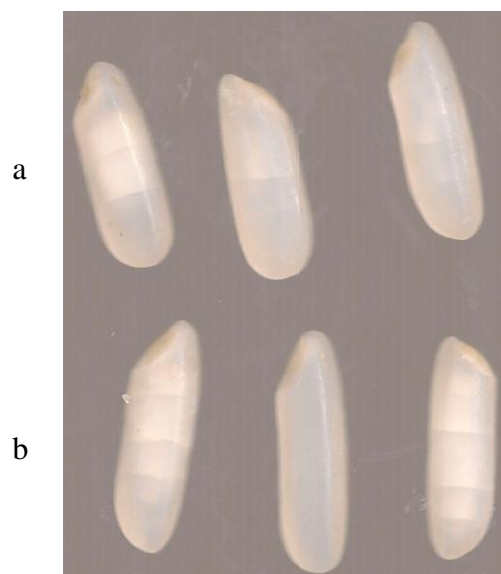


Figura 13. Granos de arroz del cultivar SD20A a tres meses de almacenamiento. a) 32 °C, b) 4 °C.

Con respecto al porcentaje de granos yesosos+panza blanca (Tabla 10), se puede apreciar que el mismo disminuyó ($p < 0,05$) a los tres meses de almacenamiento, lo cual resultaría favorable para la calidad molinera de SD20A.

Las muestras de SD20A se clasifican, de acuerdo a este porcentaje, de la siguiente manera: muestra tiempo cero, fuera de clasificación (valor superior a 17%), muestras tiempo 1,5, tipo III (valores entre 13 y 17%) y muestras tiempo 3, tipo I (valores inferiores a 11%) (Tabla 10) (COVENIN, 1990). Al igual que para D-Oryza, las muestras de SD20A almacenadas durante tres meses presentaron un porcentaje de granos yesosos+panza blanca inferior al máximo permitido por la agroindustria, es decir, 11% (Martínez. 1998).

Tanto la blancura total como la blancura cristalina disminuyeron ($p < 0,05$ y $p < 0,01$, respectivamente) a los tres meses de almacenamiento (Tabla 10); en el primer caso, esta reducción podría atribuirse a la disminución del porcentaje de granos yesosos+panza blanca, ya que para su estimación se requiere este porcentaje y para los dos parámetros, la misma podría explicarse por las posibles interacciones entre los compuestos y/o a la migración de compuestos entre el pericarpio y el endospermo de los granos de arroz, ocurridas, posiblemente, durante el almacenamiento, tal y como se indicó para D-Oryza.

Al medir estos parámetros en un arroz comercial, se obtuvieron una blancura total de 108,6 y una blancura cristalina de 95,98, siendo estos valores similares a los obtenidos para este cultivar (Tablas 8 y 10).

En resumen, la calidad molinera de los cultivares evaluados resultó afectada de manera diferente como resultado del almacenamiento; el porcentaje de granos enteros disminuyó para SD20A, lo cual no sería favorable para el valor comercial de este cultivar, mientras que para D-Oryza, el mismo se mantuvo constante. Para los dos

cultivares, se observó una reducción del porcentaje de granos yesosos+panza blanca, hecho que es altamente positivo para la calidad molinera de ambos. Asimismo, hubo una disminución de la blancura total y cristalina, siendo sus valores muy similares al de una muestra de arroz comercial.

Se encontraron correlaciones positivas ($p < 0,01$) entre el porcentaje de granos enteros y la blancura total ($r = 0,62$) y la blancura cristalina ($r = 0,68$), así como entre el porcentaje de granos yesosos+panza blanca y la blancura total ($r = 0,84$) y entre la blancura total y la blancura cristalina ($r = 0,99$) (Anexo A, Tabla A8). Estas correlaciones se explican porque la blancura total se calcula tomando en cuenta los granos enteros y los granos yesosos+panza blanca, la blancura cristalina, se consideran solo los granos enteros. Tanto la blancura cristalina como la blancura total se obtienen con el mismo equipo y con la misma muestra, además ambas toman en cuenta los granos enteros y, por ello, la alta correlación entre estos índices.

2 Análisis químicos, físicos y reológicos

2.1 Análisis químicos

En la Tabla 11 se presentan los resultados del contenido de proteína cruda, humedad y de amilosa aparente de las muestras del cultivar D-Oryza; adicionalmente, se midió el pH y se determinó la acidez (meq de NaOH/g) y la rancidez de un modo cualitativo, para evaluar los posibles cambios de los lípidos presentes durante el almacenamiento.

Los factores considerados no tuvieron un efecto significativo sobre el contenido de proteína cruda y amilosa aparente, mientras que para el contenido de humedad, se observó un efecto del tiempo de almacenamiento y de la interacción temperatura x tiempo (Tabla 12).

Tabla 11. Análisis químicos de las muestras de arroz del cultivar D-Oryza.

| Cultivar de arroz | Tiempo (meses) | T (°C) | Humedad (%) | Proteína cruda (%) | Amilosa aparente (%) | Acidez (meq de NaOH/g) | pH | Ran |
|-------------------|----------------|-----------|--------------|--------------------|----------------------|--------------------------------|-------------|------|
| D-Oryza | 0 | 25 | 11,43 ± 0,28 | 6,61 ± 0,27 | 23,94 ± 0,00 | 0,0067 ± 5,1.10 ⁻⁵ | 5,88 ± 0,02 | >6,2 |
| | | 4 | 11,90 ± 0,19 | 6,47 ± 0,38 | 22,37 ± 0,63 | 0,0076 ± 8,1.10 ⁻⁴ | 5,58 ± 0,04 | >6,2 |
| | 1,5 | 32 | 12,51 ± 0,06 | 6,66 ± 0,16 | 24,57 ± 0,82 | 0,0067 ± 3,06.10 ⁻⁴ | 5,67 ± 0,05 | >6,2 |
| | | 4 | 10,77 ± 0,09 | 6,50 ± 0,32 | 22,13 ± 1,54 | 0,0078 ± 4,08.10 ⁻⁴ | 5,48 ± 0,03 | >6,2 |
| | 3 | 32 | 10,89 ± 0,11 | 6,64 ± 0,33 | 23,05 ± 1,95 | 0,0074 ± 3,53.10 ⁻⁴ | 5,51 ± 0,02 | >6,2 |

- Tiempo: tiempo de almacenamiento, T: temperatura de almacenamiento, Ran: rancidez.
- La proteína cruda fue calculada usando el porcentaje de nitrógeno total por el factor 5,95 y reportada en base seca.
- Los datos de rancidez son reportados como pH en función del cambio de color del indicador rojo de metilo-azul de bromotimol.
- Cada valor representa la media ± la desviación estándar; la media es el promedio de tres determinaciones, a excepción de la amilosa aparente, que es el promedio de dos determinaciones.

Tabla 12. Significación de los cuadrados medios del contenido de humedad (%), proteína cruda (%) y amilosa aparente (%) de las muestras de arroz del cultivar D-Oryza.

| Cultivar de arroz | Fuente de variación | Grados de libertad | Humedad (%) | Proteína cruda (%) | Amilosa aparente (%) |
|-------------------|-----------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| D-Oryza | Temperatura | 1 | 1,33.10 ⁻²⁸ | 1,35.10 ⁻²⁸ | 2,02.10 ⁻²⁸ |
| | Tiempo | 2 | 0,97 ** | 0,095 | 1,94 |
| | Temperatura x tiempo | 2 | 0,16 * | 0,014 | 1,22 |

- Valores reportados de p.
- * Significativo a nivel de p < 0,05.
- ** Significativo a nivel de p < 0,01.

La humedad del grano es el parámetro de mayor importancia que debe controlarse después de la cosecha. Cuando su valor es superior a ciertos niveles, los granos pueden ser atacados por hongos y el desarrollo de éstos favorece la proliferación de bacterias (Castillo y Gaviria, 2000).

Según la Norma COVENIN 44-90 (COVENIN, 1990), el porcentaje de humedad del arroz debe ser menor al 12,5% para garantizar su estabilidad durante el almacenamiento.

En vista que para el contenido de humedad hubo un efecto significativo de la interacción temperatura x tiempo, se incluye una gráfica donde se aprecia la variación de este parámetro en las muestras almacenadas (Figura 14).

Como se observa en la Figura 14, el contenido de humedad del cultivar D-Oryza tuvo leves variaciones durante el almacenamiento, sin embargo, a nivel práctico, estas diferencias entre algunos valores no fue tan acentuada. En términos generales, el contenido de humedad de las muestras almacenadas fue menor o igual a 12,5%, lo que garantizó su estabilidad durante el estudio.

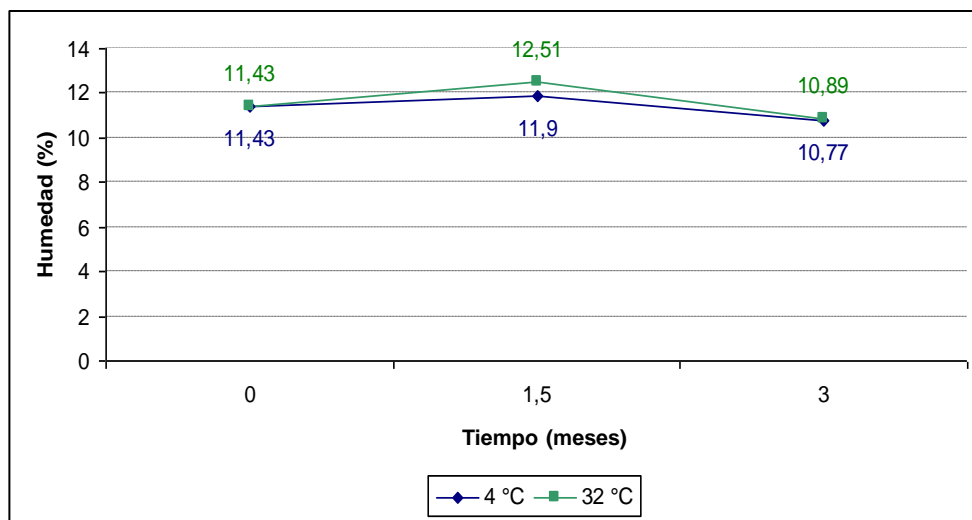


Figura 14. Variación del contenido de humedad de las muestras almacenadas del cultivar D-Oryza.

Las proteínas del arroz se encuentran, principalmente, en el endospermo y constan de prolaminas, albúminas, globulinas y glutelinas; es importante destacar que en el endospermo, la proteína se localiza, principalmente, en la forma de cuerpos esféricos grandes de 0,5 a 4 μm de tamaño, ricos en prolaminas y como cuerpos cristalinos ricos en glutelinas (Zhou y col., 2002).

Para el cultivar D-Oryza no hubo variación en este parámetro durante el almacenamiento (Tabla 12), obteniéndose valores entre 6,47 y 6,66 % (Tabla 11), los cuales fueron similares a los reportados para otros cultivares venezolanos (Villamizar, 2008).

La amilosa es una de las fracciones del almidón y su determinación ha sido una de las técnicas más utilizadas para evaluar la calidad del arroz; su contenido puede variar según el genotipo, lo que le confiere una textura específica y puede determinar la aceptación del consumidor, de acuerdo con los hábitos culinarios de cada región (Ávila, 2002). El “contenido de amilosa aparente” se refiere al resultado de la determinación donde la misma se determina a través de un método colorimétrico, el cual se basa en la formación de un complejo coloreado amilosa-yodo, sin un desgrasado previo de la muestra (Himmelsbach y col., 2001). Los valores obtenidos para el cultivar D-Oryza no variaron durante el almacenamiento (Tabla 12) y oscilaron entre 22,13 - 24,57% (Tabla 11) y, por ello, este cultivar se clasifica como de grano largo y de amilosa intermedia, ya que sus valores se ubicaron entre 22 y 27%, siendo entonces el tipo de arroz que prefieren los venezolanos (Ávila, 2001).

Los lípidos que se encuentran en el arroz conforman un grupo químicamente diverso. Su distribución dentro del grano no es uniforme; el endospermo contiene lípidos polares que se distribuyen de forma desigual, con una mayor proporción en su capa externa, la cual disminuye progresivamente hacia el centro del grano; el mayor contenido de lípidos se encuentra en el salvado, que puede contribuir hasta con un 20% en peso (Zhou y col., 2002).

El pH es un parámetro indicativo de la concentración de iones hidrógeno, más que de la acidez titulable o alcalinidad; la proporción de estos iones que se separa de un ácido al disolverlo varía según su naturaleza, ya que distintos ácidos que presenten el mismo contenido de acidez total, no necesariamente tendrán el mismo pH (González, 1997). Durante el almacenamiento de algunos granos como cereales, leguminosas y oleaginosas, así como de sus productos (harinas), se produce un incremento de la

acidez, lo cual podría ser indicativo del grado de hidrólisis de los lípidos presentes y, por ende, de su deterioro.

Para el cultivar D-Oryza, aunque se observa un aumento ($p < 0,05$) de los valores de acidez a los tres meses de almacenamiento, con respecto al tiempo inicial (Tabla 13), la variación fue muy pequeña por la magnitud de los valores obtenidos. Una posible explicación de lo anterior sería la actividad de las lipasas presentes. Durante el almacenamiento, se produciría la hidrólisis de los ácidos grasos de los di y triglicéridos por las lipasas, lo que conllevaría al incremento de la acidez. El pH tuvo una disminución que fue significativa ($p < 0,01$) en el mismo período (tres meses de almacenamiento), lo cual fue producto del incremento de la acidez ya señalada.

Tabla 13. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la acidez y el pH de las muestras de arroz del cultivar D-Oryza.

| Cultivar de arroz | Tiempo (meses) | Acidez (meq de NaOH/g) * | pH ** |
|-------------------|----------------|--------------------------|---------|
| | 0 | 0,0067 b | 5,88 a |
| D-Oryza | 1,5 | 0,0072 ab | 5,63 ab |
| | 3 | 0,0076 a | 5,49 b |

- Tiempo: tiempo de almacenamiento.
- Cada valor representa el promedio de 6 determinaciones, es decir, que para cada tiempo se calculó el promedio de los dos valores (promedio de tres réplicas) de las dos temperaturas.
- Los valores con al menos una letra en común en una misma columna son estadísticamente iguales a un nivel de significancia de 5% (*) y 1% (**) ($p < 0,05$ y $p < 0,01$).

El método cualitativo de rancidez utilizado permitió evidenciar que las soluciones indicadoras, donde se colocaron las muestras almacenadas, se mantuvieron de color verde ($pH > 6,2$), al igual que la muestra control, lo que denota que no había una concentración suficiente de iones hidrógeno en el medio como para causar un viraje de la mezcla indicadora (rojo de metilo y azul de bromotimol).

Es muy probable que la sensibilidad de este método solo sea apropiada para evaluar un grado de rancidez considerable en muestras de arroz almacenadas, donde se

haya generado una cantidad suficiente de ácidos grasos libres como para producir una disminución del pH y, por ende, el cambio del viraje de la mezcla indicadora utilizada.



Figura 15. Resultados de la prueba de rancidez para el tiempo cero del cultivar D-Oryza.

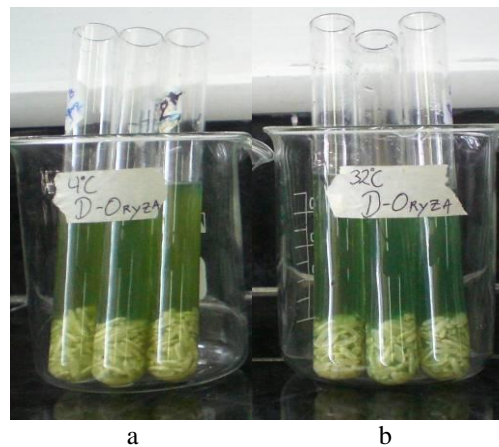


Figura 16. Resultados de la prueba de rancidez para el tiempo 1,5 meses del cultivar D-Oryza. a) 4 °C, b) 32 °C.

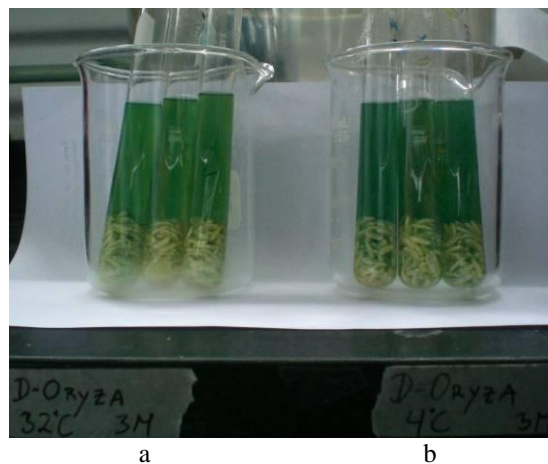


Figura 17. Resultados de la prueba de rancidez para el tiempo 3 meses del cultivar D-Oryza. a) 32 °C, b) 4 °C.

A continuación, se presentan los valores obtenidos de los análisis químicos para las muestras del cultivar SD20A (Tabla 14).

El contenido de humedad de las muestras se mantuvo constante (Tabla 15) durante el almacenamiento y sus valores fueron inferiores a 12,5% (Tabla 14), lo cual garantizó su estabilidad durante el mismo (COVENIN, 1990).

El porcentaje de proteína cruda también se mantuvo constante durante el almacenamiento (Tabla 15); los valores oscilaron entre 7,4 y 7,55% (Tabla 14) y se encuentran en el intervalo reportado para otros cultivares de Venezuela (Villamizar, 2008).

Tabla 14. Análisis químico de las muestras de arroz del cultivar SD20A.

| Cultivar de arroz | Tiempo (meses) | T (°C) | Humedad (%) | Proteína cruda (%) | Amilosa aparente (%) | Acidez (meq de NaOH/g) | pH | Ran |
|-------------------|----------------|--------|--------------|--------------------|----------------------|--------------------------------|-------------|------|
| SD20A | 0 | 25 | 10,63 ± 0,24 | 7,48 ± 0,28 | 22,15 ± 0,00 | 0,0056 ± 1,02.10 ⁻⁴ | 6,08 ± 0,07 | >6,2 |
| | | 4 | 10,90 ± 0,36 | 7,42 ± 0,26 | 23,06 ± 1,73 | 0,0067 ± 4,45.10 ⁻⁴ | 5,64 ± 0,06 | >6,2 |
| | 1,5 | 32 | 11,07 ± 0,05 | 7,43 ± 0,37 | 23,43 ± 0,54 | 0,0070 ± 5,69.10 ⁻⁴ | 5,60 ± 0,04 | >6,2 |
| | | 4 | 10,40 ± 0,23 | 7,40 ± 0,37 | 21,26 ± 0,95 | 0,0078 ± 5,69.10 ⁻⁴ | 5,48 ± 0,04 | >6,2 |
| | 3 | 32 | 11,08 ± 0,18 | 7,55 ± 0,31 | 22,34 ± 0,94 | 0,0076 ± 3,54.10 ⁻⁴ | 5,48 ± 0,03 | >6,2 |

- Tiempo: tiempo de almacenamiento, T: temperatura de almacenamiento, Ran: rancidez.
- La proteína cruda fue calculada usando el porcentaje de nitrógeno total por el factor 5,95 y reportada en base seca.
- Los datos de rancidez son reportados como pH en función del cambio de color del indicador rojo de metilo-azul de bromotimol.
- Cada valor representa la media ± la desviación estándar; la media es el promedio de tres determinaciones, a excepción de la amilosa aparente, que es el promedio de dos determinaciones.

Tabla 15. Significación de los cuadrados medios del contenido de humedad (%), proteína cruda (%), de amilosa aparente (%) y de la acidez (meq de NaOH/g) de las muestras de arroz del cultivar SD20A.

| cultivar de arroz | Fuente de variación | Grados de libertad | Humedad (%) | Proteína cruda (%) | Amilosa aparente (%) | Acidez (meq de NaOH/g) |
|-------------------|----------------------|--------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------|
| SD20A | Temperatura | 1 | 1,34.10 ⁻²⁸ | 7,22.10 ⁻³⁵ | 2,08.10 ⁻²⁸ | 3,08.10 ⁻³⁵ |
| | Tiempo | 2 | 1,88.10 ⁻⁰¹ | 0,005 | 1,63 | 3,60.10 ⁻⁶ ** |
| | Temperatura x tiempo | 2 | 1,90.10 ⁻⁰¹ | 0,01 | 0,31 | 1,06.10 ⁻⁰⁷ |

- Valores reportados de p.
- ** Significativo a nivel de p < 0,01.

Al igual que para el contenido de humedad y de proteína cruda, el contenido de amilosa aparente no varió durante el almacenamiento de las muestras (Tabla 15); los valores obtenidos variaron entre 21,26 y 23,43% (Tabla 14), por lo que este cultivar es de grano largo y de amilosa intermedia, porque se ubicaron entre 22 y 27% y, por ello, pertenece al grupo de arroces preferidos por los venezolanos (Ávila, 2001), al igual que D-Oryza.

En la Tabla 15 se muestra que el factor tiempo de almacenamiento tuvo un efecto significativo ($p < 0,01$) sobre la acidez y el pH (Tabla 16).

Para el cultivar SD20A se observó un aumento ($p < 0,01$) de la acidez durante el almacenamiento (Tabla 16), el cual es leve por la magnitud de los valores obtenidos. Asimismo, se notó una disminución del pH ($p < 0,01$), la cual fue significativa al tercer mes de almacenamiento con respecto al tiempo inicial. Estos cambios en los valores de acidez y pH podrían atribuirse a la actividad de las lipasas, tal como se indicó para D-Oryza.

Tabla 16. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la acidez (meq de NaOH/g) y el pH de las muestras de arroz del cultivar SD20A.

| Cultivar de arroz | Tiempo (meses) | Acidez (meq de NaOH/g) ** | pH ** |
|-------------------|----------------|---------------------------|---------|
| SD20A | 0 | 0,0056 c | 6,08 a |
| | 1,5 | 0,0068 b | 5,62 ab |
| | 3 | 0,0077 a | 5,48 b |

- Tiempo: tiempo de almacenamiento.
- Cada valor representa el promedio de 6 determinaciones, es decir, que para cada tiempo se calculó el promedio de los dos valores (promedio de tres réplicas) de las dos temperaturas.
- Los valores con al menos una letra en común en una misma columna son estadísticamente iguales a un nivel de significancia de 1% (**) ($p < 0,01$).

Al igual que para el caso de las muestras almacenadas del cultivar D-Oryza, en las muestras del cultivar SD20A no hubo viraje del color de la mezcla indicadora utilizada para la prueba de rancidez, en vista de la insuficiente cantidad de iones hidrógeno presentes, lo que permitiría inferir que este método no permitió evaluar

cualitativamente el grado de rancidez de las muestras bajo las condiciones de almacenamiento consideradas en este estudio, posiblemente, por su baja sensibilidad.



Figura 18. Resultados de la prueba de rancidez para el tiempo cero del cultivar SD20A.

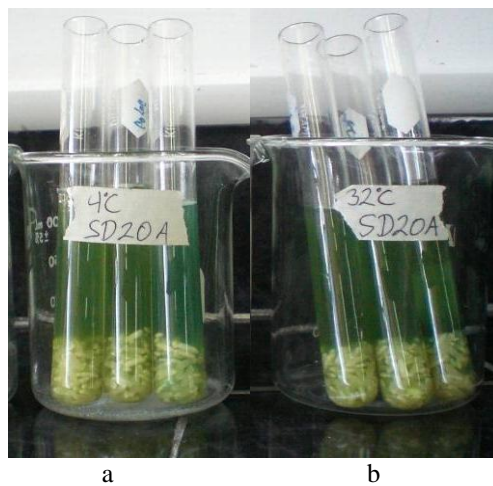


Figura 19. Resultados de la prueba de rancidez para el tiempo 1,5 meses del cultivar SD20A. a) 4 °C, b) 32 °C.

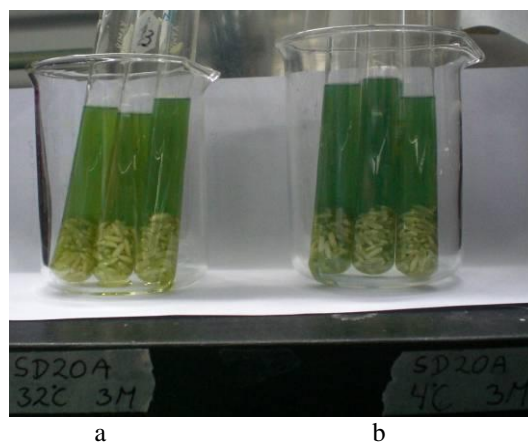


Figura 20. Resultados de la prueba de rancidez para el tiempo 3 meses del cultivar SD20A. a) 32 °C, b) 4 °C.

En cuanto a los análisis químicos de los cultivares D-Oryza y SD20A, se puede mencionar que de los parámetros evaluados, solamente la acidez y el pH resultaron afectados durante el almacenamiento. Asimismo, estos cultivares se clasifican como de grano largo de amilosa intermedia, el cual es el tipo de arroz preferido por los venezolanos. Además, el contenido de humedad de todas las muestras permitió garantizar su estabilidad durante este estudio.

Se encontró una correlación negativa ($p < 0,01$) entre el pH y la acidez ($r = -0,87$), tal y como se muestra en el Anexo A, Tabla A7, lo cual permitiría reforzar lo indicado acerca del aumento simultáneo de la acidez y la disminución del pH de las muestras de ambos cultivares durante el almacenamiento, posiblemente debido al incremento de los ácidos grasos libres por la actividad de las lipasas.

2.2 Análisis físicos

El color se encuentra entre los parámetros utilizados en la industria de alimentos como estrategia básica para la identificación de las preferencias del consumidor; el mismo puede determinar la aceptación de un producto y puede garantizar, de antemano, la satisfacción del consumidor. En el caso del arroz pulido, es un atributo de calidad importante, ya que se asocia a un grado de procesamiento adecuado y a una mayor aceptabilidad del mismo (Lamberts y col., 2007).

Las escalas de color utilizadas más ampliamente en la industria de alimentos son las escalas tridimensionales Hunter Lab L, a, b y CIE L*, a*, b*; las mismas se basan en la teoría de los colores opuestos, la cual establece que la respuesta de los conos del ojo humano al color rojo, verde y azul se mezcla en grupos opuestos negro-blanco, rojo-verde y amarillo-azul, a medida que se mueve del nervio óptico al cerebro. Estas escalas simulan lo siguiente: eje L* (luminosidad) es negro si el valor es 0 y blanco si el valor es 100, eje a* (rojo-verde) es rojo para los valores positivos y verde para los valores

negativos y el eje b* (amarillo-azul) es amarillo para los valores positivos y azul para los valores negativos (Good, 2004).

En la Tabla 17 se presentan todos los parámetros de color de las muestras del cultivar D-Oryza, incluyendo el índice de blancura (WI_p) y la diferencia total del color (ΔE).

Tabla 17. Parámetros de color, índice de blancura (WI_p) y la diferencia total de color (ΔE) de las muestras del arroz pulido del cultivar D-Oryza.

| Cultivar de arroz | Tiempo (meses) | T (°C) | L* | a* | b* | WI _p | ΔE |
|-------------------|----------------|--------|--------------|-------------|--------------|-----------------|------------|
| D-Oryza | 0 | 25 | 61,79 ± 0,90 | 1,24 ± 0,12 | 16,62 ± 0,33 | 58,32 ± 0,95 | |
| | | 4 | 66,17 ± 0,54 | 2,09 ± 0,14 | 20,14 ± 0,36 | 60,57 ± 0,64 | 5,67 |
| | 1,5 | 32 | 66,17 ± 0,50 | 2,14 ± 0,07 | 20,09 ± 0,05 | 60,60 ± 0,45 | 5,65 |
| | | 4 | 66,18 ± 0,54 | 3,25 ± 0,01 | 20,60 ± 0,09 | 60,27 ± 0,24 | 6,26 |
| | 3 | 32 | 67,21 ± 0,12 | 3,42 ± 0,05 | 21,19 ± 0,14 | 60,81 ± 0,12 | 7,42 |

- Tiempo: tiempo de almacenamiento, T: Temperatura de almacenamiento, WI_p: índice de blancura, ΔE : diferencia total de color.
- L*: luminosidad = 0 (negro) y 100 (blanco); a*: matiz = + (rojo) o - (verde); b*: croma = + (amarillo) o - (azul).
- $WI = 100 - \sqrt{(100 - L)^2 + a^2 + b^2}$, $L = L^*$; a = a* y b = b* de cada uno de los tiempos y las temperaturas de almacenamiento (Leelayuthsoontorn y Thipayarat, 2006).
- $\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$ siendo $\Delta L = L^* - L^*$ del tiempo cero, $\Delta a = a^* - a^*$ del tiempo cero, $\Delta b = b^* - b^*$ del tiempo cero; L*, a* y b* para cada condición de almacenamiento considerada (Good, 2002).
- Cada valor representa la media ± la desviación estándar; la media es el promedio de tres determinaciones.

Los parámetros L*, a*, b* y el índice de blancura para el arroz pulido (WI_p) mostraron diferencias significativas (p < 0,01) entre los tiempos de almacenamiento (Tabla 18).

Los valores de L* aumentaron al mes y medio (p < 0,01), para luego mantenerse constantes a los tres meses de almacenamiento (Tabla 18); esto podría deberse, posiblemente, a que desde el mes y medio en adelante, las capas de salvado (pericarpio) de los granos pudieron removerse con mayor facilidad. Estos resultados podrían favorecer la apariencia del arroz, en vista que el incremento de L* indica que el arroz es más blanco, lo que conllevaría a su aceptación por el consumidor. A diferencia de la

blancura cristalina y de la blancura total (Tabla 7), las cuales disminuyeron durante el almacenamiento, L* incrementó durante el mismo. Es probable que los resultados de estos parámetros no sean comparables, así como las tendencias observadas, ya que se determinaron con equipos diferentes (Analizador de arroz Suzuki S21 y colorímetro Hunter Lab, respectivamente).

Se determinó el valor de L* en una muestra de arroz comercial; el mismo fue 73,42 y ligeramente superior a los reportados en las Tablas 17 y 18. Sin embargo, otros autores (Sánchez, 2006; Daza, 2007; Villamizar, 2008) han reportado valores similares a los obtenidos en este estudio, al utilizar cultivares nacionales.

Tabla 18. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre los parámetros de color e índice de blancura (WIp) de las muestras del arroz pulido del cultivar D-Oryza.

| Cultivar de arroz | Tiempo (meses) | L* ** | a* ** | b* ** | WIp ** |
|-------------------|----------------|---------|---------|---------|---------|
| | 0 | 61,79 b | 1,24 b | 16,62 b | 58,32 b |
| D-Oryza | 1,5 | 66,17 a | 2,12 ab | 20,12 a | 60,59 a |
| | 3 | 66,69 a | 3,34 a | 20,89 a | 60,54 a |

- Tiempo: tiempo de almacenamiento, WIp: índice de blancura.
- L*: luminosidad = 0 (negro) y 100 (blanco); a*: matiz = + (rojo) o - (verde); b*: croma = + (amarillo) o - (azul).
- Cada valor representa el promedio de 6 determinaciones, es decir, que para cada tiempo se calculó el promedio de los dos valores (promedio de tres réplicas) de las dos temperaturas.
- Los valores con al menos una letra en común en una misma columna son estadísticamente iguales a un nivel de significancia de 1% (**) ($p < 0,01$).

El parámetro a* aumentó ($p < 0,01$) a los tres meses de almacenamiento con relación al tiempo inicial (Tabla 18), resultando en una tendencia hacia el rojo; esto no indica que el arroz se vea de este color, sólo que entre la combinación de los colores que se dispone para obtener el color definitivo del grano de arroz, hay una leve tendencia al rojo. Como se indicó para la blancura total y la blancura cristalina de las muestras de este cultivar, el incremento de a* pudo haber ocurrido por una posible migración de compuestos desde el pericarpio al endospermo y/o a interacciones entre compuestos, ambas producidas durante el almacenamiento.

En una muestra de arroz comercial, se obtuvo un valor de a^* de 0,88, el cual fue inferior a los valores reportados para este parámetro (Tablas 17 y 18). En otros trabajos realizados en cultivares venezolanos (Sánchez, 2006; Daza, 2007; Villamizar, 2008), se encontraron valores similares a los del tiempo cero de este estudio.

El parámetro b^* incrementó ($p < 0,01$) a los 45 días de almacenamiento y luego se mantuvo constante hasta finalizar el estudio (tres meses) (Tabla 18), tendiendo el color del arroz hacia el amarillo. Este incremento podría atribuirse a las razones ya expuestas para a^* ; otra posible explicación es la indicada por Lee y col. (2001), quienes obtuvieron un aumento en el valor de b^* de las muestras de arroz, como un posible resultado de la reacción de Maillard, que se produjo durante el almacenamiento de las mismas.

Este aumento de a^* y b^* podría relacionarse con la disminución de la blancura total y la blancura cristalina que se obtuvo en las muestras almacenadas del cultivar D-Oryza (Tabla 7).

Los valores de b^* presentados en las Tablas 17 y 18 fueron ligeramente superiores al valor encontrado en un arroz comercial (18,21), a excepción de la muestra control (tiempo cero), cuyo valor fue inferior (16,62). Otros autores (Sánchez, 2006; Daza, 2007; Villamizar, 2008) reportaron, para cultivares nacionales, valores similares a los encontrados en esta investigación.

El índice de blancura (Tabla 18) aumentó ($p < 0,01$) al mes y medio de almacenamiento, para luego mantenerse constante a los tres meses, tal y como ocurrió con L^* ; aunque este índice es calculado con los tres parámetros de color (L^* , a^* y b^*), el parámetro que, finalmente, sería el más importante en este índice es L^* y, por ello, sus tendencias son iguales.

En la Tabla 17 se aprecian los valores obtenidos de la diferencia total del color (ΔE) para las muestras del cultivar D-Oryza; si el valor de esta diferencia es mayor o igual a 1, entonces existe una diferencia perceptible del color con relación a la muestra control (Gonnet, 1998; Good, 2004); como se aprecia en dicha Tabla, todos los valores de ΔE fueron mayores a 1, lo cual indica que existen diferencias perceptibles en el color de cada una de las muestras almacenadas con respecto a la muestra control (tiempo cero). Sería interesante establecer si lo anterior tendría alguna influencia sobre la aceptabilidad de estas muestras por parte del consumidor.

La Tabla 19 presenta los resultados obtenidos para todos los parámetros de color de las muestras del cultivar SD20A, incluyendo el índice de blancura (WI_p) y la diferencia total del color (ΔE).

Tabla 19. Parámetros de color, índice de blancura (WI_p) y la diferencia total de color (ΔE) de las muestras del arroz pulido del cultivar SD20A.

| Cultivar de arroz | Tiempo (meses) | T (°C) | L* | a* | b* | WI _p | ΔE |
|-------------------|----------------|--------|--------------|-------------|--------------|-----------------|------------|
| SD20A | 0 | 25 | 66,04 ± 0,47 | 0,53 ± 0,13 | 15,92 ± 0,41 | 62,49 ± 0,60 | |
| | | 4 | 66,70 ± 0,44 | 2,24 ± 0,08 | 20,46 ± 0,41 | 60,85 ± 0,56 | 4,89 |
| | 1,5 | 32 | 70,21 ± 0,40 | 1,44 ± 0,02 | 19,57 ± 0,27 | 64,33 ± 0,38 | 5,61 |
| | | 4 | 66,12 ± 0,42 | 3,14 ± 0,08 | 20,83 ± 0,17 | 60,10 ± 0,44 | 5,56 |
| | 3 | 4 | 66,12 ± 0,42 | 3,14 ± 0,08 | 20,83 ± 0,17 | 60,10 ± 0,44 | 5,56 |
| | | 32 | 70,45 ± 0,25 | 3,02 ± 0,02 | 21,39 ± 0,15 | 63,39 ± 0,27 | 7,45 |

- Tiempo: tiempo de almacenamiento, T: Temperatura de almacenamiento, WI_p: índice de blancura, ΔE : diferencia total de color.
- L*: luminosidad = 0 (negro) y 100 (blanco); a*: matiz = + (rojo) o - (verde); b*: croma = + (amarillo) o - (azul).
- $WI = 100 - \sqrt{(100 - L)^2 + a^2 + b^2}$, $L = L^*$; $a = a^*$ y $b = b^*$ de cada uno de los tiempos y las temperaturas de almacenamiento (Leelayuthsoontorn y Thipayarat, 2006).
- $\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$ siendo $\Delta L = L^* - L^*$ del tiempo cero, $\Delta a = a^* - a^*$ del tiempo cero, $\Delta b = b^* - b^*$ del tiempo cero; L*, a* y b* para cada condición de almacenamiento considerada (Good, 2002).
- Cada valor representa la media ± la desviación estándar; la media es el promedio de tres determinaciones.

El parámetro L* aumentó ($p < 0,05$) en las muestras almacenadas a mayor temperatura (Tabla 20). Se podría intuir que fue más fácil remover las capas de salvado (pericarpio) en estas muestras. Estos resultados podrían ser favorables para la apariencia

del arroz, ya que un incremento de L* denota un arroz más blanco, el cual es el aceptado por el consumidor.

En un arroz comercial se determinó que su valor de L* era de 73,42, el cual es ligeramente superior a los reportados (Tablas 19 y 20); sin embargo, en otros trabajos de investigación (Sánchez, 2006; Daza, 2007; Villamizar, 2008) se han encontrado valores similares a los obtenidos en este estudio, para otros cultivares venezolanos.

Tabla 20. Efecto de la temperatura de almacenamiento sobre el parámetro L* de las muestras del arroz pulido del cultivar SD20A.

| Cultivar de arroz | Temperatura (°C) | L* * |
|-------------------|------------------|---------|
| SD20A | 4 | 66,29 b |
| | 32 | 68,90 a |

- Temperatura: temperatura de almacenamiento.
- L*: luminosidad = 0 (negro) y 100 (blanco).
- Cada valor representa el promedio de 9 determinaciones, es decir, que para cada temperatura se calculó el promedio de los tres valores (promedio de tres réplicas) de los tres tiempos.
- Los valores con al menos una letra en común en una misma columna son estadísticamente iguales a un nivel de significancia de 5% (*) ($p < 0,05$).

El parámetro a* incrementó continuamente durante el almacenamiento ($p < 0,01$; Tabla 21), lo cual podría deberse a las mismas razones indicadas para el cultivar D-Oryza (migración de compuestos del pericarpio al endospermo y/o interacción entre compuestos). Todas las muestras presentaron valores de a* superiores (Tablas 19 y 21) al de un arroz comercial (0,88), a excepción de muestra control, cuyo valor fue 0,53. Para otros cultivares venezolanos, se han obtenido valores similares a los reportados en este estudio (Sánchez, 2006; Daza, 2007; Villamizar, 2008).

El parámetro b* mostró un aumento ($p < 0,01$) en sus valores al tercer mes de almacenamiento (Tabla 21), hecho que podría explicarse por lo ya indicado para el parámetro a* y/o como resultado de la reacción de Maillard, la cual pudo producirse durante el almacenamiento.

Al igual que para el caso del cultivar D-Oryza, el incremento de a^* y b^* podría relacionarse con la disminución de la blancura total y cristalina de las muestras almacenadas del cultivar SD20A (Tabla 10). Los valores de b^* de las muestras del cultivar SD20A fueron ligeramente superiores al valor de un arroz comercial (18,21), a excepción de la muestra tiempo cero (Tablas 19 y 21), cuyo valor fue inferior (15,92). En otros estudios se han reportado valores similares a los obtenidos en esta investigación (Sánchez, 2006; Daza, 2007; Villamizar, 2008).

Tabla 21. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre los parámetros a^* y b^* de las muestras del arroz pulido del cultivar SD20A.

| Cultivar de arroz | Tiempo (meses) | a^* ** | b^* ** |
|-------------------|----------------|----------|----------|
| | 0 | 0,53 c | 15,92 b |
| SD20A | 1,5 | 1,84 b | 20,05 ab |
| | 3 | 3,08 a | 21,11 a |

- Tiempo: tiempo de almacenamiento.
- a^* : matiz = + (rojo) o - (verde); b^* : croma = + (amarillo) o - (azul).
- Cada valor representa el promedio de 6 determinaciones, es decir, que para cada tiempo se calculó el promedio de los dos valores (promedio de tres réplicas) de las dos temperaturas.
- Los valores con al menos una letra en común en una misma columna son estadísticamente iguales a un nivel de significancia de 1% (**) ($p < 0,01$).

En la Tabla 22 se aprecia que el tiempo de almacenamiento y la interacción temperatura x tiempo tuvieron un efecto significativo ($p < 0,01$) sobre el índice de blancura (WIp) de las muestras del cultivar SD20A. En vista de lo anterior, en la Figura 21 se muestra la variación de este índice durante su almacenamiento. En la misma se observa que el índice de blancura de las muestras mantenidas a 4 °C disminuyó al incrementar el tiempo de almacenamiento; en el caso de las muestras almacenadas a 32°C, este parámetro aumentó ligeramente a los 45 días para luego disminuir levemente a los tres meses. Las variaciones observadas en el índice de blancura podrían asociarse a los cambios de L^* (aumentó con el incremento de la temperatura) y de a^* y b^* (incrementaron durante el almacenamiento).

Tabla 22. Significación de los cuadrados medios del índice de blancura de las muestras del arroz pulido (WIp) del cultivar SD20A.

| Cultivar de arroz | Fuente de variación | Grados de libertad | WIp |
|-------------------|----------------------|--------------------|--------|
| SD20A | Temperatura | 1 | 0,00 |
| | Tiempo | 2 | 4,48** |
| | Temperatura x tiempo | 2 | 5,75** |

- Valores reportados de p.
- ** Significativo a nivel de $p < 0,01$.

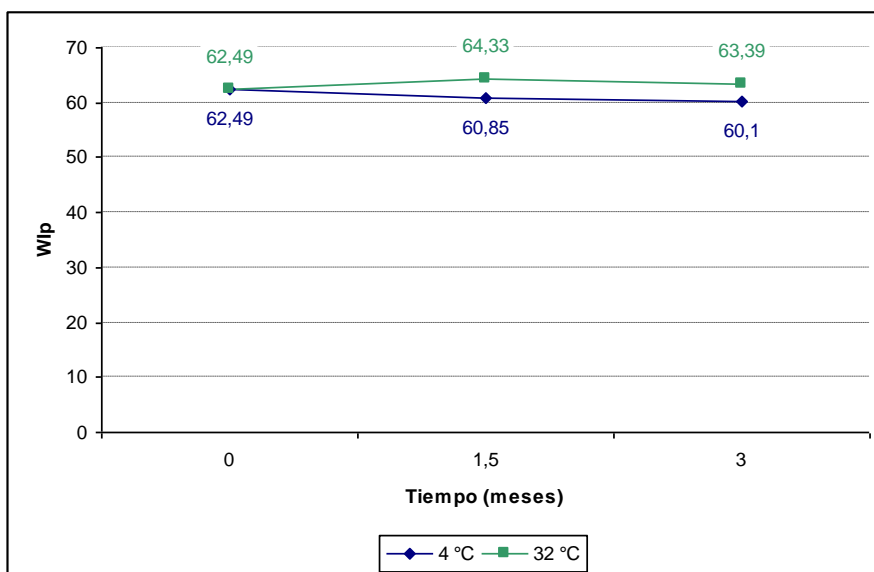


Figura 21. Variación del índice de blancura del arroz pulido (WIp) de las muestras almacenadas del cultivar SD20A.

Al igual a lo observado para el cultivar D-Oryza, la diferencia total de color (ΔE) (Tabla 19) para todas las muestras almacenadas fue superior a 1 (Gonnet, 1998; Good, 2004) y, por consiguiente, existe una diferencia de color que es perceptible a simple vista con relación a la muestra control; sería de interés evaluar si esta diferencia tendría algún impacto sobre la aceptabilidad del consumidor.

En síntesis, durante el almacenamiento de las muestras de los cultivares D-Oryza y SD20A se observó un aumento del parámetro L^* a lo largo del tiempo para las primeras y con el aumento de la temperatura a 32°C para las segundas. Asimismo, los valores de a^* , b^* y ΔE incrementaron durante el estudio; todos estos resultados se

reflejaron como un cambio de color perceptible con relación a la muestra control (tiempo cero), lo cual sería interesante evaluar a nivel del consumidor.

Se encontró correlación ($p < 0,01$) entre L^* y el índice de blancura (WI_p) ($r = 0,88$), entre a^* y la blancura total ($r = - 0,88$), y la blancura cristalina ($r = - 0,82$), entre b^* y la blancura total ($r = - 0,69$) y la blancura cristalina ($r = - 0,59$), como se muestra en el Anexo A, Tabla A1, lo que indica que pueden relacionarse de forma directa el índice de blancura y el valor de L^* y de forma inversa los parámetros a^* y b^* con la blancura cristalina y la blancura total. Lo anterior permite confirmar algunas inferencias que se indicaron en su momento para explicar algunos de los resultados obtenidos para estos parámetros.

2.3 Análisis reológicos

El análisis reológico realizado en las muestras de los cultivares D-Oryza y SD20A fue el perfil amilográfico (PA), para el cual se utilizó el equipo Rapid Visco Analyser (RVA), de acuerdo a la metodología oficial de la AACC N° 61-02 (AACC, 2004). A través de este perfil, se evalúa cómo cambia la viscosidad de una suspensión de harina o almidón como consecuencia de los procesos de gelatinización, “pasting” y retrogradación, los cuales se producen en el almidón presente al calentar y enfriar la misma bajo ciertas condiciones ya establecidas.

Los parámetros obtenidos de este perfil predicen el comportamiento de los granos de arroz en la cocción y sus propiedades (Ávila, 2002; AACC, 2004).

El primer parámetro obtenido en el PA es la temperatura de empaste, que es la temperatura a la cual se hace evidente el primer aumento de viscosidad de la suspensión, el cual es producto del hinchamiento de los gránulos de almidón presentes en la misma, una vez que se ha calentado lo suficiente como para superar su temperatura inicial de gelatinización y favorecer la absorción de agua, primero en las zonas amorfas

y luego en las zonas cristalinas de los gránulos de almidón. Luego se obtiene la viscosidad máxima, la cual es el resultado de muchos factores, siendo el más importante el hinchamiento progresivo de los gránulos de almidón. Es importante destacar que durante el calentamiento con agitación de esta suspensión, se forma un sistema heterogéneo donde están presentes gránulos de almidón con diversos grados de hinchamiento, gránulos rotos, fragmentos de gránulos, material intragranular lixiviado y también se evidencian interacciones entre estos componentes.

Una vez que se ha alcanzado la viscosidad máxima, se observa una disminución de la viscosidad (viscosidad media), hecho que evidencia la ruptura progresiva de los gránulos hinchados de almidón durante el calentamiento a temperatura constante y agitación continua. Como consecuencia de lo anterior, se produce la lixiviación de material intragranular, principalmente amilosa.

Finalmente, al enfriar la suspensión de harina o almidón, se produce un aumento de la viscosidad (viscosidad final), producto del fenómeno de retrogradación, que consiste en el reordenamiento de las moléculas de almidón, donde se reasocian las cadenas de amilosa y las zonas lineales de la amilopectina formando pequeños agregados cristalinos insolubles (Ávila, 2002).

En la Tabla 23 se presentan los resultados obtenidos del perfil amilográfico de las muestras del cultivar D-Oryza.

En la Tabla 24 puede apreciarse que el factor tiempo de almacenamiento tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre la viscosidad máxima y la consistencia ($p < 0,01$); asimismo, la viscosidad final y el “setback” ($p < 0,05$); así mismo, la viscosidad máxima resultó afectada ($p < 0,05$) por el tiempo y la interacción del tiempo y la temperatura de almacenamiento.

Tabla 23. Parámetros del perfil amilográfico de las muestras de arroz del cultivar D-Oryza.

| Cultivar de arroz | Tiempo (meses) | T (°C) | Temperatura de empaste (°C) | Visc. máxima (RVU) | Visc. media (RVU) | “Breakdown” (RVU) | Visc. final (RVU) | “Setback” (RVU) | Consistencia (RVU) |
|-------------------|----------------|-----------|-----------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|--------------------|
| D-Oryza | 0 | 25 | 64,95 ± 0,00 | 227,33 ± 0,00 | 167,42 ± 0,00 | 59,92 ± 0,00 | 390,58 ± 0,00 | 163,25 ± 0,00 | 223,17 ± 0,00 |
| | | 4 | 68,10 ± 0,99 | 284,83 ± 0,35 | 221,13 ± 0,06 | 63,71 ± 0,41 | 448,58 ± 50,44 | 163,75 ± 50,09 | 227,46 ± 50,50 |
| | 1,5 | 32 | 67,80 ± 0,64 | 276,54 ± 11,37 | 216,29 ± 11,73 | 60,25 ± 0,35 | 444,58 ± 22,51 | 168,04 ± 11,14 | 228,29 ± 10,78 |
| | | 4 | 67,73 ± 0,46 | 245,96 ± 3,59 | 214,54 ± 9,25 | 31,42 ± 5,66 | 346,67 ± 5,66 | 100,71 ± 9,25 | 132,13 ± 14,91 |
| | 3 | 32 | 68,20 ± 0,07 | 262,17 ± 1,41 | 229,13 ± 3,12 | 33,04 ± 4,54 | 394,54 ± 10,31 | 132,38 ± 8,90 | 165,42 ± 13,44 |

- Tiempo: tiempo de almacenamiento, T: temperatura de almacenamiento.
- Visc. : viscosidad, viscosidad máxima (P), viscosidad media (H), viscosidad final (C), “breakdown” = P – H, “setback” = C – P, consistencia = C - H.
- Cada valor representa la media ± la desviación estándar; la media es el promedio de dos determinaciones.

Tabla 24. Significación de los cuadrados medios de la viscosidad máxima (RVU), la viscosidad final (RVU), el “setback” (RVU) y la consistencia (RVU) de las muestras de arroz del cultivar D-Oryza.

| Cultivar de arroz | Fuente de variación | Grados de libertad | Visc. máxima (RVU) | Visc. final (RVU) | “Setback” (RVU) | Consistencia (RVU) |
|-------------------|-----------------------------|--------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| D-Oryza | Temperatura | 1 | 1,77.10 ⁻³⁰ | 8,34.10 ⁻²⁵ | 1,42.10 ⁻²⁶ | 1,50.10 ⁻²⁶ |
| | Tiempo | 2 | 1.721,47 ** | 5.226,56 * | 2.628,65 * | 5.798,49 ** |
| | Temperatura x tiempo | 2 | 155,29 * | 833,17 | 295,10 | 360,43 |

- Valores reportados de p.
- Visc. : viscosidad, viscosidad máxima (P), viscosidad media (H), viscosidad final (C), “setback” = C – P, consistencia = C - H.
- * Significativo a nivel de p < 0,05.
- ** Significativo a nivel de p < 0,01.

En la Tabla 25 se aprecia que la temperatura de empaste incrementó (p < 0,05) a partir del tiempo mes y medio y luego se mantuvo constante a los tres meses de almacenamiento. Esta temperatura refleja el grado de ordenamiento intragranular del almidón y su aumento denota que se requirió de una mayor comunidad de energía para desestabilizar una estructura más organizada, a fin de iniciar el proceso de gelatinización. Esta mayor organización pudo originarse por la interacción del almidón con otros componentes durante el almacenamiento. Con base a lo anterior, se podría inferir que el tiempo de cocción de estas muestras almacenadas podría aumentar.

Tabla 25. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre los parámetros del perfil amilográfico de las muestras de arroz del cultivar D-Oryza.

| Cultivar de arroz | Tiempo (meses) | Temperatura de empaste (°C) * | Visc. media (RVU) * | “Breakdown” (RVU) ** | Visc. final (RVU) * | “Setback” (RVU) * | Consistencia (RVU) ** |
|-------------------|----------------|-------------------------------|---------------------|----------------------|---------------------|-------------------|-----------------------|
| D-Oryza | 0 | 64,95 b | 167,42 b | 59,92 a | 390,58 b | 163,25 a | 223,17 a |
| | 1,5 | 67,95 a | 218,71 a | 61,98 a | 446,58 a | 165,90 a | 227,88 a |
| | 3 | 67,96 a | 221,83 a | 32,23 b | 370,60 b | 116,55 b | 148,77 b |

- Tiempo: tiempo de almacenamiento.
- Visc. : viscosidad, viscosidad máxima (P), viscosidad media (H), viscosidad final (C), “breakdown” = P – H, “setback” = C – P, consistencia = C - H.
- Cada valor representa el promedio de 4 determinaciones, es decir, que para cada tiempo se calculó el promedio de los dos valores (promedio de dos réplicas) de las dos temperaturas.
- Los valores con al menos una letra en común en una misma columna son estadísticamente iguales a un nivel de significancia de 5% (*) y 1% (**) (p < 0,05 y p < 0,01).

Como ya se indicó, la viscosidad máxima es el resultado de muchos factores, siendo el más importante, el hinchamiento de los gránulos de almidón, lo cual es consecuencia del proceso de gelatinización, que es irreversible; además del colapso en el orden molecular del gránulo, ocurren otros cambios, como la fusión de los cristales nativos, la pérdida de la birrefringencia y la solubilización del almidón (Atwell y col., 1988).

En vista que para la viscosidad máxima se observó un efecto significativo ($p < 0,05$) de la interacción tiempo x temperatura (Tabla 24), en la Figura 22 se puede apreciar la variación de sus valores durante el almacenamiento. La viscosidad máxima incrementó ligeramente a los 45 días de almacenamiento en las muestras mantenidas a 4 °C y 32 °C; entre ellas, prácticamente no hubo diferencias para este parámetro. A los tres meses, la viscosidad disminuyó levemente y en la muestra a 4 °C su valor fue algo inferior a la observada a 32 °C. Es de resaltar que los cambios observados fueron un poco más evidentes en las muestras almacenadas a 4 °C y que todos los valores obtenidos fueron superiores al de la muestra control (227,33 RVU); posiblemente estos resultados fueron producto de algún tipo de interacción del almidón que favoreció el aumento de esta viscosidad durante el almacenamiento.

En cuanto a la viscosidad media, en la Tabla 25 se puede observar que la misma aumentó ($p < 0,05$) al tiempo mes y medio, para luego mantenerse constante al tiempo tres meses. Este incremento pudo ser el reflejo de una posible interacción entre el almidón y otros compuestos, lo que conllevaría a una menor proporción de gránulos rotos (mayor integridad granular) y de material lixiviado y, por ende, a un aumento de dicha viscosidad.

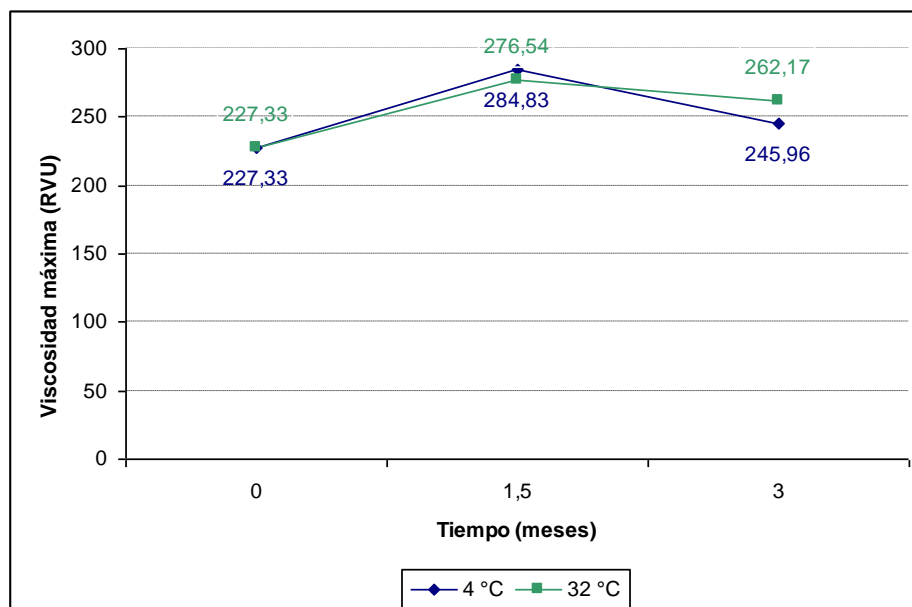


Figura 22. Variación de la viscosidad máxima de las muestras almacenadas del cultivar D-Oryza.

La diferencia entre la viscosidad máxima (P) y la viscosidad media (H) es lo que se conoce como “breakdown”; dicho parámetro permite inferir sobre el comportamiento y la estabilidad del gránulo de almidón durante la cocción a temperatura constante con agitación (Ávila, 2002). En la Tabla 25 se aprecia que el “breakdown” disminuyó ($p < 0,01$) a los tres meses de almacenamiento, lo que indica que hay una mayor estabilidad de los gránulos de almidón bajo estas condiciones de cocción, lo cual podría atribuirse a una mayor integridad granular producto de la posible interacción del almidón con otros compuestos.

La viscosidad final aumentó ligeramente ($p < 0,05$) a los 45 días de almacenamiento para luego disminuir e igualar al valor inicial (Tabla 25). El incremento anterior reflejaría un mayor grado de asociación entre las moléculas de amilosa y, por consiguiente, una mayor tendencia a retrogradar de almidón.

El “setback” es el parámetro obtenido de la diferencia entre la viscosidad final y la viscosidad máxima; el mismo está íntimamente relacionado con la retrogradación del almidón, la cual ocurre cuando se enfría la pasta y se reordenan sus moléculas formando

pequeños agregados cristalinos insolubles; con este valor puede inferirse acerca de la textura del arroz cocido (Ávila, 2002). De acuerdo a los resultados obtenidos (Tabla 25), el “setback” disminuyó ($p < 0,05$) a los tres meses de almacenamiento. Con base a lo anterior, se puede inferir que este arroz almacenado podría ser menos suelto (más pegajoso o adhesivo), ya que la tendencia a retrogradar de su almidón fue menor. Tal y como se indicó para la viscosidad media, la posible interacción entre el almidón y otros componentes pudo disminuir la proporción del material intragranular lixiviado (amilosa) en las muestras almacenadas, en especial en las almacenadas por tres meses, las cuales presentaron también la mayor estabilidad. Al enfriar sus respectivas suspensiones, habría una menor tendencia a retrogradar, en vista de la menor cantidad de material lixiviado disponible para la asociación molecular.

La consistencia también está relacionada con el proceso de retrogradación del almidón de arroz, sin embargo, este parámetro se mide como la diferencia entre viscosidad final y viscosidad media. Al igual que para el “setback”, se obtuvo una reducción de la consistencia ($p < 0,01$) a partir de los tres meses de almacenamiento, posiblemente ocasionada por las razones ya indicadas para el “setback”.

En la Figura 23 se presentan los perfiles amilográficos de las muestras del cultivar D-Oryza. En la misma se aprecia que los amilogramas de las muestras almacenadas se ubicaron sobre el registro correspondiente a la muestra control, lo cual evidencia cambios en el comportamiento reológico del almidón; dichos cambios pudieron ocurrir por las interacciones del almidón con otros componentes no amiláceos durante el almacenamiento (Teo y col., 2000; Zhou y col., 2003 a y c; Patindol y col. 2005; Zhou y col., 2010, Tananuwong y Malila, 2011).

Los valores de viscosidad máxima fueron superiores al de la muestra control (tiempo cero) para todas las condiciones de almacenamiento consideradas en este

estudio (Fig. 23). Teo y col. (2000), Zhou y col. (2003 a y c) y Tananuwong y Malila (2011) explicaron este aumento de la viscosidad máxima por el incremento de la capacidad de hinchamiento de los gránulos de almidón durante el almacenamiento. Tananuwong y col. (2011) indican que un leve incremento en los enlaces disulfuro de la oryzenina puede reducir la solubilidad de la proteína y debilitar sus interacciones con el almidón, lo que conllevaría a un aumento en el hinchamiento de sus gránulos.

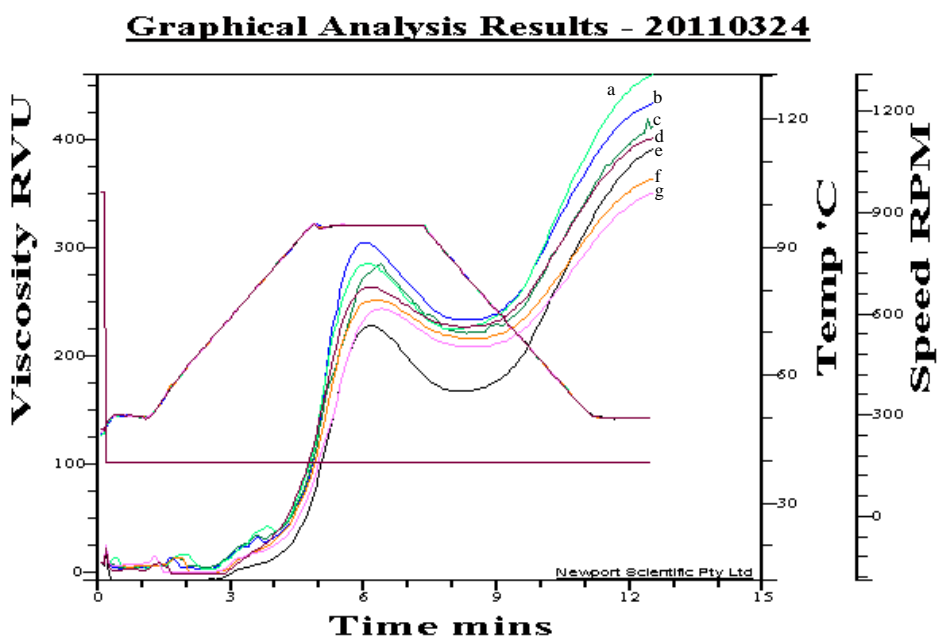


Figura 23. Perfiles amilográficos de las muestras del cultivar D-Oryza.

- Tiempo cero: color negro (e), 4 °C y mes y medio de almacenamiento: color verde oscuro (c), 4 °C y tres meses de almacenamiento: color morado claro (g), 32 °C y mes y medio de almacenamiento: verde claro (a), 32 °C y tres meses de almacenamiento: color marrón (d), 25 °C y mes y medio de almacenamiento: color azul (b), 25 °C y tres meses de almacenamiento: color naranja (f).

Otro de los hechos resaltantes de estos perfiles amilográficos es la reducción del “breakdown” (tendencia de la curva a disminuir durante el calentamiento a temperatura constante, en este caso, a 95°C) a los 3 meses de almacenamiento, lo cual denota que disminuyó la capacidad de ruptura de los gránulos después de la cocción con agitación (Zhou y col., 2003 a; Tananuwong y Malila, 2011). Lo anterior se debió, posiblemente, a una mayor organización de la estructura granular (Zhou y col., 2010), originada por la

interacción del almidón con otros componentes no amiláceos durante el almacenamiento. De acuerdo a Tananuwong y Malila (2011), un leve incremento en la fuerza y en la extensión de las redes proteicas, como consecuencia de la formación de los enlaces disulfuro, puede reducir la fragilidad de los gránulos de almidón hinchados.

Igualmente se aprecia que la viscosidad final disminuyó al incrementar el tiempo de almacenamiento, lo cual se reflejó en una reducción del “setback” y de la consistencia, tal y como se comentó anteriormente. Esta reducción indica que el almidón tuvo una menor tendencia a retrogradar, posiblemente por ese mayor ordenamiento granular que impidió la lixiviación de la amilosa durante el calentamiento (Zhou y col., 2003c, Zhou y col., 2007; Zhou y col., 2010) y, por ende, al haber menos amilosa disponible en el medio, hubo una menor tendencia a la asociación de sus moléculas durante el enfriamiento y, con ello, una menor retrogradación.

En la Tabla 26 se presentan los resultados obtenidos para cada parámetro del perfil amilográfico de las muestras del cultivar SD20A.

El efecto del factor tiempo de almacenamiento y la interacción temperatura x tiempo fue significativo ($p < 0,01$ y $p < 0,05$, respectivamente) sobre la viscosidad máxima, el “breakdown” y la viscosidad final (Tabla 27).

La temperatura de empaste (Tabla 28) incrementó ($p < 0,05$) a partir del tiempo mes y medio y luego se mantuvo constante a los tres meses de almacenamiento. Como se indicó para el cultivar D-Oryza, el aumento de esta temperatura reflejaría un mayor ordenamiento intragranular, producto de una posible interacción entre el almidón y otros compuestos, lo que podría conllevar a un incremento en el tiempo de cocción de estas muestras almacenadas.

Tabla 26. Parámetros del perfil amilográfico de las muestras de arroz del cultivar SD20A.

| Cultivar de arroz | Tiempo (meses) | T (°C) | Temperatura de empaste (°C) | Visc. máxima (RVU) | Visc. media (RVU) | “Breakdown” (RVU) | Visc. final (RVU) | “Setback” (RVU) | Consistencia (RVU) |
|-------------------|----------------|--------|-----------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|--------------------|
| SD20A | 0 | 25 | 65,00 ± 0,00 | 216,75 ± 0,00 | 159,33 ± 0,00 | 57,42 ± 0,00 | 387,33 ± 0,00 | 170,58 ± 0,0 | 228,00 ± 0,00 |
| | | 4 | 68,95 ± 2,19 | 288,04 ± 1,83 | 207,08 ± 1,30 | 80,96 ± 0,53 | 445,83 ± 9,43 | 157,79 ± 7,47 | 238,75 ± 8,13 |
| | 1,5 | 32 | 66,95 ± 0,64 | 284,42 ± 7,78 | 222,67 ± 3,54 | 61,75 ± 11,31 | 434,58 ± 20,15 | 150,17 ± 27,93 | 211,92 ± 16,62 |
| | | 4 | 65,73 ± 1,10 | 235,33 ± 12,96 | 194,67 ± 10,37 | 40,67 ± 2,59 | 324,13 ± 14,44 | 88,79 ± 1,47 | 129,46 ± 4,07 |
| | 3 | 32 | 68,48 ± 1,66 | 261,17 ± 5,18 | 211,13 ± 10,55 | 50,04 ± 5,36 | 377,38 ± 3,12 | 116,21 ± 2,06 | 166,25 ± 7,42 |

- Tiempo: tiempo de almacenamiento, T: temperatura de almacenamiento.
- Visc. : viscosidad, viscosidad máxima (P), viscosidad media (H), viscosidad final (C), “breakdown” = P – H; “setback” = C – P; consistencia = C - H.
- Cada valor representa la media ± la desviación estándar; la media es el promedio de dos determinaciones.

Tabla 27. Significación de los cuadrados medios de la viscosidad máxima (RVU), el “breakdown” (RVU) y la viscosidad final (RVU) de las muestras de arroz del cultivar SD20A.

| Cultivar de arroz | Fuente de variación | Grados de libertad | Visc. máxima (RVU) | “Breakdown” (RVU) | Visc. final (RVU) |
|-------------------|----------------------|--------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| SD20A | Temperatura | 1 | 3,16.10 ⁻³⁰ | 1,97.10 ⁻³¹ | 2,08.10 ⁻²⁵ |
| | Tiempo | 2 | 2.735,34 ** | 819,40 ** | 7.410,16 ** |
| | Temperatura x tiempo | 2 | 258,05 * | 212,31 * | 1.187,10 * |

- Visc. : viscosidad, viscosidad máxima (P), viscosidad media (H), “breakdown” = P – H.
- * Significativo a nivel de p < 0,05.
- ** Significativo a nivel de p < 0,01.

Tabla 28. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la temperatura de empaste (°C), la viscosidad media (RVU), el “setback” (RVU) y la consistencia (RVU) de las muestras de arroz del cultivar SD20A.

| Cultivar de arroz | Tiempo (meses) | Temperatura de empaste (°C) * | Visc. media (RVU) * | “Setback” (RVU) ** | Consistencia (RVU) * |
|-------------------|----------------|-------------------------------|---------------------|--------------------|----------------------|
| SD20A | 0 | 65,00 b | 159,33 b | 170,58 a | 228,00 a |
| | 1,5 | 67,95 a | 214,88 a | 153,98 a | 225,33 a |
| | 3 | 67,10 a | 202,90 a | 102,50 b | 147,85 b |

- Tiempo: tiempo de almacenamiento.
- Visc. : viscosidad, viscosidad máxima (P), viscosidad media (H), viscosidad final (C), “setback” = C – P, consistencia = C - H.
- Cada valor representa el promedio de 4 determinaciones, es decir, que para cada tiempo se calculó el promedio de los dos valores (promedio de dos réplicas) de las dos temperaturas.
- Los valores con al menos una letra en común en una misma columna son estadísticamente iguales a un nivel de significancia de 5% (*) y 1% (**) (p < 0,05 y p < 0,01).

En vista que se observó un efecto significativo (p < 0,05) de la interacción temperatura x tiempo para la viscosidad máxima, en la Figura 24 se muestra la variación de este parámetro durante el almacenamiento. La viscosidad máxima, al igual que lo observado para D-Oryza, incrementó al mes y medio de almacenamiento en las muestras a 4 °C y 32 °C y, entre ellas, prácticamente no hubo diferencia entre sus valores. A los tres meses, la viscosidad disminuyó y en la muestra a 4 °C su valor fue algo inferior al observado a 32 °C. Al igual que para D-Oryza, los cambios fueron un poco más evidentes en las muestras almacenadas a 4 °C y todos los valores obtenidos fueron superiores al de la muestra control (216,75 RVU); posiblemente, estos resultados

se debieron a algún tipo de interacción del almidón que favoreció el aumento de esta viscosidad durante el almacenamiento.

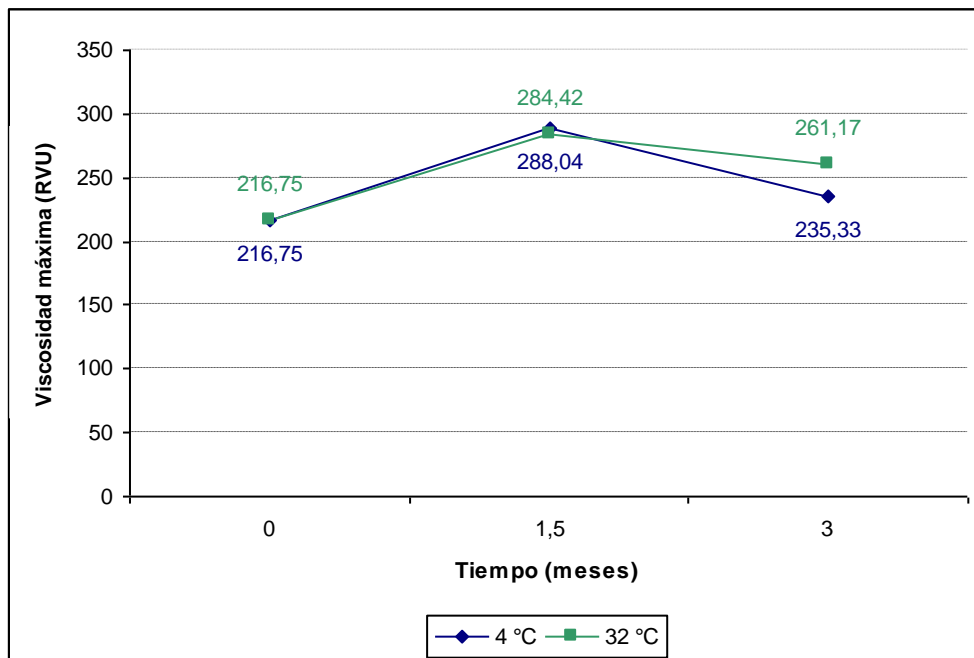


Figura 24. Variación de la viscosidad máxima (RVU) de las muestras almacenadas del cultivar SD20A.

La viscosidad media aumentó ($p < 0,01$) al mes y medio de almacenamiento, para luego mantenerse constante al tiempo tres meses (Tabla 28). Para este parámetro se observa la misma tendencia que tuvo el cultivar D-Oryza, posiblemente debido a la misma explicación de una mayor integridad granular por la interacción entre el almidón y otros compuestos.

En la Figura 25 se presenta la variación del “breakdown” durante el almacenamiento de las muestras del cultivar SD20A, en vista que la interacción de la temperatura x tiempo afectó significativamente ($p < 0,05$) a este parámetro. En la misma se puede apreciar que al incrementar el tiempo de almacenamiento a mes y medio se produjo un aumento del “breakdown”, siendo el mismo más notorio en la muestra mantenida a 4 °C. A los tres meses, los valores disminuyeron, siendo ligeramente

inferiores al del tiempo cero. La diferencia de los valores entre las temperaturas fue más evidente al mes y medio de almacenamiento. El valor obtenido al mes y medio para 4 °C fue algo puntual, que puede atribuirse a los cambios de la viscosidad máxima y la viscosidad media que lo originaron. La disminución a los tres meses de almacenamiento indica que hay una mayor estabilidad de los gránulos de almidón bajo estas condiciones de cocción, lo cual podría atribuirse a las razones indicadas para el caso de la viscosidad media (mayor integridad granular por la posible interacción del almidón con otros compuestos).

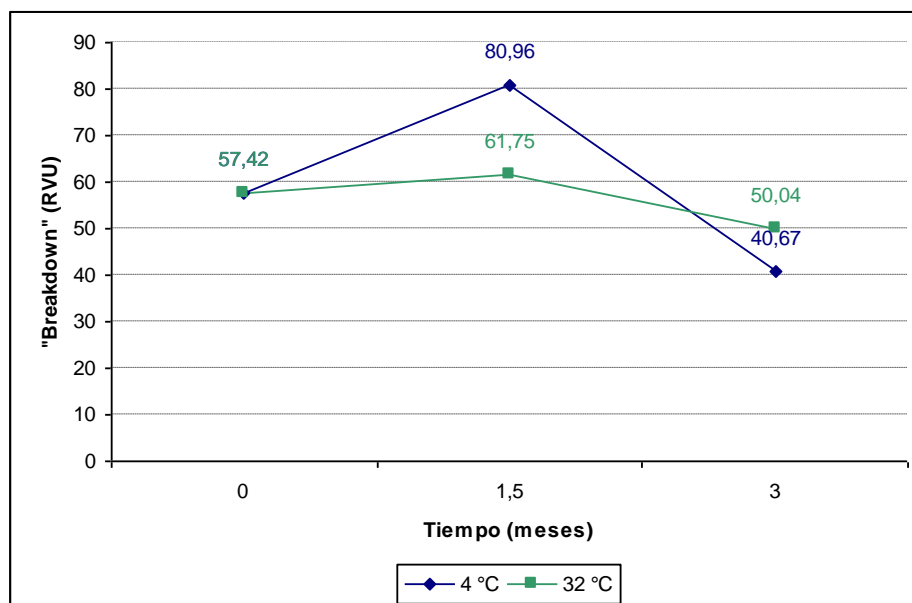


Figura 25. Variación del “breakdown” (RVU) de las muestras almacenadas del cultivar SD20A.

En la Figura 26 se aprecia la variación de la viscosidad final durante el almacenamiento de las muestras del cultivar SD20A, en vista que sobre este parámetro se obtuvo un efecto significativo ($p < 0,05$) de la interacción tiempo x temperatura (Tabla 27). En la misma se puede observar que la viscosidad final aumentó al mes y medio de almacenamiento, para luego disminuir a los 3 meses, siendo esta disminución más notoria en la muestra mantenida a 4°C. Este aumento observado al mes y medio

reflejaría un mayor grado de asociación entre las moléculas de amilosa y, por consiguiente, una mayor tendencia a retrogradar. Los valores observados a los tres meses de almacenamiento fueron inferiores al de la muestra control (387,33 RVU).

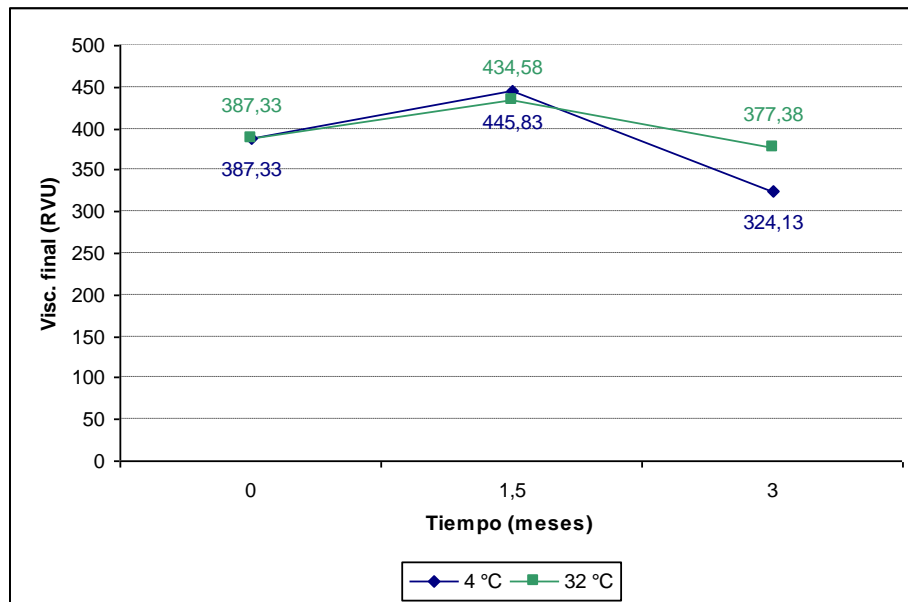


Figura 26. Variación de la viscosidad final (RVU) de las muestras almacenadas del cultivar SD20A.

El “setback” y la consistencia de las muestras almacenadas del cultivar SD20A disminuyeron ($p < 0,05$) a los 3 meses de almacenamiento (Tabla 28). De acuerdo a lo anterior, se puede inferir que este arroz almacenado podría ser menos suelto (más pegajoso o adhesivo), ya que la tendencia a retrogradar de su almidón fue menor. La posible interacción entre el almidón y otros componentes pudo disminuir la proporción del material intragranular lixiviado (amilosa) en las muestras almacenadas, en especial en las almacenadas por tres meses, al igual que lo observado con el cultivar D-Oryza; al enfriar sus respectivas suspensiones, habría una menor tendencia a retrogradar, por la menor cantidad de material lixiviado disponible para la asociación molecular.

En la Figura 27 se presentan los perfiles amilográficos de las muestras del cultivar SD20A; en la misma se aprecia que los amilogramas de las muestras

almacenadas se ubicaron sobre el amilograma de la muestra control, lo que reflejó las posibles interacciones del almidón con otros componentes que pudieron ocurrir durante el almacenamiento y que modificaron sus propiedades reológicas (Teo y col., 2000; Zhou y col., 2003 a y c; Patindol y col. 2005; Zhou y col., 2010, Tananuwong y Malila, 2011).

Todos los valores de viscosidad máxima fueron superiores al de la muestra control (tiempo cero) para las condiciones de almacenamiento consideradas en este estudio, lo cual se explicaría por el incremento del poder de hinchamiento de los gránulos de almidón (Teo y col., 2000; Zhou y col., 2003 a y c; Tananuwong y Malila, 2011).

La disminución del “breakdown” a los 3 meses, es otro de los aspectos más importantes de estos amilogramas y la misma obedece a una mayor organización de la estructura granular (Zhou y col., 2010), originada, posiblemente, por la interacción del almidón con otros componentes no amiláceos durante el almacenamiento.

Los valores de viscosidad final disminuyeron al incrementar el tiempo de almacenamiento, lo cual se reflejó en una reducción del “setback” y de la consistencia; lo anterior sugiere que el almidón tuvo una menor tendencia a retrogradar, posiblemente por ese mayor ordenamiento granular que impidió la lixiviación de la amilosa durante el calentamiento (Zhou y col., 2003c, Zhou y col., 2007; Zhou y col., 2010).

Es importante destacar que todos los resultados y observaciones anteriores se apreciaron también para el cultivar D-Oryza (Figura 23).

Graphical Analysis Results - 20110324

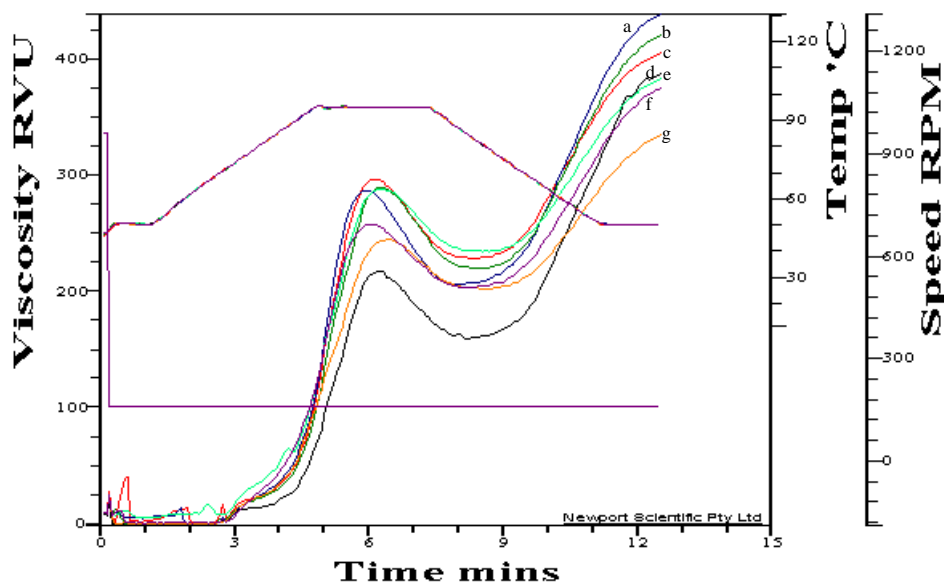


Figura 27. Perfiles amilográficos de las muestras del cultivar SD20A.

- Tiempo cero: color negro (d), 4 °C y mes y medio de almacenamiento: color azul (a), 4 °C y tres meses de almacenamiento: color naranja (g), 32 °C y mes y medio de almacenamiento: color verde oscuro (b), 32 °C y tres meses de almacenamiento: color morado (f), 25 °C y mes y medio de almacenamiento: color rojo (c), 25 °C y tres meses de almacenamiento: color verde claro (e).

La viscosidad final se correlacionó positivamente ($p < 0,01$) con el “setback” ($r = 0,74$), como lo muestra el Anexo A, Tabla A4; esto se debe a que este parámetro se calcula con la viscosidad final (“setback” = viscosidad final – viscosidad pico), es decir, que si la viscosidad final aumenta, el “setback” también aumenta. Asimismo, entre esta viscosidad y la consistencia (Anexo A, Tabla A4) estableció una correlación positiva ($r = 0,79$, $p < 0,01$), lo que refleja una relación similar a la ya indicada para la viscosidad final y el “setback”. También se encontró una correlación positiva ($p < 0,01$) del porcentaje de amilosa aparente con la viscosidad final ($r = 0,45$) y la consistencia ($r = 0,43$) (Anexo A, Tabla A2), lo que indica que si aumenta el contenido de amilosa, también aumentan la viscosidad final y la consistencia; sin embargo, estas correlaciones no fueron tan altas. Por último, se encontró una correlación positiva ($p < 0,01$) entre el “setback” y la consistencia ($r = 0,97$) (Anexo A, Tabla A4), ya que ambos parámetros

están asociados al proceso de retrogradación del almidón presente en el arroz, lo que significa que si el “setback” aumenta la consistencia también aumentará.

3 Evaluación de la calidad culinaria

3.1 Pruebas de cocción y análisis químico

La calidad culinaria está relacionada con el comportamiento del arroz luego de la cocción y es el resultado de una serie de factores físicos, como su volumen después de la cocción, químicos, como su contenido de humedad y sensoriales, como su adhesividad o elasticidad al ser masticado; la misma está determinada por el efecto interdependiente de varios factores, entre los cuales está el manejo post-cosecha (secado, almacenamiento, entre otros) (Windham y col., 1997; Champagne y col., 1998; Kim y col., 2000; Lyon y col., 2000; Suwansri y Meullenet, 2004; Mohapatra y Bal, 2006). La calidad culinaria dependerá de la región en la cual este grano sea consumido; para el venezolano, los granos de arroz deben ser de grano largo, sueltos, secos y de textura suave para ser aceptados (Ávila, 2001).

En la Tabla 29 se presentan los parámetros resultantes de las pruebas de cocción, así como el contenido de humedad de las muestras de arroz cocido del cultivar D-Oryza.

El efecto del factor tiempo de almacenamiento fue estadísticamente significativo ($p < 0,01$) sobre la relación de absorción de agua (R_w), la relación de expansión volumétrica (R_{ev}) y el contenido de humedad del arroz cocido (Tabla 30).

Tabla 29. Parámetros obtenidos de las pruebas de cocción y el contenido de humedad de las muestras de arroz cocidas del cultivar D-Oryza.

| Cultivar de arroz | Tiempo (meses) | T (°C) | Tc (min) | Rw | Rev | Humedad del arroz cocido (%) |
|-------------------|----------------|--------|--------------|-------------|-------------|------------------------------|
| D-Oryza | 0 | 25 | 20,00 ± 0,00 | 3,58 ± 0,14 | 3,63 ± 0,15 | 85,37 ± 0,66 |
| | | 4 | 21,00 ± 0,00 | 3,10 ± 0,10 | 3,23 ± 0,06 | 83,70 ± 0,88 |
| | 1,5 | 32 | 21,00 ± 0,00 | 3,17 ± 0,09 | 3,30 ± 0,10 | 83,15 ± 0,27 |
| | | 4 | 21,00 ± 0,00 | 3,07 ± 0,07 | 2,83 ± 0,06 | 83,02 ± 0,25 |
| | 3 | 4 | 21,00 ± 0,00 | 3,07 ± 0,07 | 2,83 ± 0,06 | 83,02 ± 0,25 |
| | | 32 | 21,50 ± 0,00 | 3,28 ± 0,06 | 2,80 ± 0,10 | 81,58 ± 0,56 |

- Tiempo: tiempo de almacenamiento, T: temperatura de almacenamiento.
- Tc: tiempo de cocción; Rw: relación de absorción de agua; Rev: relación de expansión volumétrica.
- Cada valor representa la media ± la desviación estándar; la media es el promedio de tres determinaciones.

Tabla 30. Significación de los cuadrados medios de la relación de expansión volumétrica, la relación de absorción de agua y del contenido de humedad de las muestras de arroz cocidas del cultivar D-Oryza.

| Cultivar de arroz | Fuente de variación | Grados de libertad | Rw | Rev | Humedad del arroz cocido (%) |
|-------------------|----------------------|--------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|
| D-Oryza | Temperatura | 1 | 3,28.10 ⁻²⁹ | 8,07.10 ⁻³⁰ | 2,12.10 ⁻²⁷ |
| | Tiempo | 2 | 0,24 ** | 0,48** | 4,40 ** |
| | Temperatura x tiempo | 2 | 0,017 | 0,004 | 0,80 |

- Rw: relación de absorción de agua; Rev: relación expansión volumétrica.
- * Significativo a nivel de $p < 0,05$.
- ** Significativo a nivel de $p < 0,01$.

El tiempo de cocción de las muestras del cultivar D-Oryza (Tabla 31) incrementó ($p < 0,01$) al mes y medio de almacenamiento, para luego mantenerse constante a los tres meses. La posible interacción entre el almidón con otros compuestos durante el almacenamiento generó una estructura más organizada, lo cual se evidenció con el aumento de la temperatura de empaste de las muestras de D-Oryza (Tabla 28). Como consecuencia de lo anterior, se dificultó la penetración del agua a los gránulos de almidón y, por ende, el normal desarrollo del proceso de gelatinización, que además requirió de un mayor suministro de energía para desestabilizar estas estructuras. Todo lo anterior derivó en un aumento del tiempo de cocción para lograr los cambios a nivel granular e intragranular requeridos para obtener el grado de cocción adecuado del arroz;

este resultado ya se había inferido al considerar la discusión de la temperatura de empaste de estas muestras. Los hallazgos de otros investigadores (Teo y col., 2000; Zhou y col., 2003 c; Zhou y col., 2010; Tananuwang y col.; 2011) permiten apoyar estos hechos.

Es importante resaltar que el aumento de este tiempo podría no ser tan importante desde el punto de vista práctico (Tabla 31). Otros autores (Pushpamma y Reddy, 1979) han encontrado un incremento del tiempo de cocción entre 4 y 6 minutos en muestras de arroz almacenadas.

Tabla 31. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre los parámetros obtenidos de las pruebas de cocción y el contenido de humedad de las muestras de arroz cocidas del cultivar D-Oryza.

| Cultivar de arroz | Tiempo (meses) | Tc (min) ** | Rw ** | Rev ** | Humedad del arroz cocido (%) ** |
|-------------------|----------------|-------------|--------|--------|---------------------------------|
| D-Oryza | 0 | 20,00 b | 3,58 a | 3,63 a | 85,37 a |
| | 1,5 | 21,00 a | 3,11 b | 3,27 b | 83,43 b |
| | 3 | 21,25 a | 3,08 b | 2,82 c | 82,30 b |

- Tiempo: tiempo de almacenamiento.
- Tc: tiempo de cocción; Rw: relación de absorción de agua; Rev: relación expansión volumétrica.
- Cada valor representa el promedio de 6 determinaciones, es decir, que para cada tiempo se calculó el promedio de los dos valores (promedio de tres réplicas) de las dos temperaturas.
- Los valores con al menos una letra en común en una misma columna son estadísticamente iguales a un nivel de significancia de 1% (**) ($p < 0,01$).

La absorción de agua en el grano de arroz está relacionada con dos procesos. El primero es la difusión del agua hacia el interior del grano, el cual ocurre por un gradiente de humedad que existe entre la superficie y el centro (Bello y col., 2005); esta difusión depende de pequeñas fisuras presentes en el endospermo y que funcionan como microcanales para la migración de agua en el grano (Ogawa y col., 2003). El otro proceso es la interacción que ocurre entre el agua y el almidón, una vez que las moléculas de agua poseen la energía cinética suficiente como para superar las fuerzas de atracción entre las moléculas de almidón, a través de enlaces de hidrógeno; este proceso es la gelatinización. Para que el mismo ocurra, debe alcanzarse un estado de excitación

de las moléculas de agua y esto se logra incrementando la temperatura hasta un punto determinado (temperatura de gelatinización) (Zhou y col., 2002). De acuerdo a lo anterior, la absorción de agua y el hinchamiento de los granos de arroz dependerá, tanto de las fisuras presentes en ellos, como de la temperatura de gelatinización.

La relación de absorción de agua disminuyó ($p < 0,01$) a los 45 días de almacenamiento, para luego permanecer constante hasta los tres meses, mientras que la relación de expansión volumétrica disminuyó continuamente ($p < 0,01$) durante todo el almacenamiento (Tabla 31). Esta disminución de la cantidad de agua absorbida y del volumen de los granos de arroz cocidos de las muestras almacenadas pudo ser el resultado del ordenamiento granular producto de la interacción del almidón con otros constituyentes no amiláceos, lo que se tradujo en un menor hinchamiento de los mismos y, por ende, en un menor volumen. Es importante destacar que las variaciones, si bien fueron significativas desde el punto de vista estadístico, a la vez fueron leves y pudieran no ser importantes desde el punto de vista de aplicabilidad práctica.

El contenido de humedad para el cultivar D-Oryza (Tabla 31) disminuyó ($p < 0,01$) al mes y medio de almacenamiento y se mantuvo constante a los tres meses. Cabe destacar que el alto contenido de humedad de las muestras de arroz cocido puede deberse al método de cocción utilizado, en el que se empleó una relación de arroz/agua 1:25, es decir, una cocción en exceso de agua; este método se utilizó por la cantidad limitada de muestra disponible (Sección 2.4 de materiales y métodos). La reducción del contenido de humedad del arroz cocido de las muestras almacenadas a 45 y 90 días puede explicarse por la menor cantidad de agua absorbida por sus granos (Tabla 31), lo cual se produjo como consecuencia de la posible interacción del almidón con otros componentes durante el almacenamiento, tal y como se indicó con anterioridad.

En la Tabla 32 se presentan los resultados obtenidos de las pruebas de cocción y el contenido de humedad del arroz cocido de las muestras del cultivar SD20A.

Tabla 32. Parámetros obtenidos de las pruebas de cocción y contenido de humedad de las muestras de arroz del cultivar SD20A.

| Cultivar de arroz | Tiempo (meses) | T (°C) | Tc (min) | Rw | Rev | Humedad del arroz cocido (%) |
|-------------------|----------------|--------|--------------|-------------|-------------|------------------------------|
| SD20A | 0 | 25 | 21,00 ± 0,00 | 3,46 ± 0,12 | 3,53 ± 0,15 | 85,66 ± 0,18 |
| | | 4 | 22,00 ± 0,00 | 3,18 ± 0,05 | 3,37 ± 0,06 | 82,70 ± 0,78 |
| | 1,5 | 32 | 22,00 ± 0,00 | 3,28 ± 0,04 | 3,40 ± 0,00 | 83,37 ± 0,52 |
| | | 4 | 22,50 ± 0,00 | 3,11 ± 0,04 | 2,77 ± 0,12 | 81,24 ± 0,54 |
| | 3 | 32 | 22,00 ± 0,00 | 3,16 ± 0,06 | 2,87 ± 0,06 | 82,75 ± 0,34 |

- Tiempo: tiempo de almacenamiento, T: temperatura de almacenamiento.
- Tc: tiempo de cocción; Rw: relación de absorción de agua, Rev: relación de expansión volumétrica.
- Cada valor representa la media ± la desviación estándar; la media es el promedio de tres determinaciones.

El factor tiempo de almacenamiento tuvo un efecto significativo ($p < 0,01$) sobre la relación de absorción de agua (Rw) y el contenido de humedad del arroz cocido. Igualmente, sobre este último parámetro, hubo un efecto significativo ($p < 0,05$) de la interacción de los factores tiempo y temperatura (Tabla 33).

Tabla 33. Significación de los cuadrados medios de la relación de absorción de agua y del contenido de humedad del arroz cocido de las muestras de arroz del cultivar SD20A.

| Cultivar de arroz | Fuente de variación | Grados de libertad | Rw | Humedad del arroz cocido (%) |
|-------------------|----------------------|--------------------|-----------------------|------------------------------|
| SD20A | Temperatura | 1 | $3,33 \cdot 10^{-29}$ | $2,10 \cdot 10^{-27}$ |
| | Tiempo | 2 | 0,11 ** | 15,24 ** |
| | Temperatura x tiempo | 2 | 0,004 | 0,86 * |

- Rw: relación de absorción de agua.
- * Significativo a nivel de $p < 0,05$.
- ** Significativo a nivel de $p < 0,01$.

El tiempo de cocción incrementó ($p < 0,01$) al mes y medio de almacenamiento, para luego mantenerse constante a los tres meses (Tabla 34). Al igual que para el cultivar D-Oryza, en estas muestras se generó una estructura más organizada, producto

de una posible interacción del almidón con otros componentes durante el almacenamiento, lo cual se evidenció con el aumento de su temperatura de empaste. Debido a lo anterior, el proceso de gelatinización resultó afectado por la dificultad de acceso del agua a los gránulos de almidón y, además, porque se requirió de una mayor cantidad de energía para desestabilizar esta estructura y así poder lograr el grado de cocción apropiado, lo que se tradujo en un aumento del tiempo del proceso, o sea, del tiempo de cocción. Los resultados obtenidos en otros estudios (Teo y col., 2000; Zhou y col., 2003 c; Zhou y col., 2010; Tananuwang y col.; 2011) respaldan las explicaciones anteriores.

Al igual que D-Oryza, el incremento de poco más de un minuto el cual podría no ser tan importante desde el punto de vista práctico.

Tabla 34. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre los parámetros obtenidos de la prueba de cocción de las muestras de arroz del cultivar SD20A.

| Cultivar de arroz | Tiempo (meses) | Tc (min) ** | Rw ** | Rev ** |
|-------------------|----------------|-------------|--------|---------|
| | 0 | 21,00 b | 3,46 a | 3,53 a |
| SD20A | 1,5 | 22,00 a | 3,23 b | 3,39 ab |
| | 3 | 22,25 a | 3,14 b | 2,82 b |

- Tiempo: tiempo de almacenamiento.
- Tc: tiempo de cocción; Rw: relación de absorción de agua; Rev: relación de expansión volumétrica.
- Cada valor representa el promedio de 6 determinaciones, es decir, que para cada tiempo se calculó el promedio de los dos valores (promedio de tres replicas) de las dos temperaturas.
- Los valores con al menos una letra en común en una misma columna son estadísticamente iguales a un nivel de significancia de 1% (**) ($p < 0,01$).

La relación de absorción de agua disminuyó ($p < 0,01$) a los 45 días de almacenamiento, para luego permanecer constante a los 60 días (Tabla 34), mientras que la relación de expansión volumétrica disminuyó ($p < 0,01$) a los 60 días (Tabla 34). Es posible que estos resultados estén relacionados, al igual que para D-Oryza, con la posible interacción del almidón con otros componentes durante el almacenamiento, lo

que condujo a un menor hinchamiento del grano de arroz y, en consecuencia, a un menor volumen del mismo.

En la Figura 28 pueden apreciarse los valores obtenidos para el contenido de humedad del arroz cocido del cultivar SD20A, en vista que el factor interacción tiempo x temperatura fue significativo ($p < 0,05$) para el mismo (Tabla 33); al aumentar el tiempo de almacenamiento, disminuyó ligeramente el contenido de humedad. Los valores entre las muestras almacenadas a 4 °C y 32 °C para ambos tiempos fueron levemente diferentes. La reducción en el contenido de humedad del arroz cocido de las muestras almacenadas a 45 y 90 días puede explicarse por la menor absorción de agua de sus granos (Tabla 34), producto de la posible interacción del almidón con otros componentes durante el almacenamiento.

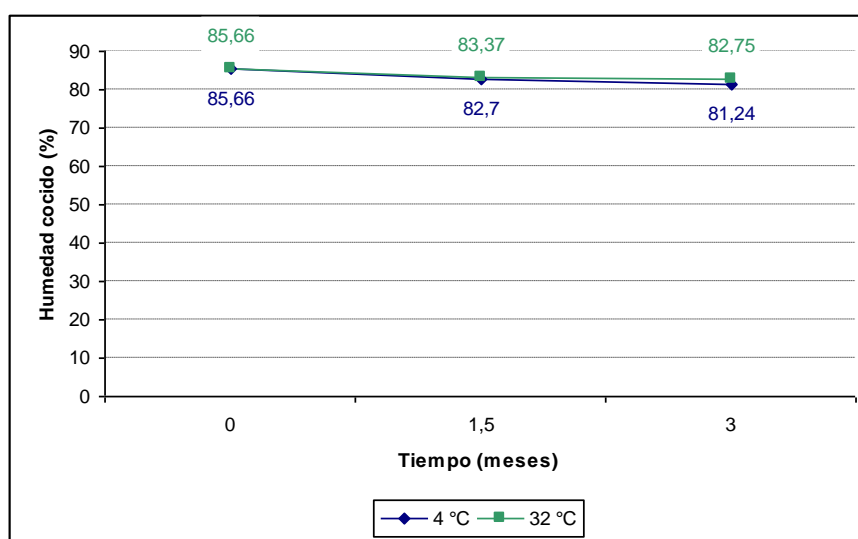


Figura 28. Variación del contenido de humedad de arroz cocido (%) de las muestras de arroz del cultivar SD20A.

En resumen, el almacenamiento de las muestras de los cultivares D-Oryza y SD20A produjo una reducción de la relación de absorción de agua, la relación de expansión volumétrica y del contenido de humedad de sus muestras cocidas y un

incremento del tiempo de cocción, lo cual pudo ser el reflejo de la posible interacción entre el almidón y otros componentes ocurrida durante el mismo.

Se encontró una correlación positiva ($p < 0,01$) entre el tiempo de cocción y la temperatura de empaste ($r = 0,46$), lo que permite reforzar lo indicado con anterioridad, que un incremento en la temperatura de empaste se reflejó en un aumento del tiempo de cocción. Asimismo, se determinó que existe una correlación positiva entre la relación de absorción de agua con la relación de expansión volumétrica ($r = 0,76$, $p < 0,01$) y con el contenido de humedad del arroz cocido ($r = 0,72$, $p < 0,01$), lo que significa que al haber una mayor absorción de agua, los granos de arroz desarrollan más volumen y tienen más humedad. Finalmente, la relación de expansión volumétrica tuvo una correlación positiva ($p < 0,01$) con el contenido de humedad del arroz cocido ($r = 0,82$), lo cual se explicaría porque al haber un mayor volumen de los granos, producto de su mayor hinchamiento por la mayor absorción de agua, presentan un mayor contenido de humedad. Todos estos valores pueden visualizarse en el Anexo A, Tabla A5.

3.2 Análisis físicos

3.2.1 Perfil de textura

La textura del arroz cocido es uno de los atributos más importantes que determinan su aceptación por parte del consumidor. Si bien la textura es multidimensional, la dureza, la adhesividad, la cohesividad y la elasticidad son algunos los parámetros que se consideran para evaluar la calidad del arroz (Zhou y col., 2007).

Para obtener los parámetros antes mencionados, debe generarse un perfil de textura con un analizador de textura; para este estudio se utilizó el modelo TA-XT2, que tiene un software para medir cualquier parámetro de textura. El equipo realiza la simulación de dos mordidas a los granos de arroz, usando una celda de 5 kg y, como resultado, se obtiene una gráfica de tiempo vs fuerza.

Los parámetros del perfil de textura de las muestras de cada cultivar se determinaron a partir de las gráficas obtenidas para cada uno de los tiempos y temperaturas de almacenamiento; en el Anexo C, Figuras C3 y C4, se muestran algunas de ellas.

En la Tabla 35 se presentan los parámetros obtenidos del perfil de textura de las muestras cocidas del cultivar D-Oryza.

Tabla 35. Parámetros del perfil de textura de las muestras cocidas del cultivar D-Oryza.

| Cultivar de arroz | Tiempo (meses) | T (°C) | Dureza (g) | Adhesividad | Cohesividad | Elasticidad |
|-------------------|----------------|-----------|-------------------|-----------------|-------------|-------------|
| D-Oryza | 0 | 25 | 4.992,03 ± 98,14 | -176,13 ± 34,37 | 0,32 ± 0,01 | 2,68 ± 0,13 |
| | | 4 | 4.877,47 ± 131,67 | -255,09 ± 40,59 | 0,33 ± 0,01 | 3,04 ± 0,31 |
| | 1,5 | 32 | 5.150,49 ± 119,27 | -211,53 ± 75,08 | 0,34 ± 0,00 | 3,05 ± 0,10 |
| | | 4 | 5.006,64 ± 20,83 | -262,10 ± 11,51 | 0,34 ± 0,01 | 3,41 ± 0,06 |
| | 3 | 32 | 5.091,31 ± 32,60 | -248,20 ± 1,69 | 0,33 ± 0,00 | 2,96 ± 0,18 |

- Tiempo: tiempo de almacenamiento, T: temperatura de almacenamiento.
- Cada valor representa la media ± la desviación estándar; la media es el promedio de tres determinaciones.
- Esta prueba se realizó con 10 granos atemperados en cada determinación.

La dureza, desde el punto de vista sensorial, es la fuerza necesaria para comprimir la muestra con los molares. Dicho parámetro se obtiene del perfil de textura como la altura máxima de la primera curva registrada por el texturómetro (Lyon y col., 2000; Juliano, 2003). En la Tabla 36 se puede observar que ninguno de los factores considerados afectó significativamente a la dureza. Aunque no fue significativo, se observó un leve aumento de este parámetro durante el almacenamiento (Tabla 35); muchos autores han reportado un incremento de la dureza al aumentar el tiempo de almacenamiento (Zhou y col., 2002; Zhou y col., 2007; Tananuwong y Malila, 2011).

La adhesividad es la fuerza requerida para separar los granos individuales que se adhieren unos a otros (Lyon y col., 2000; Juliano, 2003); en el perfil de textura, es el área negativa de la primera curva, representando el trabajo de separar la celda de la

muestra después de la primera compresión (Juliano, 2003). Como se indica en la Tabla 36, ninguno de los factores considerados afectaron significativamente a la adhesividad, aunque hubo una tendencia a su incremento al aumentar el tiempo de almacenamiento (Tabla 35), tal vez relacionado con el alto contenido de humedad, producto del método de cocción utilizado y/o a la menor tendencia a retrogradar de las muestras almacenadas.

En la Tabla 36 se puede apreciar que el efecto del tiempo de almacenamiento fue significativo para la cohesividad ($p < 0,05$) y la elasticidad ($p < 0,01$).

Tabla 36. Significación de los cuadrados medios de los parámetros del perfil de textura de las muestras cocidas del cultivar D-Oryza.

| Cultivar de arroz | Fuente de variación | Grados de libertad | Dureza (g) | Adhesividad | Cohesividad | Elasticidad |
|-------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| D-Oryza | Temperatura | 1 | $3,50 \cdot 10^{-23}$ | $3,34 \cdot 10^{-26}$ | $8,20 \cdot 10^{-31}$ | $8,15 \cdot 10^{-30}$ |
| | Tiempo | 2 | 15.011,57 | 6.837,21 | $2,10 \cdot 10^{-4}$ * | 0,40 ** |
| | Temperatura x tiempo | 2 | 29.297,53 | 742,45 | $1,20 \cdot 10^{-4}$ | 0,10 |

- * Significativo a nivel de $p < 0,05$.
- ** Significativo a nivel de $p < 0,01$.

La cohesividad es el grado en el cual los granos se deforman en lugar de desmenuzarse, agrietarse o romperse con la compresión de los molares (Lyon y col., 2000; Juliano, 2003; Mohapatra y Bal, 2006) y se obtiene del perfil de textura al establecer la relación del área de la segunda compresión entre el área de la primera compresión (Lyon y col., 2000; Juliano, 2003). La cohesividad aumentó ($p < 0,05$) a los 45 días de almacenamiento, para luego mantenerse constante (Tabla 37) a los tres meses. Este leve aumento pudo deberse, posiblemente, a la mayor cantidad de material no solubilizado (proteínas y almidón) generado por las interacciones durante el almacenamiento (Zhou y col., 2007).

Tabla 37. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la elasticidad y la cohesividad de las muestras cocidas del cultivar D-Oryza.

| Cultivar de arroz | Tiempo (meses) | Cohesividad * | Elasticidad ** |
|-------------------|----------------|---------------|----------------|
| | 0 | 0,32 b | 2,68 c |
| D-Oryza | 1,5 | 0,33 a | 3,05 b |
| | 3 | 0,33 a | 3,19 a |

- Tiempo: tiempo de almacenamiento.
- Cada valor representa el promedio de 6 determinaciones, es decir, que para cada tiempo se calculó el promedio de los dos valores (promedio de tres réplicas) de las dos temperaturas.
- Los valores con al menos una letra en común en una misma columna son estadísticamente iguales a un nivel de significancia de 5% (*) y 1% (**) ($p < 0,05$ y $p < 0,01$).

Se entiende por elasticidad del arroz al grado en el cual los granos retornan a su tamaño original después de una compresión parcial y se obtiene, a partir del perfil de textura, como la relación de la distancia recorrida por la celda entre las dos curvas (Lyon y col., 2000; Juliano, 2003). La elasticidad aumentó ($p < 0,01$) al incrementar el tiempo de almacenamiento (Tabla 37). Estos resultados indicarían que los granos presentaron, en principio, una mayor capacidad de retomar su tamaño original después de la compresión parcial.

En la Tabla 38 se muestran los parámetros del perfil de textura para las muestras cocidas del cultivar SD20A.

Tabla 38. Parámetros del perfil de textura de las muestras cocidas del cultivar SD20A.

| Cultivar de arroz | Tiempo (meses) | T (°C) | Dureza (g) | Adhesividad | Cohesividad | Elasticidad |
|-------------------|----------------|--------|-------------------|-----------------|-------------|--------------|
| SD20A | 0 | 25 | 4.793,41 ± 178,5 | -192,79 ± 37,43 | 0,29 ± 0,01 | 2,56 ± 0,13 |
| | | 4 | 4.734,04 ± 169,42 | -216,69 ± 13,96 | 0,32 ± 0,01 | 3,12 ± 0,01 |
| | 1,5 | 32 | 5.135,75 ± 144,45 | -216,77 ± 65,04 | 0,32 ± 0,01 | 3,35 ± 0,19 |
| | | 4 | 4.855,18 ± 7,69 | -228,68 ± 41,09 | 0,32 ± 0,00 | 2,95 ± 0,08 |
| | 3 | 4 | 4.912,54 ± 82,64 | -250,54 ± 23,55 | 0,31 ± 0,01 | 2,977 ± 0,07 |
| | | 32 | | | | |

- Tiempo: tiempo de almacenamiento, T: temperatura de almacenamiento.
- Cada valor representa la media ± la desviación estándar; la media es el promedio de tres determinaciones.
- Esta prueba se realizó con 10 granos atemperados en cada determinación.

De los factores evaluados, solo el tiempo de almacenamiento tuvo un efecto significativo sobre la cohesividad y la elasticidad ($p < 0,01$), mientras que para la dureza

y la adhesividad, no hubo influencia alguna del tiempo y de la temperatura de almacenamiento y de su interacción (Tabla 39), si bien, para ambos parámetros, se observó una tendencia al aumento; para el caso de adhesividad, el mismo pudiera obedecer a la menor tendencia a retrogradar de las muestras almacenadas y/o al alto contenido de humedad producto del método de cocción utilizado.

Tabla 39. Significación de los cuadrados medios de los parámetros del perfil de textura de las muestras cocidas del cultivar SD20A.

| Cultivar de arroz | Fuente de variación | Grados de libertad | Dureza (g) | Adhesividad | Cohesividad | Elasticidad |
|-------------------|----------------------|--------------------|-----------------|-----------------|-------------------|-----------------|
| SD20A | Temperatura | 1 | $8,96.10^{-24}$ | $1,35.10^{-25}$ | $3,36.10^{-32}$ | $1,42.10^{-32}$ |
| | Tiempo | 2 | 11.007,93 | 1.001,29 | $6,30.10^{-4}$ ** | 0,25 ** |
| | Temperatura x tiempo | 2 | 70.811,52 | 137,99 | $6,67.10^{-5}$ | 0,02 |

- * Significativo a nivel de $p < 0,05$.
- ** Significativo a nivel de $p < 0,01$.

La cohesividad aumentó ($p < 0,01$) a los 45 días de almacenamiento y luego se mantuvo constante (Tabla 40). Este leve aumento, tal y como ocurrió para D-Oryza, pudo deberse a la mayor cantidad de material no solubilizado que se genera por las interacciones durante el almacenamiento (Zhou y col., 2007).

La elasticidad aumentó ($p < 0,01$) al mes y medio de almacenamiento y luego se mantuvo constante a los tres meses (Tabla 40). Este aumento al mes y medio indica que estos granos almacenados presentaron una mayor capacidad de retomar su tamaño original, luego de la compresión parcial.

El aumento leve en los valores de dureza, adhesividad, cohesividad y elasticidad en las muestras almacenadas y cocinadas de los cultivares D-Oryza y SD20A, pudieran no tener importancia desde el punto de vista práctico.

Tabla 40. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre la cohesividad y la elasticidad de las muestras de arroz del cultivar SD20A.

| Cultivar de arroz | Tiempo (meses) | Cohesividad ** | Elasticidad ** |
|-------------------|----------------|----------------|----------------|
| | 0 | 0,29 b | 2,56 b |
| SD20A | 1,5 | 0,32 a | 3,12 a |
| | 3 | 0,32 a | 2,95 a |

- Tiempo: tiempo de almacenamiento.
- Cada valor representa el promedio de 6 determinaciones, es decir, que para cada tiempo se calculó el promedio de los dos valores (promedio de tres réplicas) de las dos temperaturas.
- Los valores con al menos una letra en común en una misma columna son estadísticamente iguales a un nivel de significancia de 5% (*) y 1% (**) ($p < 0,05$ y $p < 0,01$).

La adhesividad se correlacionó positivamente ($p < 0,01$) con la relación de expansión volumétrica ($r = 0,63$), la relación de absorción de agua ($r = 0,64$) y con el contenido de humedad del arroz cocido ($r = 0,58$) (Anexo A, Tabla A6), lo cual permitiría asociar una mayor adhesividad de las muestras cocidas con la cantidad de agua que haya absorbido el arroz y sus parámetros relacionados.

3.2.2 Color

En la Tabla 41 se presentan los parámetros de color, el índice de blancura (WIC) y la diferencia total de color (ΔE) de las muestras de arroz cocido del cultivar D-Oryza.

El parámetro L^* incrementó ($p < 0,01$) al aumentar el tiempo de almacenamiento (Tabla 42). Este aumento se observó también en el arroz pulido (Tabla 18). Los valores de L^* después de la cocción fueron superiores a los observados en las muestras de arroz pulido, probablemente por la absorción de agua que ocurre al cocinar los granos y que, finalmente, les podría proporcionar más luminosidad o a la posible lixiviación de pigmentos y/u otros compuestos del endospermo al agua de cocción; estas tendencias han sido reportadas por otros investigadores (Sánchez, 2006; Lamberts y col., 2007; Villamizar, 2008).

Tabla 41. Parámetros de color, índice de blancura (WIC) y diferencia total de color (ΔE) de las muestras de arroz cocido del cultivar D-Oryza.

| Cultivar de arroz | Tiempo (meses) | T (°C) | L* | a* | b* | WIC | ΔE |
|-------------------|----------------|--------|--------------|--------------|-------------|--------------|------------|
| D-Oryza | 0 | 25 | 73,25 ± 0,26 | -1,62 ± 0,05 | 3,01 ± 0,30 | 71,86 ± 0,23 | |
| | | 4 | 76,75 ± 0,70 | -1,48 ± 0,08 | 7,32 ± 0,25 | 75,58 ± 0,59 | 5,58 |
| | 1,5 | 32 | 78,22 ± 0,61 | -1,45 ± 0,02 | 7,38 ± 0,09 | 76,96 ± 0,61 | 6,64 |
| | | 4 | 78,44 ± 0,51 | -1,53 ± 0,03 | 7,45 ± 0,21 | 77,14 ± 0,54 | 6,85 |
| | 3 | 32 | 79,52 ± 0,35 | -1,54 ± 0,02 | 7,51 ± 0,11 | 78,13 ± 0,29 | 7,73 |

- Tiempo: tiempo de almacenamiento, T: temperatura de almacenamiento.
- WIC: índice de blancura, ΔE : diferencia total de color.
- $WI = 100 - \sqrt{(100 - L)^2 + a^2 + b^2}$, $L = L^*$; $a = a^*$ y $b = b^*$ de cada uno de los tiempos y las temperaturas de almacenamiento (Leelayuthsoontorn y Thipayarat, 2006).
- $\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$ siendo $\Delta L = L^*$ del tiempo de almacenamiento - L^* del tiempo cero, $\Delta a = a^*$ del tiempo de almacenamiento - a^* del tiempo cero, $\Delta b = b^*$ del tiempo de almacenamiento - b^* del tiempo cero (Good, 2002).
- Cada valor representa la media ± la desviación estándar; la media es el promedio de tres determinaciones.

Tabla 42. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre los parámetros de color y el índice de blancura (WIC) de las muestras de arroz cocido del cultivar D-Oryza.

| Cultivar de arroz | Tiempo (meses) | L* ** | a* ** | b* ** | WIC ** |
|-------------------|----------------|---------|----------|--------|---------|
| D-Oryza | 0 | 73,24 c | -1,62 b | 3,01 b | 71,86 b |
| | 1,5 | 77,49 b | -1,47 a | 7,35 a | 76,27 a |
| | 3 | 78,98 a | -1,54 ab | 7,48 a | 77,64 a |

- Tiempo: tiempo de almacenamiento.
- Cada valor representa el promedio de 6 determinaciones, es decir, que para cada tiempo se calculó el promedio de los dos valores (promedio de tres réplicas) de las dos temperaturas.
- Los valores con al menos una letra en común en una misma columna son estadísticamente iguales a un nivel de significancia de 1% (**) ($p < 0,01$).

En la Tabla 42 se puede apreciar que el parámetro a^* disminuyó ($p < 0,01$) con el tiempo de almacenamiento, mostrando una tendencia diferente a la encontrada en el arroz pulido (la cual fue un aumento que se mantuvo luego de tres meses de almacenamiento) (Tabla 18). Estos cambios pudieron ser algo puntual, además fueron muy leves y tal vez no perceptibles.

El parámetro b^* aumentó ($p < 0,01$) a los 45 días de almacenamiento para luego mantenerse constante a los tres meses (Tabla 42); esta misma tendencia se observó para el arroz pulido (Tabla 18). Los valores obtenidos en las muestras cocidas fueron

menores a los encontrados en el arroz pulido (Sánchez, 2006; Lamberts y col., 2007; Villamizar, 2008), lo cual ocurrió, posiblemente, a la lixiviación de pigmentos y otros compuestos del endospermo hacia el agua de cocción.

El índice de blancura incrementó ($p < 0,01$) al aumentar el tiempo de almacenamiento a 45 días y luego se mantuvo constante a los 3 meses (Tabla 42). Esta tendencia también se observó en las muestras de arroz pulido (Tabla 18) y los valores de este índice fueron superiores en las muestras cocidas, si se compara con las del arroz pulido (Tabla 18). Este parámetro siempre va a depender de los resultados de L^* , a^* y b^* y, por ello, los incrementos obtenidos son el producto de las variaciones de cada uno de ellos.

Como se mencionó anteriormente (sección 1.2.2), el ΔE es un parámetro que indica una diferencia de color, de manera perceptible, cuando sus valores son superiores a 1 (Gonnet, 1998; Good, 2004); de acuerdo a lo anterior, todas las muestras almacenadas y cocidas del cultivar D-Oryza presentaron una diferencia de color perceptible respecto a la muestra cocida control, ya que sus valores de ΔE oscilaron entre 5,58 y 7,73 (Tabla 41).

En la Tabla 43 se presentan los valores de los parámetros relacionados con el color de las muestras de arroz cocido del cultivar SD20A.

Tabla 43. Parámetros de color, índice de blancura (WIC) y diferencia total de color (ΔE) de las muestras de arroz cocido del cultivar SD20A.

| Cultivar de arroz | Tiempo (meses) | T (°C) | L* | a* | b* | WIC | ΔE |
|-------------------|----------------|--------|--------------|--------------|-------------|--------------|------------|
| SD20A | 0 | 25 | 73,24 ± 0,17 | -1,62 ± 0,06 | 3,89 ± 0,22 | 73,01 ± 0,18 | |
| | | 4 | 78,70 ± 0,33 | -1,40 ± 0,06 | 8,29 ± 0,26 | 77,10 ± 0,35 | 7,87 |
| | 1,5 | 32 | 79,87 ± 0,42 | -1,82 ± 0,02 | 7,39 ± 0,25 | 78,48 ± 0,46 | 8,45 |
| | | 4 | 79,87 ± 0,41 | -1,84 ± 0,05 | 7,06 ± 0,14 | 78,59 ± 0,43 | 8,32 |
| | 3 | 32 | 81,22 ± 0,03 | -1,83 ± 0,01 | 7,25 ± 0,20 | 79,79 ± 0,05 | 9,65 |

- Tiempo: tiempo de almacenamiento, T: temperatura de almacenamiento.
- WIC: índice de blancura, ΔE : diferencia total de color.
- $WI = 100 - \sqrt{(100 - L)^2 + a^2 + b^2}$, $L = L^*$; $a = a^*$ y $b = b^*$ de cada uno de los tiempos y las temperaturas de almacenamiento (Leelayuthsoontorn y Thipayarat, 2006).
- $\Delta E = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$ siendo $\Delta L = L^*$ del tiempo de almacenamiento - L^* del tiempo cero, $\Delta a = a^*$ del tiempo de almacenamiento - a^* del tiempo cero, $\Delta b = b^*$ del tiempo de almacenamiento - b^* del tiempo cero (Good, 2002).
- Cada valor representa la media ± la desviación estándar; la media es el promedio de tres determinaciones.

El valor del parámetro L^* (Tabla 44) aumentó ($p < 0,01$) al mes y medio de almacenamiento, para luego mantenerse constante, observándose el mismo incremento en el arroz pulido (Tabla 20). Sin embargo, las diferencias encontradas para el arroz pulido fueron por la temperatura de almacenamiento. Igual que para D-Oryza, los valores de L^* después de la cocción fueron superiores a los observados en las muestras de arroz pulido, posiblemente por las razones indicadas anteriormente, es decir, el aumento de la luminosidad producto de la cocción y/o la lixiviación de pigmentos y/u otros compuestos al agua de cocción.

Tabla 44. Efecto del tiempo de almacenamiento sobre los parámetros de color de las muestras de arroz cocido del cultivar SD20A.

| Cultivar de arroz | Tiempo (meses) | L* ** | a* ** | b* ** | WIC ** |
|-------------------|----------------|---------|---------|--------|---------|
| SD20A | 0 | 73,24 b | -1,62 b | 3,01 b | 73,01 c |
| | 1,5 | 79,29 a | -1,61 b | 7,84 a | 77,79 b |
| | 3 | 80,46 a | -1,84 a | 7,16 a | 79,19 a |

- Tiempo: tiempo de almacenamiento.
- Cada valor representa el promedio de 6 determinaciones, es decir, que para cada tiempo se calculó el promedio de los dos valores (promedio de tres réplicas) de las dos temperaturas.
- Los valores con al menos una letra en común en una misma columna son estadísticamente iguales a un nivel de significancia de 1% (**) ($p < 0,01$).

En la Tabla 44 se aprecia que el parámetro a^* se mantuvo constante al mes y medio de almacenamiento para luego aumentar su valor ($p < 0,01$), dando la misma tendencia encontrada en el arroz pulido (Tabla 21). Los valores de a^* después de la cocción fueron negativos comparados con los observados en las muestras de arroz pulido, posiblemente, por una migración de pigmentos y/u otros compuestos del endospermo al agua de cocción.

El parámetro b^* aumentó ($p < 0,01$) a los 45 días de almacenamiento para luego mantenerse constante a los tres meses (Tabla 44); esta misma tendencia se observó para el arroz pulido (Tabla 21). La disminución de los valores del arroz cocido con relación a las muestras pulidas puede deberse, como se indicó en el caso de D-Oryza, a que, posiblemente, hubo una migración de pigmentos y otros compuestos del endospermo al agua de cocción.

El índice de blancura incrementó ($p < 0,01$) durante todo el tiempo de almacenamiento (Tabla 44). Asimismo, sus valores fueron superiores en las muestras cocidas con relación a las pulidas. Este parámetro va a depender de los resultados obtenidos para L^* , a^* y b^* y las tendencias que presenten los mismos afectarán su valor.

Los valores de ΔE para las muestras almacenadas y cocidas del cultivar SD20A (Tabla 43) fueron superiores a 1, lo que indica que existe una diferencia perceptible del color con respecto al color de la muestra tiempo cero (Gonnet, 1998; Good, 2004); dichos resultados oscilaron entre 7,87 y 9,65.

En resumen, se puede señalar que para todas las muestras almacenadas y cocidas de los cultivares D-Oryza y SD20A, se produjo un incremento de los parámetros L^* y b^* , así como del índice de blancura durante el almacenamiento y los valores de ΔE permitieron evidenciar diferencias de color perceptibles con la muestra control (tiempo cero). Es importante señalar que los valores de L^* y del índice de blancura

incrementaron, mientras que los de b^* disminuyeron en las muestras cocidas con relación a las respectivas muestras pulidas.

Se encontró una correlación positiva ($p < 0,01$) entre el índice de blancura con L^* ($r = 1$) y b^* ($r = 0,86$), todos estos parámetros para el arroz cocido, lo que refleja la estrecha relación entre ellos, al igual que entre el índice de blancura con L^* , ambos para el arroz pulido ($p < 0,01$, $r = 0,88$). Asimismo, existe una correlación positiva ($p < 0,01$) entre L^* del arroz pulido y L^* del arroz cocido ($r = 0,79$), entre b^* del arroz pulido y b^* del arroz cocido ($r = 0,95$) y entre el índice de blancura del arroz pulido y el índice de blancura del arroz cocido ($r = 0,45$), lo que refuerza lo señalado al discutir estos parámetros y que permite inferir que las tendencias observadas en las muestras pulidas se mantienen en las muestras cocidas. Todos estos valores pueden ubicarse en el Anexo A, Tabla A1.

VII. CONCLUSIONES

- De los dos factores considerados, es decir, tiempo y temperatura de almacenamiento, el tiempo fue el que afectó en mayor grado algunas de las características físicas, químicas y funcionales de los cultivares D-Oryza y SD20A.
- El grado y la tendencia de este efecto dependió del tipo de parámetro, el cultivar y de las condiciones de almacenamiento.
- La calidad molinera de los cultivares evaluados resultó afectada de manera diferente como resultado del almacenamiento; el porcentaje de granos enteros disminuyó para SD20A, lo cual no sería favorable para el valor comercial de este cultivar, mientras que para D-Oryza, el mismo se mantuvo constante. Para los dos cultivares, se observó una reducción del porcentaje de granos yesosos+panza blanca, hecho que es altamente positivo para la misma.
- De los análisis químicos realizados a los cultivares D-Oryza y SD20A, sólo la acidez y el pH resultaron afectados durante el almacenamiento y el contenido de humedad de todas las muestras de ambos cultivares permitió garantizar su estabilidad durante este estudio.
- Los parámetros de color fueron afectados por el almacenamiento tanto para D-Oryza como SD20A, teniendo un aumento en el parámetro L*, siendo afectado por el tiempo la primera y por la temperatura de 32 °C la segunda, además se obtuvo un aumento de los parámetros a*, b* y ΔE lo cual reflejan un cambio de color perceptible con relación a la muestra control.
- Los amilogramas obtenidos para ambos cultivares de las muestras almacenadas se ubicaron sobre el registro correspondiente a la muestra control de cada uno, evidenciando cambios en el comportamiento reológico del almidón.

- Como consecuencia del almacenamiento de ambos cultivares, la temperatura de empaste y la viscosidad máxima aumentaron, mientras que el “breakdown” y el “setback disminuyeron”.
- El almacenamiento de las muestras de los cultivares D-Oryza y SD20A produjo una reducción de la relación de absorción de agua, la relación de expansión volumétrica y del contenido de humedad de sus muestras cocidas y un incremento del tiempo de cocción.
- Durante el almacenamiento, se observó un aumento leve en los valores de dureza, adhesividad, cohesividad y elasticidad en las muestras de los cultivares D-Oryza y SD20A.
- Para todas las muestras almacenadas y cocidas de los cultivares D-Oryza y SD20A, se produjo un incremento de los parámetros L^* y b^* , así como del índice de blancura durante el almacenamiento y los valores de ΔE permitieron evidenciar diferencias de color perceptibles con la muestra control (tiempo cero).
- Los valores de L^* y del índice de blancura incrementaron, mientras que los de b^* disminuyeron en las muestras cocidas con relación a las respectivas muestras pulidas.

VIII. RECOMENDACIONES

1. Sería conveniente realizar este tipo de estudios controlando mejor las condiciones de almacenamiento, en especial, la humedad relativa, ya que este parámetro también puede producir cambios en la calidad del arroz.
2. Incluir temperaturas superiores, como por ejemplo 37 °C, ya que los silos que se utilizan para el almacenamiento del arroz en Venezuela, están ubicados en zonas donde son habituales estas temperaturas.
3. Utilizar un mayor tiempo de almacenamiento, como por ejemplo 6 meses, ya que los autores que han realizado estos estudios, sugieren tiempos superiores para poder evidenciar, con más detalle, los cambios producidos en los distintos parámetros.
4. Disponer de la cantidad apropiada de muestra para poder determinar si los efectos que se observaron en los distintos parámetros afectan la aceptabilidad de las muestras de arroz almacenadas.
5. Realizar un tratamiento con proteasas y/u otras enzimas para poder establecer si se producen interacciones entre el almidón y la proteína y otros compuestos.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- AACC. 2004. Cereal Laboratory Methods. The American Association of Cereal Chemists. Décima Edición, Minnesota, USA.
- Álvarez, L. 1997. Producción de arroz en Venezuela. Colección Docencia Universitaria. Ediciones de la Universidad Ezequiel Zamora. Barinas, Venezuela.
- Atwell, W., Hood, F., Lineback, E., Varriano-Marston, E., Zobel, H. 1988. The terminology and methodology associated with basic starch phenomena. *Cereal Food World*. **33**(3): 306-311.
- Ávila, M. 2001. Evaluación de la calidad culinaria del arroz. Una herramienta para el mejoramiento genético. Fundación Danac. Boletín informativo. Año VII, N°1.
- Ávila, M. 2002. Incorporación del Rapid Visco Analyser (RVA) para la determinación de la calidad culinaria de arroz. Fundación Danac. Boletín informativo. Año, VII N°3.
- Batcher, O., Helmintoller, K., Dawson, E. 1956. Development and application of methods for evaluating cooking and eating quality of rice. *Rice J.* **59**(13): 4-8.
- Bello, M., Tolaba, M., Suárez, C. 2007. Water absorption and starch gelatinization in whole rice grain during soaking. *LWT*. **40**: 313-318.
- Bourne, M. 2002. Food texture and viscosity: concept and measurement. Academic Press, segunda edición, New York, USA.
- Castillo, A. 2007. Molinería de arroz. Tomo II. EDIAGRO, Colombia.
- Castillo, A. y Gaviria, J. 2000. Molinería de arroz en los trópicos. Laboratorio de granos. EDIAGRO, Colombia.
- Champagne, E., Lyon, B., Min, B., Vinyard, B., Bett, K., Barton, F., Webb, B. y colaboradores. 1998. Effect of postharvest processing on texture profile analysis of cooked rice. *Cereal Chem.* **75**(2): 181-186.
- Chang, T. 1983. The origing and early cultures of the cereal grains and food legumes. Ed. En DN. Keightley. University of California Press. USA.
- Chen, H., Siebenmorgen, T. 1997. Effects of rice kernel thickness on degree of milling and associated optical measurements. *Cereal Chem.* **74**(6): 821-825.
- Chen, H., Siebenmorgen, T., Griffin, K. 1998. Quality characteristics of long-grain rice milled in two commercial systems. *Cereal Chem.* **75**(4): 560-565.

- Cheng, F., Zhong, L., Wang, F., Zhang, G. 2005. Differences in cooking and eating properties between chalky and translucent parts in rice grains. *Food chem.* **90**(1-2): 39-46.
- COVENIN. 1990. Norma Venezolana de arroz paddy. Métodos de ensayo. N° 44-90. Caracas, Venezuela.
- COVENIN. 1998. Norma Venezolana de arroz blanco. Métodos de ensayo. N° 3404. Caracas, Venezuela.
- COVENIN. 1999. Norma Venezolana de arroz blanco de grano largo. N° 1641. Caracas, Venezuela.
- Daza, A. 2007. Efecto del almacenamiento sobre las características físicas, químicas y funcionales del arroz blanco (*Oryza sativa* L.). Tesis de Licenciatura. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- Fan, J., Marks, P. 1999. Effects of rough rice storage conditions on gelatinization and retrogradation properties of rice flours. *Cereal Chem.* **76**(6): 894-897.
- Gamboa, C., Jayaro, Y., Tovar, L., Peña, Z., Landaeta, R., Lozada, C., Nazar, C. 2005. D-Oryza, nueva variedad de arroz venezolana obtenida por la Fundación Danac. Fundación para la Investigación Agrícola Danac. Semillas híbridas de Venezuela.
- Gonnet, J. 1998. Colour effects of co-pigmentation of anthocyanins revisited-1. A colorimetric definition using the CIELAB scale. *Food Chem.* **63**(3): 409-415.
- González, Z. 1997. Evaluación de almidones de arroz y trigo modificados por métodos químicos. I. Acetilación y oxidación. Trabajo de Ascenso. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- Good, H. 2002. Measurement of color in cereal products. *Cereal Food World.* **47**(1): 5-6.
- Himmelsbach, D., Barton, F., McClung, A., Champagne, E. 2001. Protein and apparent amylose contents of milled rice by NIR-FT/Raman spectroscopy. *Cereal Chem.* **78**(4): 488-492.
- Ilarraza, T. 2002. Efecto de genotipo y tiempo de almacenamiento sobre la calidad culinaria de líneas experimentales de arroz (*Oryza sativa* L.). Tesis de Licenciatura. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela.
- INN. 2001. Tabla de composición de alimentos para uso práctico. Instituto Nacional de Nutrición. Serie Cuadernos Azules. Publicación N° 54. Caracas, Venezuela.

- Jang, E., Lim, S., Kim, S. 2009. Effect of storage temperature for paddy on consumer perception of cooked rice. *Cereal Chem.* **86**(5): 549-555.
- Jayaro, Y., Graterol, E., Lozada, C., Noguera, P., Hernández, F., Peña, Z., Criollo, B. 2008. DS20A, nueva variedad de arroz en Venezuela. Fundación para la Investigación Agrícola Danac. Semillas híbridas de Venezuela.
- Juliano, B. 1971. A simplified assay for milled rice amylose. *Cereal Sci. Today.* **16**: 334-360.
- Juliano, B. 1985. Rice chemistry and technology. American Association of Cereal Chemists, Segunda Edición, Minnesota, USA.
- Juliano, B. 1994. El arroz en la nutrición humana. FAO. Roma, Italia.
- Juliano, B. 2003. Rice chemistry and quality. Philippine Rice Research Institute, Manila, Filipinas.
- Juliano, B., Nazareno, M., Ramos, N. 1969. Properties of waxy and isogenic non waxy rices differing in starch gelatinization temperature. *J. Agr. Food Chem.* **17**: 1364-1369.
- Kim, S., Lee, S., Kim, O., Kim, D. 2000. Physicochemical characteristics of chalky kernels and their effects on sensory quality of cooked rice. *Cereal Chem.* **77**(3): 376-379.
- Lamberts, L., De Bie, E., Vandeputte, G., Veraverbeke, W., Derycke, V., De Man, W. y Delcour, J. 2007. Effect of milling on colour and nutritional properties of rice. *Food Chem.* **100**: 1496-1503.
- Lee, J., Kim, S., Suh, D., Kim, K. 2001. Effects of storage form and period of refrigerated rice on sensory properties of cooked rice and on physicochemical properties of milled and cooked rice. *Kor. J. Food Sci. Technol.* **33**:427-436.
- Leelayuthsoontorn, P., Thipayarat, A. 2006. Textural and morphological changes of Jasmine rice under various elevated cooking conditions. *Food Chem.* **96**: 606-613.
- Liu, W., Tao, Y., Siebenmorgen, T., Chen, H. 1998. Digital image analysis method for rapid measurement of rice degree of milling. *Cereal Chem.* **75**(3): 380-385.
- Lyon, B., Champagne, E., Vinyard, B., Windham, W. 2000. Sensory and instrumental relationship of texture of cooked rice from selected cultivars and postharvest handling practices. *Cereal Chem.* **77**(1): 64-69.
- Martínez, C., Cuevas, F., Medina, L. 1989. Evaluación de la calidad culinaria y molinera del arroz. CIAT, Tercera Edición, Cali, Colombia.

- Martínez, P. 1998. Situación del cultivo de arroz en Venezuela. Fundarroz, primera edición, Fundación Polar. Venezuela.
- Meilgaard, M., Civille, G., Carr, B. 1999. Sensory evaluation techniques. CRC Press. Tercera Edición, New York, USA.
- Meullenet, J., Marks, B., Hankins, J., Griffin, V., Daniels, M. 2000. Sensory quality of cooked long-grain rice as affected by rough rice moisture content, storage temperature, and storage duration. *Cereal Chem.* **77**(2): 259-263.
- Mohapatra, D., Bal, S. 2006. Cooking quality and instrumental textural attributes of cooked rice for different milling fractions. *J. Food Eng.* **73**(3): 253-259.
- Noomhorm, A., Kongseree, N., Apintanapong, N. 1997. Effect of aging on the quality of glutinous rice crackers. *Cereal Chem.* **74**:12-15.
- Ogawa, Y., Glenn, G., Orts, W., Wood, D. 2003. Histological structures of cooked rice grain. *J. Agric. Food Chem.* **51**: 7019-7023.
- Ohtsubo, K. 1995. Measurement of processing and cooking quality, X. Quality control, Rice Post-Harvest Technology, The Food Agency, the Ministry of Agricultural, Forestry and Fisheries. Tokyo, Japan.
- Patindol, J., Wang, Y., Jane, J. 2005. Structure-functionality changes in starch following rough rice storage. *Starch/Stärke.* **57**:197-207.
- Perdon, A., Marks, B., Siebenmorgen, T., Reid, N. 1997. Effects of rough rice storage conditions on the amylograph and cooking properties of medium-grain rice cv. Bengal. *Cereal Chem.* **74**(6):864-867.
- Pushpamma, P., Reddy, M. 1979. Physico-chemical changes in rice and jowar stored in different agro climatic regions of Andhra Pradesh. *Bulletin of Grain Technology.* **17**: 97-108.
- Ramesh, M., Bhattacharya, K., Mitchell, J. 2000. Developments in understanding the basis of cooked-rice texture. *Crit. Rev. Food Sci.* **40**(6): 449-460.
- Romero, A. y Páez, O. 2004. El cultivo de arroz en Venezuela. Serie manuales de cultivo INIA – N° 1. Ministerio de Ciencia y Tecnología. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). Maracay, Venezuela.
- Ruiz, F. 2001. Efecto del genotipo y tiempo de almacenamiento sobre la calidad culinaria de variedades comerciales de arroz (*Oryza sativa* L.). Tesis de Licenciatura. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela.

- Sánchez, J. 2006. Efecto del grado de procesamiento sobre la calidad culinaria de tres variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) cultivadas en el Estado Portuguesa. Tesis de Licenciatura. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- Singh, N., Sodhi, N., Kaur, M., Saxena, S. 2003. Physico-chemical, morphological, thermal, cooking and textural properties of chalky and translucent rice kernels. *Food Chem.* **82**(3): 433-439.
- Suwansri, S., Meullenet, U. 2004. Physicochemical characterization and consumer acceptance by Asian consumers of aromatic jasmine rice. *J. Food Sci.* **69**(1): 30-37.
- Tananuwong, K., Malila, Y. 2011. Changes in physicochemical properties of organic hulled rice during storage under different conditions. *Food Chem.* **125**:179-185.
- Teo, C., Karim, A., Cheah, P., Norziah, M., Seow, C. 2000. On the roles of protein and starch in the aging of non-waxy rice flour. *Food Chem.* **69**:229-236.
- Villamizar, A. 2008. Efecto del retraso en la cosecha sobre la calidad de dos variedades de arroz cultivadas en los Estados Guárico y Portuguesa. Tesis de Licenciatura. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela.
- Windham, W., Lyon, B., Champagne, E., Barton, F., Webb, B., McClung, A., Moldenhauer, K. y colaboradores. 1997. Prediction of cooked rice texture quality using near-infrared reflectance analysis of whole-grain milled samples. *Cereal Chem.* **74**(5): 626-632.
- Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S., Blanchard, C. 2001. Ageing of stored rice: changes in chemical and physical attributes. *J. Cereal Sci.* **35**: 65-78.
- Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S., Blanchard, C. 2002. Composition and functional properties of rice. *Int. J. Food Sci. Tech.* **37**: 849-868.
- Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S., Blanchard, C. 2003a. Effect of rice storage on pasting properties of rice flour. *Food Res. Int.* **36**: 625-634.
- Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S., Blanchard, C. 2003b. Fatty acid composition of three rice varieties following storage. *J. Cereal Sci.* **37**: 327-335.
- Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S., Blanchard, C. 2007. Effect of storage temperature on cooking behaviour of rice. *Food Chem.* **105**: 491-497.
- Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S., Blanchard, C. 2010. Effect of storage temperature on rice thermal properties. *Food Res. Int.* **43**: 709-715.
- Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S., Blanchard, C., Baxter, G. 2003c. Rice ageing. I. effect of changes in protein on starch behaviour. *Starch/Stärke.* **55**: 162-169.

Consultas en línea:

- FAO. 2004. Año internacional del arroz 2004. <http://www.fao.org/rice2004/es/aboutrice.htm>. [Consulta: 03 de abril de 2010].
- FAO. *Oryza sativa* L. <http://www.fao.org/ag/AGP/AGPC/doc/GBASE/DATA/PF000274.HTM>. [Consulta: 05 de abril de 2010].
- FAO. <http://ecocrop.fao.org/ecocrop/srv/en/cropView?id=1574>. [Consulta: 07 de abril de 2010].
- FAO. Seguimiento del mercado de arroz, diciembre de 2009. http://www.fao.org/es/ESC/es/15/70/highlight_71.html. [Consulta: 06 de abril de 2010].
- FAO. <http://www.fao.org/docrep/006/y2778s/y2778s02.htm#bm2.2>. [Consulta: 12 de abril de 2010].
- Fevearroz, 2009. Federación Venezolana de Arroz. El arroz en Venezuela. Presentación a la asamblea Anual de Confederación Nacional de Productores Agropecuarios FEDEAGRO. 13 de mayo 2010. <http://www.fedeagro.org/Asamblea%202010/EI%20Arroz%20en%20Venezuela.pdf>. [Consulta: 26 de abril de 2010].
- Fundación Danac, http://www.danac.org.ve/areas_disciplinarias/index.php?id_area=1. [Consulta: 10 de enero de 2011].
- Good, H. 2004. Measure to ensure the colour stays right. www.hunterlab.com/pdf/Hal%20Reprint.pdf. [Consulta: 21 de junio de 2011].
- Instituto Nacional de Nutrición, <http://www.inn.gob.ve/>. [Consulta: 10 de enero de 2011].
- <http://www.alimentacion-sana.com.ar/informaciones/novedades/arroz.htm>. [Consulta: 10 de enero de 2011].
- http://www.cd3wd.com/CD3WD_40/INPHO/VLIBRARY/X0037S/GIF/X0037S29.GIF [Consulta: 07 de abril de 2010].
- <http://www.unctad.org/infocomm/espanol/arroz/images/RIZ2.jpg>. [Consulta: 12 de abril de 2010].

X. ANEXOS

ANEXO A

Tabla A1. Valores de correlación entre los parámetros de color de arroz pulido, color de arroz cocido, blancura total y blancura cristalina.

| | ap | bp | Lc | ac | bc | WIp | Wic | Bat | Bac |
|-----|--------|--------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|---------|
| Lp | 0,34ns | 0,57** | 0,79** | -0,23ns | 0,56** | 0,88** | 0,8** | -0,35ns | -0,25ns |
| ap | | 0,91** | 0,79** | 0,42ns | 0,80** | -0,11ns | 0,78** | -0,88** | -0,82** |
| bp | | | 0,93** | 0,43** | 0,95** | 0,12ns | 0,91** | -0,69** | -0,59** |
| Lc | | | | 0,17ns | 0,89** | 0,43ns | 1,00** | -0,65** | -0,54** |
| ac | | | | | 0,56** | -0,51** | 0,12ns | -0,07ns | -0,02ns |
| bc | | | | | | 0,15ns | 0,86** | -0,51** | -0,39ns |
| WIp | | | | | | | 0,45** | -0,02ns | 0,06ns |
| Wic | | | | | | | | -0,66** | -0,55** |
| Bat | | | | | | | | | 0,99** |

- Lp: L* del arroz pulido, ap: a* del arroz pulido, bp: b* del arroz pulido, Lc: L* del arroz cocido, ac: a* del arroz cocido, bc: b* del arroz cocido, WIp: índice de blancura de arroz pulido, Wic: índice de blancura de arroz cocido, Bat: blancura total, Bac: blancura cristalina.
- ** Significativo a nivel de $p < 0,01$.
- ns: no significativo.

Tabla A2. Valores de correlación entre la calidad molinera del arroz, amilosa aparente y parámetros reológicos.

| | GYB | Ami | Vp | Vm | Bk | Vf | St | Cn | Te |
|-----|--------|--------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|
| Ge | 0,61** | 0,21ns | 0,26ns | -0,07ns | 0,63** | 0,58** | 0,55** | 0,62** | 0,08ns |
| GYB | | 0,04ns | -0,16ns | -0,56** | 0,75** | 0,31ns | 0,56** | 0,67** | -0,42ns |
| Ami | | | 0,2ns | 0,02ns | 0,36ns | 0,45** | 0,42ns | 0,43** | -0,06ns |
| Vp | | | | 0,86** | 0,3ns | 0,66** | -0,01ns | 0,09ns | 0,82** |
| Vm | | | | | -0,22ns | 0,31ns | -0,36ns | -0,34ns | 0,85** |
| Bk | | | | | | 0,69** | 0,66** | 0,83** | -0,01ns |
| Vf | | | | | | | 0,74** | 0,79** | 0,42ns |
| St | | | | | | | | 0,97** | -0,18ns |
| Cn | | | | | | | | | -0,14ns |

- Ge: porcentaje de granos enteros, GYB: porcentaje de granos yesosos+panza blanca, Ami: contenido de amilosa aparente, Vp: viscosidad máxima, Vm: viscosidad media, Bk: “breakdown”, Vf: viscosidad final, St: “setback”, Cn: consistencia, Te: temperatura de empaste.
- ** Significativo a nivel de $p < 0,01$.
- ns: no significativo.

Tabla A3. Valores de correlación entre la calidad molinera del arroz y los parámetros de perfil de textura.

| | Ad | Co | El | Ge | GYB |
|----|---------|---------|--------|---------|---------|
| Du | -0,36ns | 0,47** | 0,37ns | -0,15ns | -0,58** |
| Ad | | -0,17ns | -0,4ns | 0,11ns | 0,46** |
| Co | | | 0,54** | -0,27ns | -0,54** |
| El | | | | -0,01ns | -0,5** |
| Ge | | | | | 0,61** |

- Du: dureza, Ad: adhesividad, Co: cohesividad, El: elasticidad, Ge: porcentaje de granos enteros, GYB: porcentaje de granos yesosos+panza blanca.
- ** Significativo a nivel de $p < 0,01$.
- ns: no significativo.

Tabla A4. Valores de correlación entre los parámetros del perfil de textura y los parámetros de perfil amilográfico.

| | Ad | Co | El | Vp | Vm | Bk | Vf | St | Cn | Te |
|----|---------|---------|--------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|
| Du | -0,36ns | 0,47** | 0,37ns | 0,18ns | 0,36ns | -0,34ns | 0,06ns | -0,08ns | -0,18ns | 0,15ns |
| Ad | | -0,17ns | -0,4ns | -0,29ns | -0,51** | 0,41ns | 0,11ns | 0,4ns | 0,44** | -0,51** |
| Co | | | 0,54** | 0,47ns | 0,58** | -0,19ns | 0,14ns | -0,24ns | -0,24ns | 0,38ns |
| El | | | | 0,72ns | 0,82** | -0,15ns | 0,19ns | -0,4ns | -0,35ns | 0,68** |
| Vp | | | | | 0,86** | 0,3ns | 0,66** | -0,01ns | 0,09ns | 0,82** |
| Vm | | | | | | -0,22ns | 0,31ns | -0,36ns | -0,34ns | 0,85** |
| Bk | | | | | | | 0,69** | 0,66** | 0,83** | -0,01ns |
| Vf | | | | | | | | 0,74** | 0,79** | 0,42ns |
| St | | | | | | | | | 0,97** | -0,18ns |
| Cn | | | | | | | | | | -0,14ns |

- Du: dureza, Ad: adhesividad, Co: cohesividad, El: elasticidad, Vp: viscosidad máxima, Vm: viscosidad media, Bk: “breakdown”, Vf: viscosidad final, St: “setback”, Cn: consistencia, Te: temperatura de empaste.
- ** Significativo a nivel de $p < 0,01$.
- ns: no significativo.

Tabla A5. Valores de correlación entre los parámetros del perfil amilográfico y las pruebas de cocción.

| | Rw | Re | Vp | Vm | Bk | Vf | St | Cn | Te | Hc |
|----|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Tc | -0,63** | -0,6** | 0,45ns | 0,52** | -0,11ns | -0,09ns | -0,53** | -0,43** | 0,46** | -0,73** |
| Rw | | 0,76** | -0,6ns | -0,72** | 0,21ns | -0,02ns | 0,52** | 0,45** | -0,68** | 0,72** |
| Re | | | -0,25ns | -0,63** | 0,7** | 0,43** | 0,81** | 0,84** | -0,51** | 0,82** |
| Vp | | | | 0,86** | 0,3ns | 0,66** | -0,01ns | 0,09ns | 0,82** | -0,54** |
| Vm | | | | | -0,22ns | 0,31ns | -0,36ns | -0,34ns | 0,85** | -0,76** |
| Bk | | | | | | 0,69** | 0,66** | 0,83** | -0,01ns | 0,39** |
| Vf | | | | | | | 0,74** | 0,79** | 0,42ns | 0,09ns |
| St | | | | | | | | 0,97** | -0,18ns | 0,61** |
| Cn | | | | | | | | | -0,14ns | 0,58** |
| Te | | | | | | | | | | -0,67** |

- Tc: tiempo de cocción, Rw: relación de absorción de agua, Re: relación de expansión volumétrica, Vp: viscosidad máxima, Vm: viscosidad media, Bk: “breakdown”, Vf: viscosidad final, St: “setback”, Cn: consistencia, Te: temperatura de empaste, Hc: contenido de humedad del arroz cocido.
- ** Significativo a nivel de $p < 0,01$.
- ns: no significativo.

Tabla A6. Valores de correlación entre los parámetros del perfil de textura, contenido de amilosa aparente y los parámetros de calidad culinaria.

| | Tc | Rw | Re | Hc | Du | Ad | Co | El | Ami |
|----|--------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Hp | -0,4ns | -0,07ns | 0,24ns | 0,08ns | 0,33ns | 0,1ns | 0,46** | 0,12ns | 0,57** |
| Tc | | -0,63** | -0,6** | -0,73** | -0,12ns | -0,41ns | -0,1ns | 0,49** | -0,43** |
| Rw | | | 0,76** | 0,72** | -0,15ns | 0,64** | -0,35ns | -0,7** | 0,28ns |
| Re | | | | 0,82** | -0,2ns | 0,63** | -0,29ns | -0,54** | 0,45** |
| Hc | | | | | -0,29ns | 0,58** | -0,39ns | -0,61** | 0,27ns |
| Du | | | | | | -0,36ns | 0,47** | 0,37ns | 0,24ns |
| Ad | | | | | | | -0,17ns | -0,4ns | 0,34ns |
| Co | | | | | | | | 0,54** | 0,31ns |
| El | | | | | | | | | -0,01ns |

- Hp: contenido de humedad del arroz pulido, Tc: tiempo de cocción, Rw: relación de absorción de agua, Re: relación de expansión volumétrica, Hc: contenido de humedad del arroz cocido, Du: dureza, Ad: adhesividad, Co: cohesividad, El: elasticidad, Ami: contenido de amilosa aparente.
- ** Significativo a nivel de $p < 0,01$.
- ns: no significativo.

Tabla A7. Valores de correlación entre los parámetros de los análisis químicos.

| | Ac | pH | Pr | Ami |
|----|--------|---------|---------|---------|
| Hp | 0,07ns | -0,07ns | -0,37ns | 0,57** |
| Ac | | -0,87** | -0,15ns | -0,12ns |
| pH | | | -0,07ns | 0,14ns |
| Pr | | | | -0,24ns |

- Hp: contenido de humedad del arroz pulido, Ac: acidez, Pr: contenido de proteína cruda, Ami: contenido de amilosa aparente.
- ** Significativo a nivel de $p < 0,01$.
- ns: no significativo.

Tabla A8. Valores de correlación entre los parámetros de la calidad molinera del arroz y el contenido de amilosa aparente.

| | GYB | Ami | Bat | Bac |
|-----|--------|--------|--------|--------|
| Ge | 0,61** | 0,21ns | 0,62** | 0,68** |
| GYB | | 0,04ns | 0,84** | 0,81** |
| Ami | | | 0,39ns | 0,41ns |
| Bat | | | | 0,99** |

- Ge: porcentaje de granos enteros, GYB: porcentaje de granos yesosos+panza blanca, Ami: contenido de amilosa aparente, Bat: blancura total, Bac: blancura cristalina.
- ** Significativo a nivel de $p < 0,01$.
- ns: no significativo.

ANEXO B

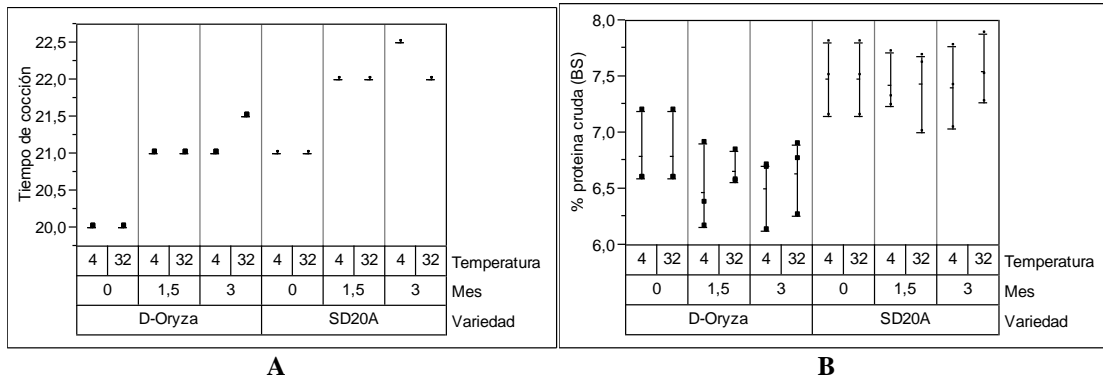


Figura B1. A. Gráficas del tiempo de cocción. B. Gráficas de la proteína cruda.

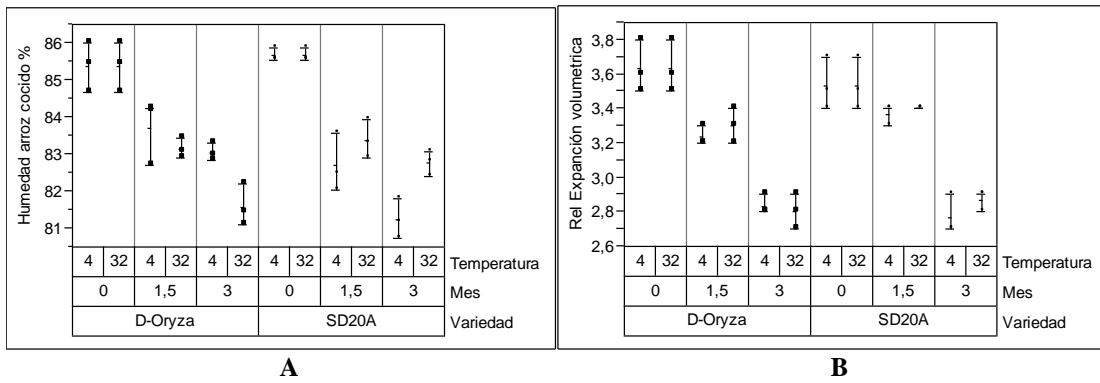


Figura B2. A. Gráficas del porcentaje de humedad de arroz cocido. B. Gráficas de la relación de expansión volumétrica.

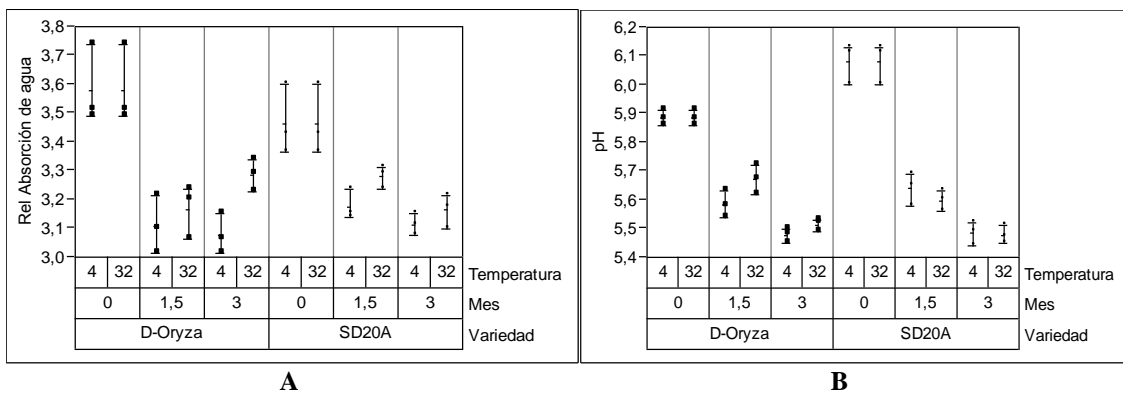


Figura B3. A. Gráficas de la relación de absorción de agua. B. Gráficas de pH.

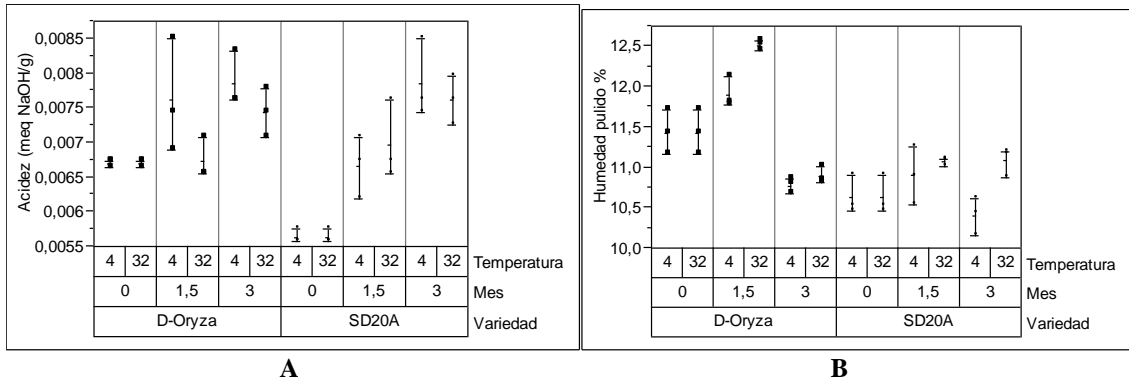


Figura B4. A. Gráficas de la acidez. B. Gráficas del contenido de humedad del arroz pulido.

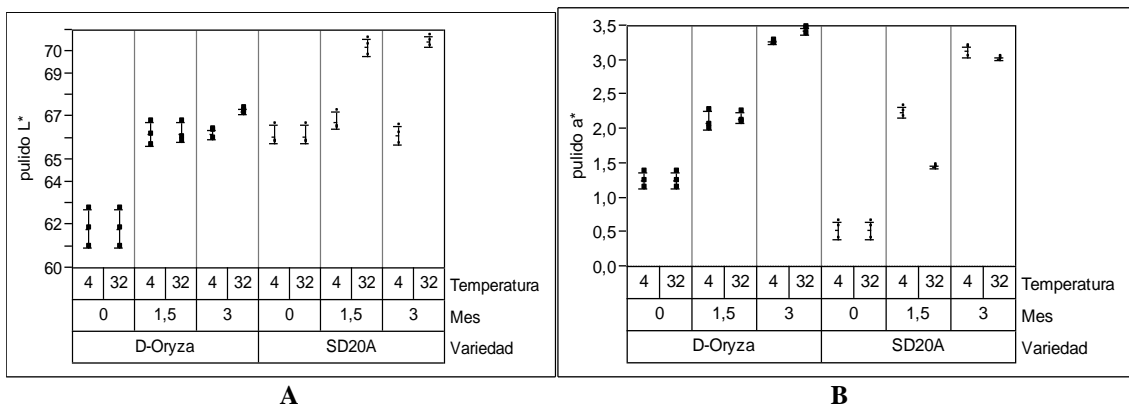


Figura B5. A. Gráficas de L* del arroz pulido. B. Gráficas de a* del arroz pulido.

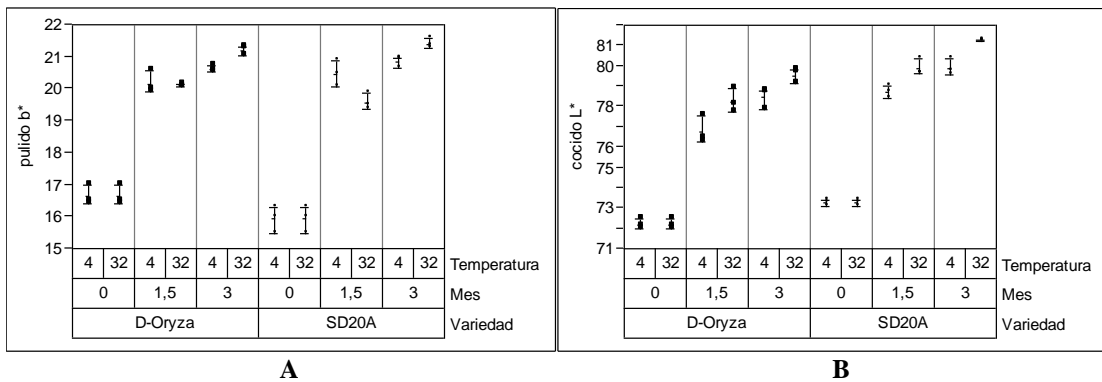


Figura B6. A. Gráficas de b* del arroz pulido. B. Gráficas de L* del arroz cocido.

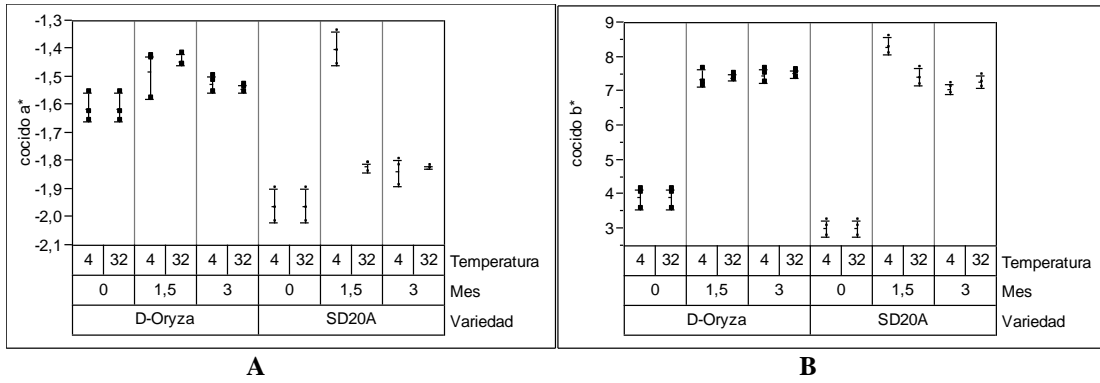


Figura B7. A. Gráficas de a* del arroz cocido. B. Gráficas de b* del arroz cocido.

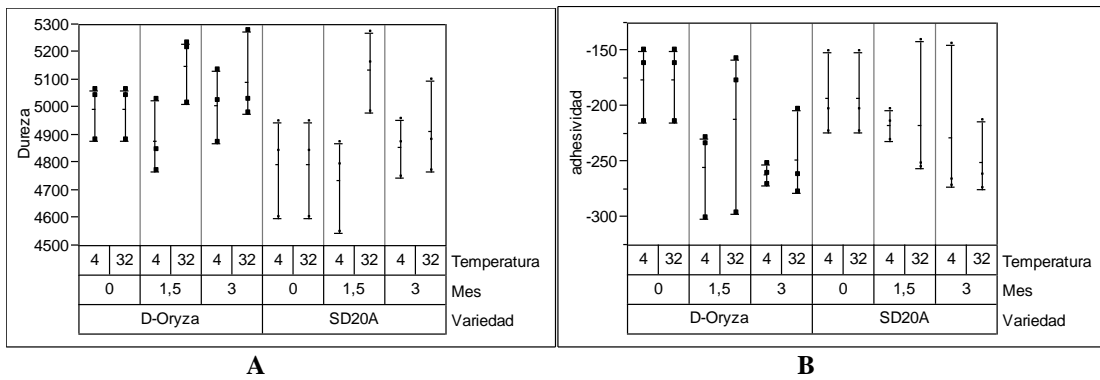


Figura B8. A. Gráficas de la dureza. B. Gráficas de la adhesividad.

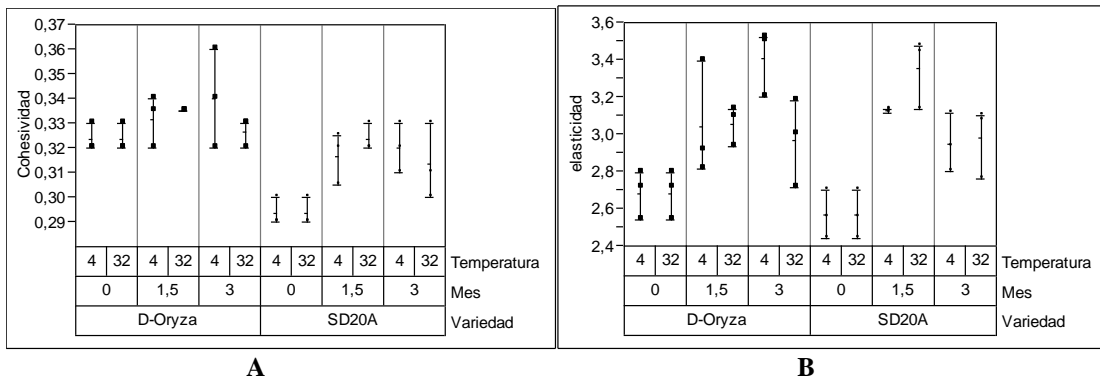


Figura B9. A. Gráficas de la cohesividad. B. Gráficas de la elasticidad.

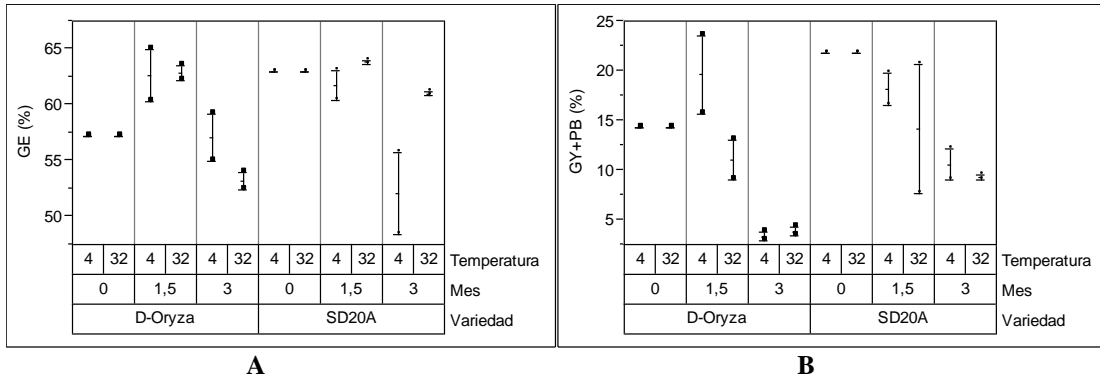


Figura B10. A. Gráficas del porcentaje de granos enteros. B. Gráficas del porcentaje de granos yesosos+panza blanca.

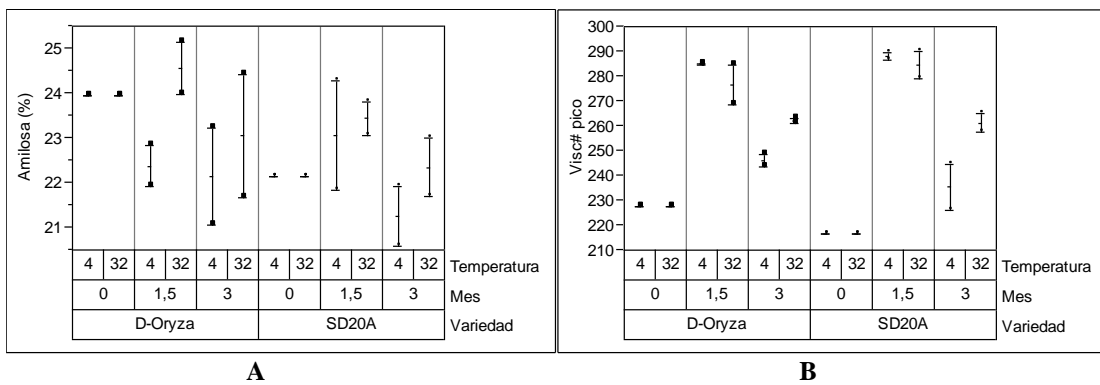


Figura B11. A. Gráficas del contenido de amilosa. B. Gráficas de viscosidad máxima.

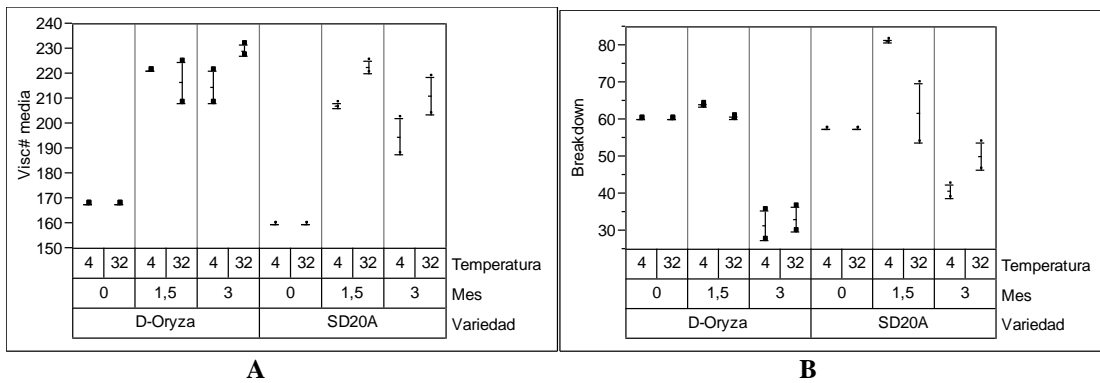


Figura B12. A. Gráficas de la viscosidad media. B. Gráficas del "breakdown".

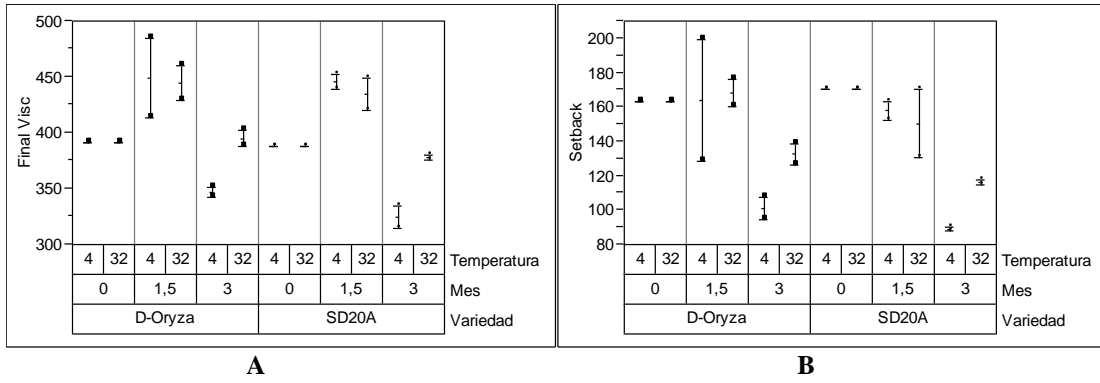


Figura B13. A. Gráficas de la viscosidad final. B. Gráficas del “setback”.

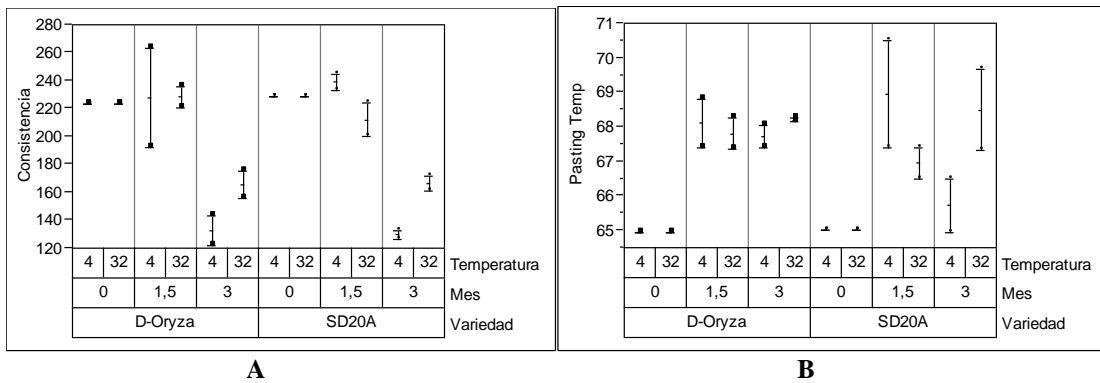


Figura B14. A. Gráficas de la consistencia. B. Gráficas de la temperatura de empaste.

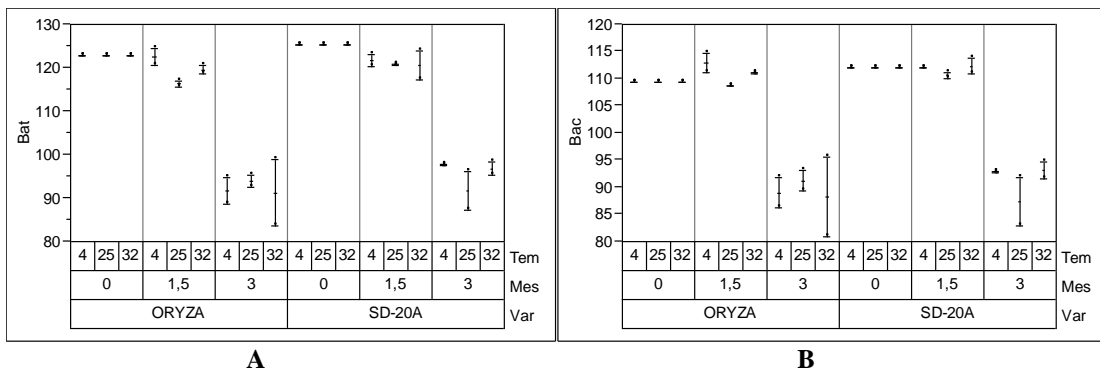


Figura B15. A. Gráficas de la blancura total. B. Gráficas de la blancura cristalina.

ANEXO C

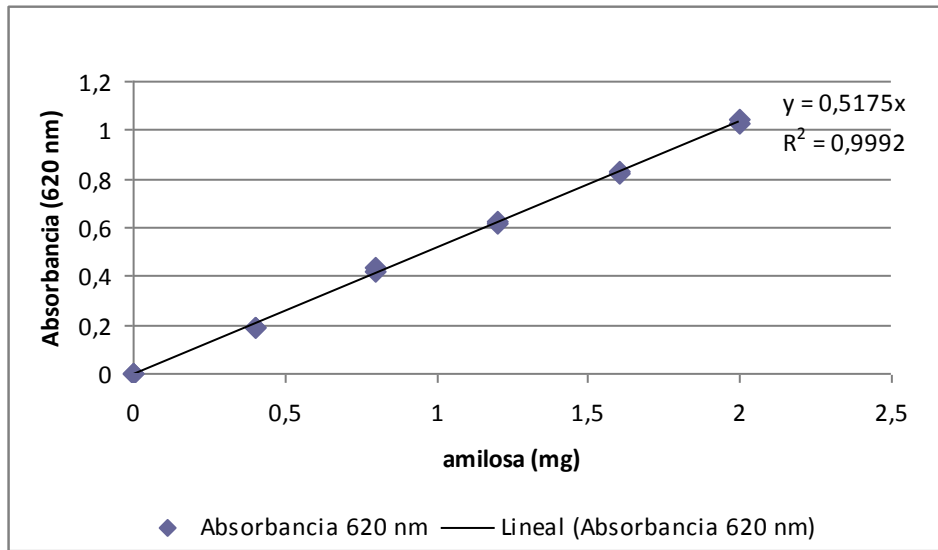


Figura C1. Curva de calibración empleada para obtener el contenido de almidón aparente (%) para ambos cultivares en todos los tiempos y las temperaturas de almacenamiento.

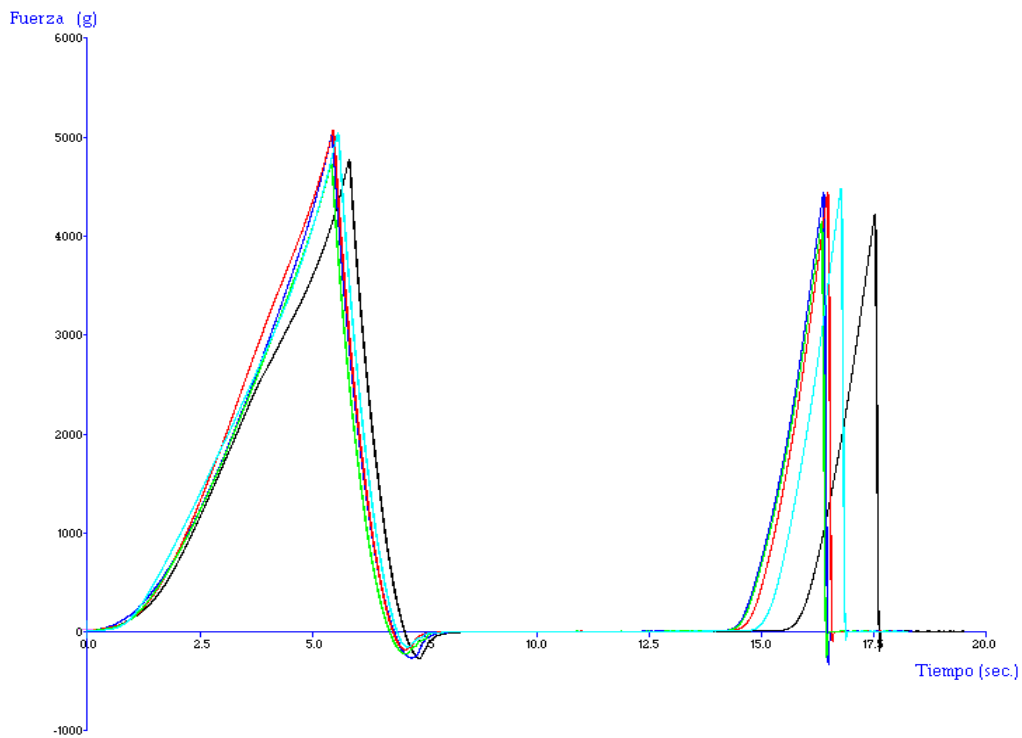


Figura C2. Algunas curvas obtenidas del perfil de textura para el cultivar D-Oryza. Tiempo cero: azul claro, tiempo mes y medio 4 °C: verde, tiempo mes y medio 32 °C: rojo, tiempo tres meses 4 °C: azul oscuro, tiempo tres meses 32 °C: negro.

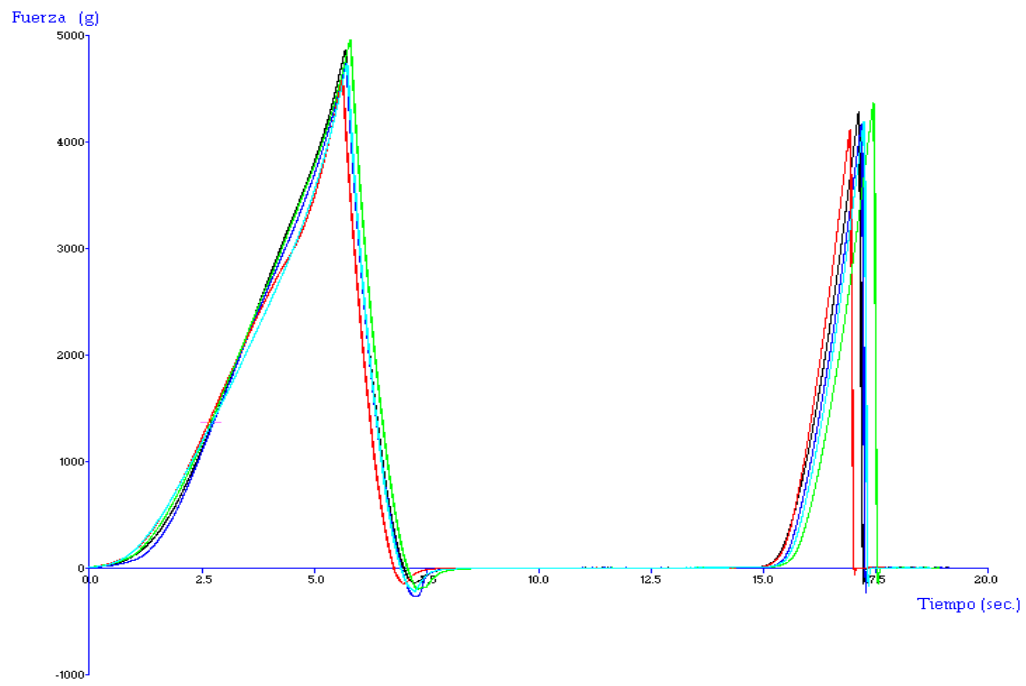


Figura C3. Algunas curvas obtenidas del perfil de textura para el cultivar SD20A. Tiempo cero: rojo, tiempo mes y medio 4 °C: azul claro, tiempo mes y medio 32 °C: verde, tiempo tres meses 4 °C: negro, tiempo tres meses 32 °C: azul oscuro.

