

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE INGENIERIA INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS



TESIS

**PROCESAMIENTO HIDROTÉRMICO DEL ARROZ (*Oryza sativa* L.),
EFECTO EN EL RENDIMIENTO, EN LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS
Y ORGANOLEPTICAS**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

ELABORADO POR:

ELY SOLIS CORDOVA

Tingo María – Perú

2020



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
FACULTAD DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
Carretera Central Km. 1.21. Teléfono (062) 561385
Apartado Postal 156 Tingo María E.mail; fiia@unas.edu.pe

"Año de la Universalización de la Salud"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 001-2020

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos en acto público el 09 de enero del 2020, a horas 11:00 a.m., en la Sala de Grados de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicada en la ciudad de Tingo María, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, para calificar la tesis presentada por la Bach. **SOLIS CORDOVA, Ely**, titulada:

"PROCESAMIENTO HIDROTÉRMICO DEL ARROZ (*Oryza sativa* L.), EFECTO EN EL RENDIMIENTO, EN LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y ORGANOLEPTICAS"

Después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las preguntas formuladas, lo declaran **APROBADO** con el calificativo de **MUY BUENO**; en consecuencia, la sustentante, queda apta para obtener el título de **Ingeniero en Industrias Alimentarias**, de conformidad con el artículo 45° numeral 45.2, de la Ley Universitaria 30220; los artículos 132 inciso "k" y 135 inciso "f" del Estatuto de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Tingo María, 10 de enero 2020

M.Sc. Yolanda Jesús Ramírez Trujillo
Presidente

M.Sc. Jaime Eduardo Basilio Atencio
Miembro

M.Sc. Luz Milagros Follegatti Romero
Miembro

M.Sc. Williams Vicente Roldán Carbajal
Asesor

DEDICATORIA

A Dios

Al todo poderoso, por darme la vida, por haberme dado las fuerzas cuando ya pensaba rendirme y sabiduría para culminar esta etapa. Por su amor infinito, protección y ayuda en mi trayecto de mi vida

A mis amados padres:

Liduvino SOLIS y Medalith CORDOVA, por su amor, sus consejos y haberme instruido principios, valores y ser mi motivación para culminar esta etapa. Mi eterna gratitud

A mis hermanos

YUMBER y ROY por su cariño y a mi familia que siempre dándome palabras de motivación.

AGRADECIMIENTO

- ✓ En primer lugar a DIOS, por darme la vida, inteligencia y las fuerzas
- ✓ A mis padres Liduvino Solís y Medalith Córdova, por su amor y apoyo incondicional a lo largo de mi formación personal y profesional.
- ✓ A la Universidad Nacional Agraria de la Selva – Tingo María, mi Alma Mater, en especial a los docentes de la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias que me transmitieron información y conocimiento.
- ✓ A la empresa “Agroindustria Molinería Vásquez S.A.C”, por compartir conocimientos, por la confianza para permitirme ingresar a sus instalaciones y realizar las pruebas de laboratorio necesarias para mi tesis.
- ✓ Al Ing. Msc. Williams Vicente Roldan Carbajal, mi asesor de tesis, por su paciencia, dedicación y apoyo constante en la ejecución y redacción del presente trabajo de investigación.
- ✓ A los ingenieros: Msc. Jaime Basilio Atensio, Msc Milagros Follegatti Romero, Msc Yolanda Ramírez Trujillo, Msc. Víctor Condori Rondan y Msc. Alfredo Abelardo Carmona Ruiz por su ayuda oportuna y acertada orientación en la ejecución del presente trabajo de investigación.
- ✓ A los técnicos de laboratorio que me brindaron su apoyo facilitando los materiales e instalaciones de los diferentes ambientes para realizar parte fundamental de la tesis especialmente a los señores: Pedro Condori y Celedonio Yacha.
- ✓ A mis estimados amigos: Gabriel Sánchez, María Terrones, Esperanza Salazar, Liz Centeno, por su amistad y palabras de motivación.

RESUMEN

El propósito de esta investigación es determinar el efecto del proceso hidrotérmico en el rendimiento, propiedades fisicoquímicas y sensoriales del arroz con cáscara. El proceso se desarrolló en tres etapas: hidratación (55, 60 y 65°C), vaporización (12, 10 y 8 minutos) y descascarillado/pilado (45, 50 y 55 segundos). Los resultados fueron evaluados mediante un DCA, DBCA y prueba Tukey ($p \leq 0,05$) y para los análisis sensoriales se utilizó la prueba Kruskal Wallis. La temperatura y tiempo óptimo de hidratación del arroz en cáscara fue de 65°C por 8 horas de hidratación con una tasa de humedad de 33,600%. El mejor tratamiento (T81) con temperatura y tiempo de hidratación de 65°C/8horas, 12 minutos de vaporización y 45 segundos que tarda en descascarar/pulir obtuvo mayor rendimiento de granos enteros (92,371) % y menor cantidad de granos quebrados (0,900) % y la evaluación fisicoquímica como resultado para el porcentaje de proteína (10,270) %, ceniza de (0,989) % y grasa (0,530) %. La evaluación sensorial del arroz con proceso hidrotérmico (T81), presenta mayor calificativo con respecto al atributo de color (3,611) siendo este un amarillo y textura (4,972) comprado con el arroz blanco (sin proceso). La prueba triangular demuestra que el arroz con tratamiento es diferente a la muestra testigo (arroz blanco), encontrando el valor de $Z= 5,35$.

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN.....	01
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	03
	2.1. El arroz (<i>Oryza Sativa</i> L.).....	03
	2.1.1. Estructura del grano del grano de arroz.....	03
	2.1.2. Variedad de arroz “Esperanza INIA 509”.....	04
	2.2. Producción de arroz en el Perú.....	04
	2.3. Industrialización de arroz.....	05
	2.3.1. Proceso hidrotérmico del arroz.....	06
	2.4. Rendimiento.....	08
	2.5. Gelatinización del almidón.....	08
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	09
	3.1. Lugar de ejecución.....	09
	3.2. Materia prima.....	09
	3.3. Equipo, materiales y reactivos.....	10
	3.3.1. Equipos de proceso y laboratorio.....	10
	3.3.2. Materiales de laboratorio.....	10
	3.3.3. Reactivos y solventes	11
	3.4. Métodos de análisis.....	11
	3.5. Metodología experimental.....	12
	3.5.1. Proceso hidrotérmico del arroz con cáscara.....	12
	3.5.2. Determinación del rendimiento de grano entero y porcentaje de blancura.....	14

3.5.3.	Evaluación sensorial.....	18
3.6.	Diseño experimental.....	19
3.6.1.	Determinación de la temperatura y tiempo óptimos de la hidratación del arroz con cáscara.....	19
3.6.2.	Determinación del rendimiento en pila, porcentaje de grano entero y blancura después del descascarrillado/pulido...	20
3.6.3.	Evaluación fisicoquímica.....	21
3.7.	Análisis estadístico.....	22
3.7.1.	Hidratación de arroz cáscara.....	22
3.7.2.	Rendimiento de grano entero y porcentaje de blancura...	22
3.7.3.	Análisis fisicoquímico.....	23
3.7.4.	Evaluación sensorial.....	23
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
4.1.	Contenido de humedad durante la hidratación.....	25
4.2.	Rendimiento de grano entero y porcentaje de blancura.....	27
4.3.	Evaluación las propiedades fisicoquímicas del arroz con mejor tratamiento hidrotérmico.	34
4.4.	Evaluación sensorial del arroz con proceso y sin proceso hidrotérmico.....	37
V.	CONCLUSIONES.....	40
VI.	RECOMENDACIONES.....	41
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42
	ANEXO	

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro

	Página
1. Código de los tratamientos en la obtención de RP, RGE y porcentaje de blancura.....	16
2. Contenido de humedad para la temperatura de hidratación de 65°C, 60 °C y 55 °C por 8, 6 y 4 horas	24
3. Rendimiento de grano entero y porcentaje de blancura.....	27
4. Resultado del análisis fisicoquímico del mejor rendimiento en pila y grano entero.....	34
5. Resultado del análisis sensorial con proceso y sin proceso hidrotérmico	38

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura

Página

1. Estructura del grano de arroz.....	03
2. Flujograma del procesamiento hidrotérmico de arroz.....	12
3. Diseño experimental para determinar del tiempo y temperatura para la hidratación del arroz.....	19 19
4. Diseño experimental para determinar el porcentaje de rendimiento y blancura.....	18 18
5. Diseño experimental para determinar el porcentaje de humedad, proteína, ceniza, grasa y ELN.....	21 21
6. Resultado del porcentaje de calificaciones del análisis sensorial del arroz con proceso y sin proceso hidrotérmico de arroz.....	38 38

I. INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa* L.) es un cereal consumido a nivel mundial; en el Perú es considerado entre los tres primeros cultivos más importantes después del maíz y el trigo, se siembra en las regiones selva y norte; siendo el principal alimento en la mesa peruana por su gran aporte en calorías (CERDA Y VÁSQUEZ, 2017)

En la búsqueda de contar con alimentos menos procesados y tener una alternativa para aumentar la productividad del arroz, se estudió el proceso hidrotérmico con la finalidad de mejorar el rendimiento en la calidad molinera, culinaria, nutricional y darle en valor agregado atribuyéndole grandes oportunidades de conquistar nuevos mercados (SALAZAR, 2013).

El proceso hidrotérmico consiste en tres etapas importantes: remojo, vaporización y secado, este proceso conduce a cambios físicos, químicos y organolépticos (OYEDELE y ADEOTI, 2013; KWOFIE y NGADI, 2017), además altera en gran medida el comportamiento de las características en la molienda y cocción en el arroz (BUGGENHOUT *et al.*, 2013; BUGGENHOUT *et al.*, 2014; OLI *et al.*, 2014).

Es por ello que se realizó esta investigación “Procesamiento hidrotérmico del arroz (*Oryza sativa* L.), efecto en el rendimiento, en las propiedades fisicoquímicas y organolépticas” con la finalidad de obtener la mayor

cantidad de granos enteros y un color adecuado, planteándose los siguientes objetivos:

- Determinar el tiempo y temperatura óptimos para la hidratación del grano de arroz con cáscara
- Determinar los parámetros óptimos del proceso hidrotérmico y del descascarado / pulido del arroz, para obtener el mejor rendimiento en grano entero y porcentaje de blancura
- Evaluar las propiedades fisicoquímicas del arroz con mejor tratamiento hidrotérmico.
- Realizar el análisis sensorial del arroz con mejor tratamiento hidrotérmico y un testigo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El arroz (*Oryza sativa* L.)

El arroz pertenece al Genero *Oryza* y a la especie *sativa*. Es una semilla que pertenece a la familia gramínea o Poáceas (TINOCO *et al.*, 2009). El arroz es un cereal de gran importancia en la dieta humana como fuente de carbohidratos que constituye el principal alimento en muchos de los países asiáticos y latino América (RÓSTRAN y RODRÍGUEZ, 2014). En el Perú, el arroz es acompañante para todo tipo de comida, aumentando la capacidad adquisitiva y se reflejada en el mayor consumo de arroz (MINAGRI, 2019).

2.1.1. Estructura del grano de arroz

Según ROSELL *et al.* (2007), el arroz cosechado es denominado arroz con cáscara, conocido como arroz paddy, la cubierta protectora exterior (cascarilla) y el fruto del arroz llamado cariósido (Figura 1).

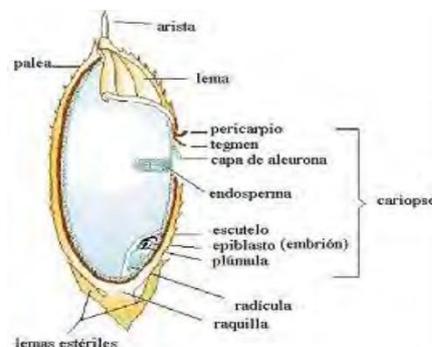


Figura 1. Estructura del grano de arroz

La cariósida está formada por una envoltura (varias capas de pericarpio, el tegumento y el núcleo), el endospermo y el embrión o germen. La cáscara representa aproximadamente el 20 % del peso del grano de arroz. Cuando se elimina la cascarilla, queda la cariósida que se denomina arroz integral, de aspecto marrón, al quitar el salvado en el proceso de pulido se le denomina arroz blanco o elaborado (BELLO, 2009).

2.1.2. Variedad de arroz “La Esperanza 509”

En el Perú, se cultivan un total de trece variedades de arroz, tales como Esperanza, que es muy precoz y con alto potencial en rendimiento, que permite a los agricultores reducir el consumo de agua y a su vez menor costo de producción, este grano destaca en peso y tamaño comparado con otros (VERA, 2019).

Según INIA (2010), la variedad “La Esperanza 509”, se caracteriza por presentar alto porcentaje en rendimiento pila de 72 %, grano entero un 62 %, grano partido de 10 %, temperatura de gelatinización intermedia, amilosa 24%. Para la cocción se necesita 1 taza de arroz y un 1¼ de taza de agua.

2.2. Producción de arroz en el Perú

El arroz constituye en uno de los cultivos de mayor relevancia, con la mayor área sembrada y cosechada, que bordea las 400 mil hectáreas en promedio. Este cultivo se siembra durante todo el año entre los meses de agosto y marzo. Las principales zonas productoras de arroz se encuentran en la región Costa, Lambayeque, Ancash, La Libertad Piura, Tumbes y Arequipa, por otro

lado, en la región Selva: San Martín, Loreto, Cajamarca, Amazonas, Huánuco y Ucayali (MINAGRI, 2019).

2.3. Industrialización de arroz

Según RÓSTRAN y RODRÍGUEZ (2014), el proceso de industrialización consiste principalmente en transformar la materia prima, con la finalidad de mantener la mayor cantidad de granos enteros y principalmente ser apta para el consumo humano.

La palabra parbolizado proviene de la expresión inglesa “parboiled”, es decir parcialmente cocido. El proceso de parbolización se basa en el tratamiento hidrotérmico del arroz cáscara, sin ningún agente químico, solo por el efecto de la acción del agua. Este proceso se fundamenta en tres operaciones importantes:

- **Encharcamiento:** Consiste en colocar el arroz con cáscara en taques con agua caliente durante un tiempo. En este proceso las vitaminas y minerales que se encuentra en la parte de la película y en el germen ingresan en el grano a medida que absorbe agua del medio.

- **Gelatinización:** El arroz humedecido es expuesto a una temperatura más elevada a presión de vapor, en la cual ocurre una alteración en la estructura del almidón. Como consecuencia el grano es más compacto y son fijadas las vitaminas y minerales en su interior.

- **Secado:** Los granos de arroz son secado por diferentes métodos para luego ser descascarado, pulido y seleccionado (FRIEDMAN y WEIL, 2010).

2.3.1. Proceso hidrotérmico del arroz

En el arroz parbolizado se modifican las propiedades físicas, químicas y organolépticas, aumentando su valor nutricional y culinaria; mediante un tratamiento hidrotérmico que se aplica al arroz en cáscara, involucra tres etapas importantes: remojo, cocción o vaporizado y secado (OYEDELE y ADEOTI, 2013; LOUBES, 2015; HAPSARI *et al.*, 2016; KWOFIE y NGADI, 2017)

BELLO (2009) afirma que el proceso hidrotérmico genera ventajas nutricionales, tecnológicas y económicas. Este proceso consiste en modificar las características del grano, se encuentra en el endospermo mediante la gelatinización parcial o total del almidón ocasionando cambios físicos, químicos y organolépticos.

Las operaciones del proceso del arroz con cáscara con tratamiento hidrotérmico comprenden:

- **Recepción:** El arroz cáscara es transportado en camiones desde el centro de acopio hasta las plantas de proceso, donde son recepcionados en sacos de polietileno de 100 kg.

- **Pre limpieza:** El propósito es separar las impurezas que se trae originalmente del campo (tallo de plantas, piedras, palotes, polvo, bolsas, etc.).

- **Lavado, flotación y sedimentación:** El lavado se realiza dos o tres veces dependiendo del grado de suciedad del arroz (AYAMDOO *et al.*, 2013). El arroz cáscara se sumerge en agua y se agita vigorosamente. Los granos se depositan en la parte inferior y los desechos (granos vanos, hierba, semillas e insectos muertos) en la parte superior.

- **Hidratación (remojo):** En esta etapa los granos se hidratan por

inmersión en agua. Según FRIEDMAN y WEIL (2010), el arroz cáscara es colocado en tanques con agua caliente por algunas horas. A medida que el arroz absorbe agua se van fijando las vitaminas y minerales que se encuentra en la parte de la película y en el germen. SALAZAR (2013) recomienda que el arroz en cáscara debe ser con una relación agua (1:3) en un tiempo de 4 horas, 5 horas y 6 horas, manteniendo una temperatura de 65 - 70 °C debe ser por debajo del punto de gelatinización del almidón de arroz.

- **Proceso hidrotérmico:** En esta etapa el arroz húmedo es sometido a una temperatura más elevada sobre presión de vapor, ocurriendo una alteración en la estructura del almidón (ROJAS y ROJAS, 2018).

- **Secado:** Secado al sol (temperatura ambiente) o secado por aire caliente Los granos de arroz son secados con bajas temperaturas, hasta considerar que está óptimo para poder almacenarlo o elaborarlo

- **Descascarillado:** Este proceso consiste en quitar la cascarilla que protege al arroz integral (BUGGENHOUT *et al.*, 2013)

- **Pulido:** El arroz marrón (integral) pasa por un pulidor abrasivo con una piedra esmeril que remueve polvillo de las capas externas del grano obteniendo polvillo o semolina como subproducto (BUGGENHOUT *et al.*, 2013)

- **Selección:** Se retiran los granos oscuros o negros y con defectos.

- **Empacado:** la presentación final, sea en sacos o bolsas de polietileno. ROJAS y ROJAS (2018) sugieren que el envase no deberá transmitir al producto sustancias tóxicas ni olores o sabores desagradables. El material debe ser fabricado con sustancias que sean inocuas, que mantenga las cualidades higiénicas, nutricionales y propiedades organolépticas.

2.4. Rendimiento

El rendimiento total en pila, se define como el porcentaje total de granos enteros y partidos que se obtiene después del procesamiento normal del arroz con cáscara. El rendimiento del grano entero es el porcentaje de enteros que se obtiene de la elaboración del arroz en base 100 por ciento, quiere decir el arroz sin cascara, que se ha eliminado parcial o totalmente el germen y el polvillo (NORMA TÉCNICA PERUANA, 2014).

2.5. Gelatinización del almidón

La gelatinización es producida cuando el almidón es sometido a un tratamiento hidrotérmico. Los gránulos se llegan a hinchar de manera irreversible a una cierta temperatura que afecta la estructura del gránulo del almidón (LOUBES, 2015). La gelatinización también se puede definir como la hidratación y la hinchazón irreversible del gránulo, seguido de la destrucción del orden molecular, fusión de los cristales y solubilización del almidón (ZHANG *et al.*, 2015 y TAGHINEZHAD *et al.*, 2016). Las condiciones de remojo y calefacción impactan en el grado de hinchamiento de los gránulos del almidón y el grado de gelatinización (BUGGENHOUT *et al.*, 2013).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

El presente trabajo de investigación se realizó en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, situado en la ciudad de Tingo María, provincia de Leoncio Prado, región Huánuco, con una temperatura entre 17 °C y 32 °C, con 82% de HR anual, los ambientes utilizados fueron: Planta Piloto de Frutas y Hortalizas, laboratorios de: Control de Calidad y Análisis Sensorial y Análisis de Alimentos de la Facultad de Ingeniería en industrias Alimentarias; laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Zootecnia y el proceso de descascarillado y pulido se realizó en la empresa arrocera “Agroindustria Molinera Vásquez S.A.C” situada en la carretera Fernando Belaunde Terry s/n caserío- Huaynabe, provincia Tocache, región San Martín con una temperatura promedio anual de 24,7 °C y con 84 % de HR, utilizando el ambiente del laboratorio de Control de calidad.

3.2. Materia prima

Para todos los ensayos se empleó arroz con cáscara de la variedad “La Esperanza 509” con humedad de 20,2 – 20,8% proporcionado por “Agroindustria molinera Vásquez S.A.C”, coordenadas: Este 352640,74 m E y norte 9076342,01 m S. La muestra se recolectó, según ISO 2859 -1 (NTP, 2014).

3.3. Equipos, materiales y reactivos

3.3.1. Equipos de proceso y laboratorio

Baño María modelo YCW-010E capacidad 3 L marca GEMMYCO. Autoclave modelo xy-280D electric heater marca BELTEC SCIENTIFIC. Analizador de humedad max 50 g y min 2 g de 60 °C -165 °C marca AADAM. Molino probador para arroz marca ZACCARIA PAZ-2/DTA. Medidor de blancura ZACCARIA-MBZ-2. Medidor de humedad de granos de arroz kett Electric Laboratory marca GRAIN MOISTORE TESTE. Clasificador rotativo ZACCARIA CRZ-2 5,5 mm. Balanza gramera, capacidad 500 g min 0,1 g marca KERNEMB-500. Selladora bolsas polietileno marca UYUS POWER-SLA. Balanza analítica sensibilidad 0,0001 g Germany marca OHAUS GALAXY 160 USA. Digestor de proteína marca DIGEST AUTOMAT K-438 BÜCHI LABORTECHNIK AG. Destilador Unit K-350 marca BUCHI. Horno Mufla temperatura regulable de 250 °C a 900 °C marca MÜSZERIPARI MÜVEK. Cocina eléctrica de plataforma marca SWEETZA. Balanza gramera cap. Max 220 g min 10 mg marca RADWAG. Equipo Kjeldhal modelo BUCHI k-314. Extractor de grasa marca ANKOM XT10.

3.3.2. Materiales del laboratorio

Vasos de precipitación (100, 50 y 10 mL) marca Pírex, balones de digestión de 100 mL, probetas (10 y 100 mL), pipetas de 10 mL, matraces Erlenmeyer (50 y 250 mL) marca Pírex, fioles (50 y 100 mL), vasos de polietileno de 200 mL, campana de desecación con perlas de sílice gel marca Duran, Crisoles de porcelana cap. 50 mL, mortero y pilón de porcelana, pinza de metal, filtros bolsas (XT4), desecador kit bolsa flexible ziploc, marcadores (resistente a

solventes), placas petri de vidrio de 90 a 100 mm de diámetro, tela de tocuyo y bolsas de polietileno de alta densidad

3.3.3. Reactivos y solventes

Ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado 95 – 97% p.a., ácido clorhídrico (HCl) de 0,1 N, Hidróxido de sodio (NaOH) al 50 %, éter de petróleo concentrado al 65% p.a., Ácido bórico (H_3BO_3) al 4 %, catalizador sulfato de potasio y sulfato de cobre.

3.4. Métodos de análisis

- **Humedad:** se empleó un medidor de humedad de granos de arroz kett electric laboratory marca GRAIN MOISTORE TESTE pm-450 para todos los tratamientos, además se utilizó el método de la estufa N° 930.04 (AOAC, 2008).

- **Proteína:** método Kjeldhal empleando como factor de conversión 5,95 para arroz, N° 928,08 (AOAC, 2008).

- **Ceniza:** por incineración de la muestra a 600 °C por cinco horas hasta que el residuo se torne plumizo, determinando la diferencia de pesos. N° 930,05 (AOAC, 2008).

- **Grasa:** por extracción por solvente a altas temperaturas empleando éter de Petróleo, en el equipo Extractor de grasa marca ANKOM XT10. N° 930.09 (AOAC, 2008).

3.5. Metodología experimental

3.5.1. Proceso hidrotérmico del arroz con cáscara

En la Figura 2 se presenta el flujograma del procesamiento hidrotérmico de arroz con cáscara que se describe a continuación.

- **Recepción:** se recibió el arroz con cáscara y se realizó la medición de humedad inicial utilizando el equipo de medidor de humedad de granos de arroz Kett Electric Laboratory.

- **Pre limpieza:** con el propósito de eliminar las impurezas que el arroz trae, originadas en el campo y en el transporte, tales como tallos de planta, bolsas, hilachas de saco, piedras, etc. Los granos fueron separados de todo material extraño a través de un tamiz de chapa perforada a tajos de 30 x 2,5 mm y 20 cm de diámetro.

- **Lavado:** Con la finalidad de remover y eliminar suciedad, restos de tierra o cualquier contaminante físico que pueda influir de forma negativa en la carga microbiana y en la apariencia del producto.

- **Hidratación (remojo):** El arroz con cáscara se colocó en Baño María en agua caliente a 55, 60 y 65°C por 4, 6 y 8 horas. TAGHINEZHAD *et al.*, (2015) sugiere que el arroz sancochado se remoje en recipiente cilíndrico de acero inoxidable, con calentador eléctrico de 2kw, un agitador para uniformizar la temperatura del recipiente, ventilador para la refrigeración del cilíndrico, una cesta para la hidratación en agua y un sistema de control de temperatura.

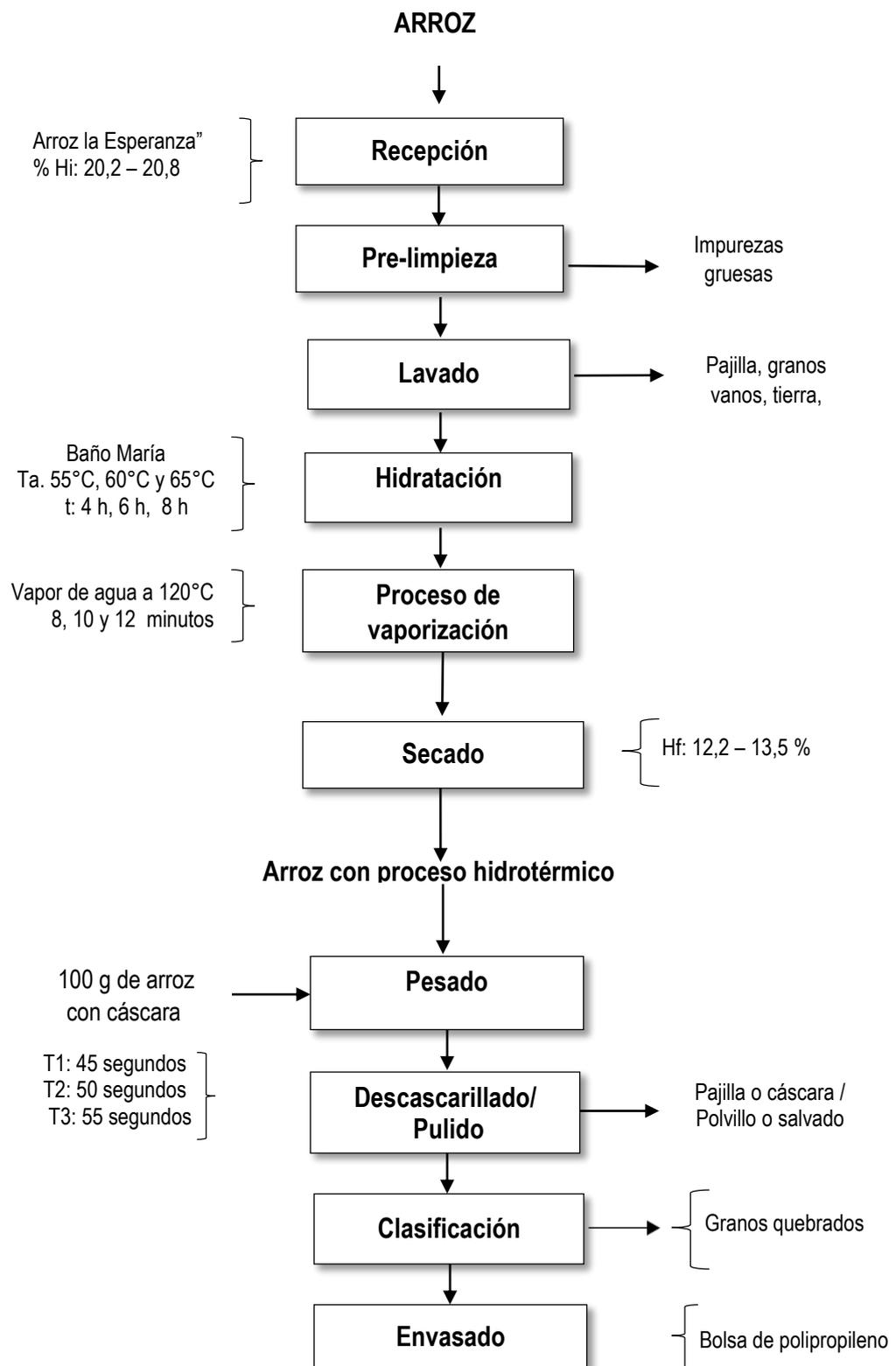


Figura 2: Flujograma del procesamiento hidrotérmico de arroz con cáscara

- **Secado:** todas las muestras fueron secadas en estufa a 50 °C hasta una humedad de 12,2 - 13,5 % corroborado por ROJAS y ROJAS (2018) quienes sostienen que la humedad idónea es de 12,5 -13,5%. La duración del secado está en relación con la humedad con el que se haya recibido el arroz.

- **Pesado:** Se pesa 100 g de arroz seco.

- **Descascarillado y pulido:** por fricción con una máquina denominada descascaradora que actúa sobre el grano, usa dos rodillos de goma que giran a gran velocidad mientras el grano pasa entre ellos. El arroz marrón pasa por una piedra abrasiva cuya fuerza fricción quita el salvado y germen del endospermo (BUGGENHOUT *et al.*, 2013). Tiempo 45, 50 y 55 segundos.

- **Clasificación:** separación de los granos quebrados de los enteros.

- **Envasado:** en bolsa de polietileno para su posterior rotulado y evaluación.

3.5.2. Determinación del rendimiento de grano entero y porcentaje de blancura

Todos los ensayos con proceso hidrotérmico fueron pilados en un molino de Probador para Arroz marca ZACCARIA PAZ-2/DTA (Anexo (XV)). Este equipo está conformado por una sección de descascarado a través de los rodillos de goma con distancia entre sí de 1mm. Se separa la cáscara a través de un canal de aspiración y precipitación en ciclón. Además, presenta una cámara de pulido por piedras abrasivas y freno de goma en la cual ingresa el grano ya descascarado y permanece por el tiempo establecido.

En primera instancia se prende el motor de molino de prueba, luego se pesa una muestra de 100 g y se coloca en la tolva de alimentación, se controla el tiempo (45, 50 y 55 segundos) para descascarar / pulir. Culminado el tiempo se verifica la canasta donde sale el arroz pulido para ser pesado y determinar el rendimiento. Después de colocar los granos de arroz pulido en el clasificador rotativo por 45 segundos, se retira el tambor y se pesa la muestra para separar los granos enteros y quebrados.

El cálculo del rendimiento se realizó utilizando las ecuaciones siguientes:

- **Rendimiento en pila (RP)**

$$RP = \frac{\text{Grano pulidos enteros y quebrados}}{\text{granos total}} \times 100$$

- **Rendimiento de grano pulido entero (RGE)**

$$RGE = \frac{\text{Grano pulidos enteros}}{\text{granos descascarados}} \times 100$$

Granos descascarados o grano integral = 80,4 %

- **Blancura del arroz:** Se obtuvo el porcentaje de blancura mediante un equipo de medidor de blancura ZACCARIA – MBZ – 2, se fundamenta en el principio del índice de reflectividad de la superficie al reflejarse la luz de una fuente por la superficie de la muestra, la cantidad de luz reflejada por la muestra crea una corriente eléctrica que puede ser leída en el equipo, tiene un rango de 15 a 60 % que indica el porcentaje de blancura, transparencia e índice de pulimiento. Es necesario una muestra aproximadamente de 20 gramos de arroz clasificado entero, enrasando la capsula para realizar la lectura.

En el Cuadro 1, se indican los códigos de los tratamientos.

Cuadro 1. Código de los tratamientos para obtener RP, RGE y porcentaje de blancura

Tratamiento	Hidratación		Vaporización	Descarrillado/pulido
	Temperatura (°C)	Tiempo (horas)	Tiempo (min)	Tiempo (s)
T1	55	4	8	55
T2	55	4	8	50
T3	55	4	8	45
T4	55	4	10	55
T5	55	4	10	50
T6	55	4	10	45
T7	55	4	12	55
T8	55	4	12	50
T9	55	4	12	45
T10	55	6	8	55
T11	55	6	8	50
T12	55	6	8	45
T13	55	6	10	55
T14	55	6	10	50
T15	55	6	10	45
T16	55	6	12	55
T17	55	6	12	50
T18	55	6	12	45
T19	55	8	8	55
T20	55	8	8	50
T21	55	8	8	45
T22	55	8	10	55
T23	55	8	10	50
T24	55	8	10	45
T25	55	8	12	55
T26	55	8	12	50
T27	55	8	12	45
T28	60	4	8	55
T29	60	4	8	50
T30	60	4	8	45
T31	60	4	10	55
T32	60	4	10	50
T33	60	4	10	45
T34	60	4	12	55
T35	60	4	12	50
T36	60	4	12	45
T37	60	6	8	55
T38	60	6	8	50

Continúa...

T39	60	6	8	45
T40	60	6	10	55
T41	60	6	10	50
T42	60	6	10	45
T43	60	6	12	55
T44	60	6	12	50
T45	60	6	12	45
T46	60	8	8	55
T47	60	8	8	50
T48	60	8	8	45
T49	60	8	10	55
T50	60	8	10	50
T51	60	8	10	45
T52	60	8	12	55
T53	60	8	12	50
T54	60	8	12	45
T55	65	4	8	55
T56	65	4	8	50
T57	65	4	8	45
T58	65	4	10	55
T59	65	4	10	50
T60	65	4	10	45
T61	65	4	12	55
T62	65	4	12	50
T63	65	4	12	45
T64	65	6	8	55
T65	65	6	8	50
T66	65	6	8	45
T67	65	6	10	55
T68	65	6	10	50
T69	65	6	10	45
T70	65	6	12	55
T71	65	6	12	50
T72	65	6	12	45
T73	65	8	8	55
T74	65	8	8	50
T75	65	8	8	45
T76	65	8	10	55
T77	65	8	10	50
T78	65	8	10	45
T79	65	8	12	55
T80	65	8	12	50
T81	65	8	12	45

3.5.3. Evaluación sensorial

Al tratamiento con mejor rendimiento en grano entero, menor porcentaje de blancura y mejores propiedades fisicoquímicas se realizó un análisis sensorial a fin de determinar la aceptabilidad del arroz con proceso hidrotérmico, 36 panelistas semientrenados evaluaron las muestras mediante el empleo de una escala hedónica de 7 puntos (Anexo IX). Se consideraron los parámetros sensoriales de color, olor, textura, sabor (LÓPEZ *et al.*, 2010). Se les brindó una porción de alrededor de 25 g a cada panelista y se pidió marcar con una “x” según los atributos mencionados.

Adicionalmente, se utilizó una prueba triangular a fin de determinar si se percibe la diferencia entre la muestra de arroz con proceso hidrotérmico y un testigo. Según ESPINOZA (2007) la prueba triangular consiste en presentar tres muestras simultáneamente: dos de ellas son iguales y una diferente, con 50 panelistas semientrenados, quienes evaluaron si existe o no diferencias entre las muestras. Se les proporcionó una muestra de 25 gramos a cada panelista y una ficha en la cual deberían marcar una “X” la muestra diferente Anexo (XIII). Aplicando la fórmula según Stone y Sidel (1978) citado por OLIVAS (2008), con la siguiente ecuación.

$$Z = \frac{X - np - 0,5}{\sqrt{npq}}$$

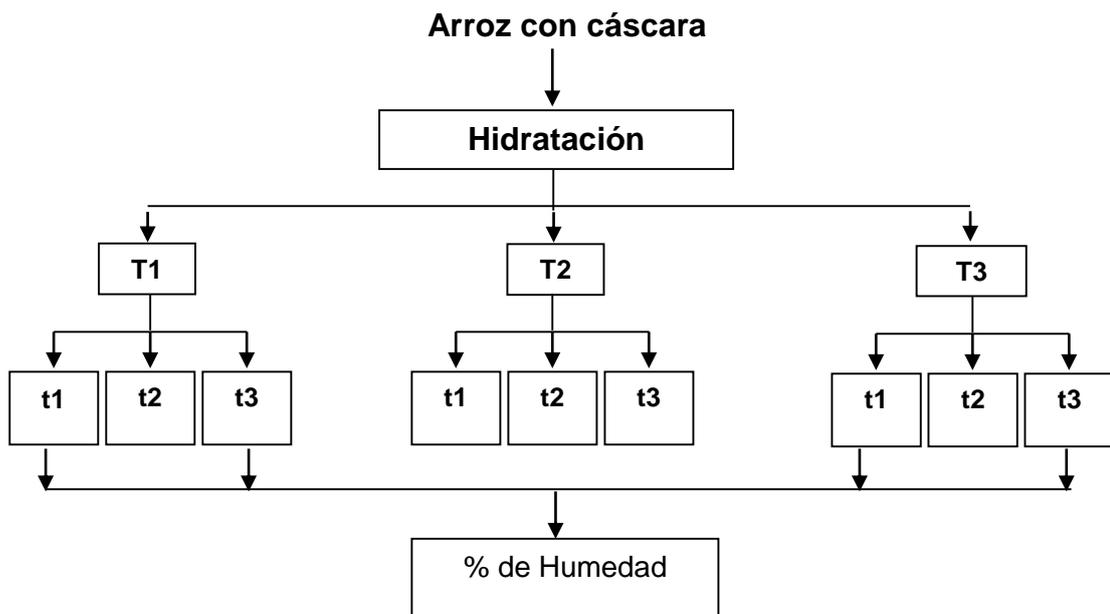
X = Es el número de respuestas correctas

N = Es el número total de respuestas

p y q = Son probabilidades de obtener una respuesta correcta e incorrecta para este caso se utilizó 1/3 para la prueba triangular, 1/2 para dúo – trío

3.6. Diseño experimental

3.6.1. Determinación de la temperatura y tiempo óptimos de hidratación del arroz con cáscara.

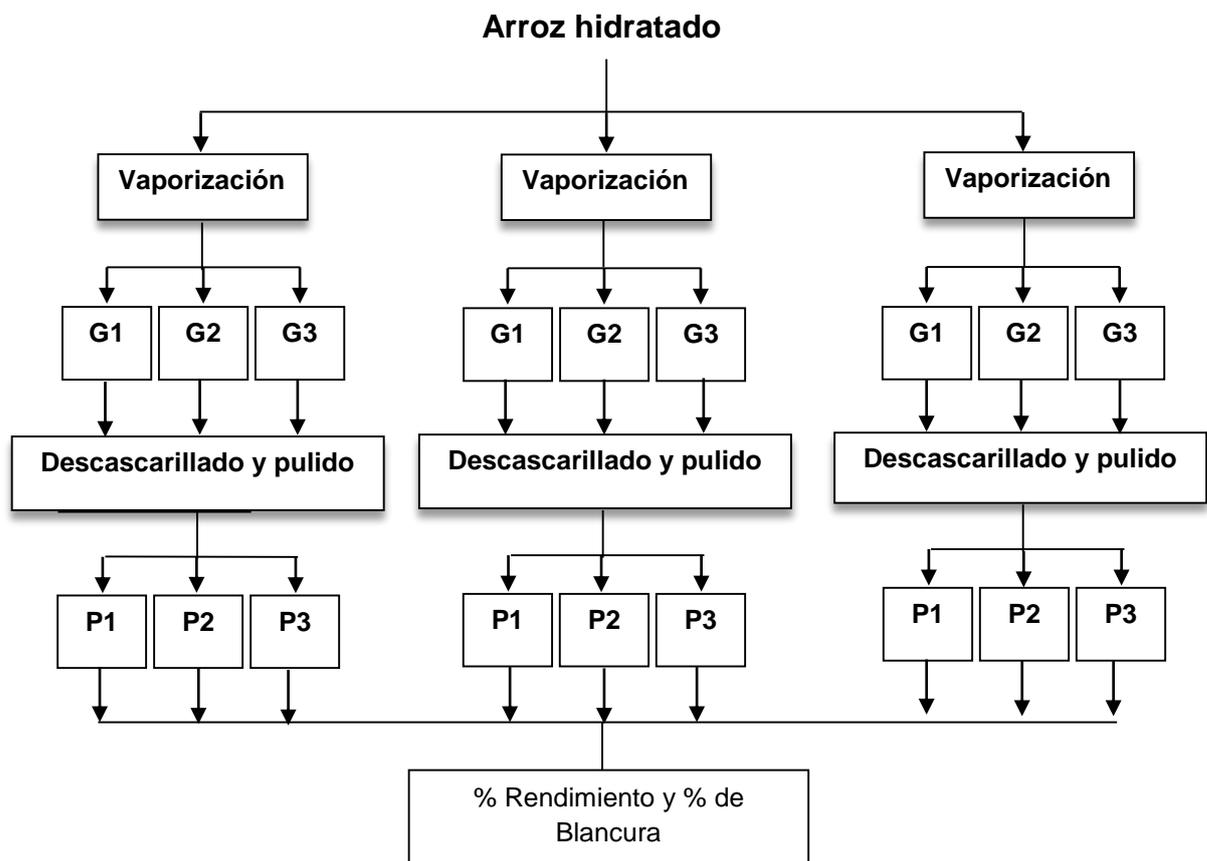


T1, T2, T3 = Temperatura de hidratación: 55, 60, 65 °C

t1, t2, t3 = Tiempo de hidratación 4, 6, 8 horas

Figura 3. Diseño experimental para determinar temperatura y tiempo para la hidratación del arroz.

3.6.2. Determinación del rendimiento en pila, porcentaje de grano entero y blancura después del descascarillado/ pulido



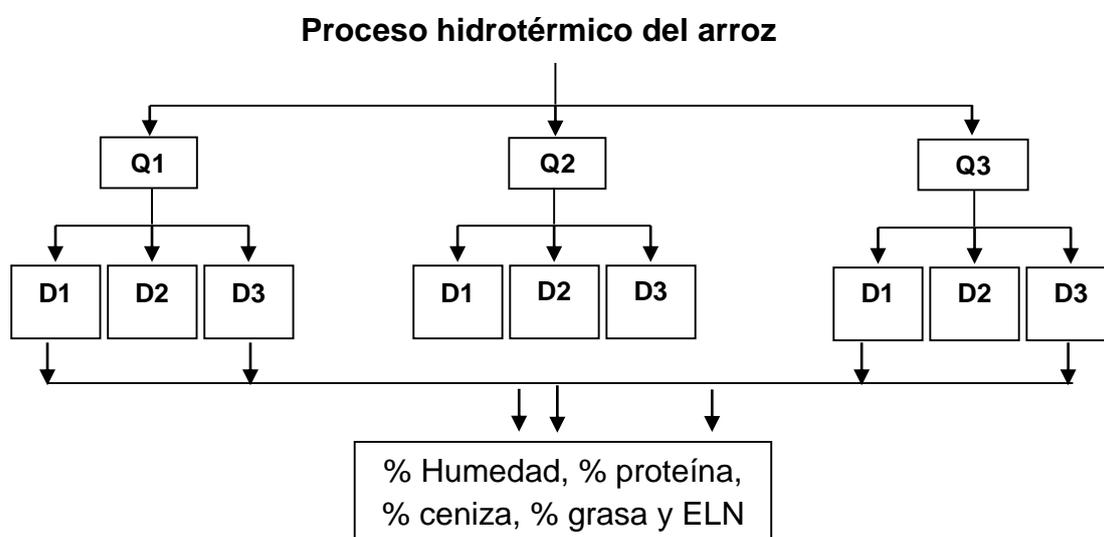
G1, G2, G3 = Tiempo de proceso hidrotérmico a 120 °C: 8, 10 y 12 minutos

P1, P2, P3 = Tiempo de descascarillado y pulido: 45, 50, 55 segundos

Figura 4. Diseño experimental para determinar el porcentaje de rendimiento y blancura

3.6.3. Evaluación fisicoquímica

En la Figura 5, se expresa el diseño experimental para la determinación del porcentaje de humedad, proteína, ceniza, grasa y ELN de los mejores tratamientos (mayor rendimiento de grano entero y menor porcentaje de blancura).



Q1, Q2, Q3 = Tiempo de proceso hidrotérmico a 120 °C: 8, 10 y 12 minutos

D1, D2, D3 = Tiempo de descascarillado y pulido: 45, 50 y 55 segundos

Figura 5. Diseño experimental para determinar el porcentaje humedad, proteína, ceniza, grasa y ELN

3.7. Análisis estadístico

3.7.1. Hidratación del arroz con cáscara

Se aplicó el diseño de bloque completamente al azar (DCA), con arreglo factorial de 3 x 3 (UREÑA, 2000), planteado el modelo matemático:

$$Y_{ij} = U + \alpha_i + \beta_j + (\alpha*\beta)_{ij} + E_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Resultado de la evaluación de porcentaje de humedad

U = Efecto medio de las evaluaciones

α_i = Temperatura de hidratación, 3 niveles: 55, 60 y 65 °C

β_j = Tiempo de hidratación, 3 niveles: 4, 6 y 8 horas

E_{ij} = Error experimental

3.7.2. Rendimiento en grano entero y porcentaje de blancura

Se aplicó el análisis de varianza multifactorial DBCA con arreglo factorial de 3 x 3 x 3 con tres repeticiones, mediante la siguiente formula:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha*\beta)_{ij} + (\alpha*\gamma)_{ik} + (\beta*\gamma)_{jk} + (\alpha*\beta*\gamma)_{ijk} + E_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijk} = Resultado de la evaluación del rendimiento de grano entero y porcentaje blancura

U = Efecto medio de las evaluaciones

α_i = Proceso de hidratación a temperaturas de 55, 60 y 65 °C y tiempos de 4, 6 y 8 horas.

β_j = Tiempo de proceso hidrotérmico a 120 °C, 3 niveles: 8, 10 y 12 minutos

y_k = Tiempo de descascarillado/pulido, 3 niveles: 45, 50, 55 segundos

E_{ij} = Error experimental.

3.7.3. Análisis fisicoquímico

Se aplicó la siguiente ecuación:

$$Y_{ij} = U + \alpha_i + \beta_j + (\alpha*\beta)_{ij} + E_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} : Contenido de humedad, proteína, ceniza, grasa y ENL

U: Efecto medio de las evaluaciones.

α_i : Tiempo de vaporización

β_j : tiempo de descascarillado y pulido

E_{ij} = Error experimental.

Al existir significancia entre los tratamientos, se aplicó la prueba de Tukey, con un nivel de significación del 5%. El análisis estadístico se realizó mediante el software STATGRAPHICS CENTURION XVI.II.

3.7.4. Evaluación sensorial

En la evaluación se tomó la muestra con proceso y sin proceso hidrotérmico para determinar la aceptabilidad del consumidor, mediante la siguiente ecuación:

$$Y_{ij} = U + T_j + r_j + E_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} : Resultado de la evaluación sensorial (color, olor, sabor y textura).

U : Efecto medio de las evaluaciones.

T_j : efecto del tratamiento con proceso y sin proceso hidrotérmico.

r_j : Repeticiones;

E_{ijk} : Error experimental.

Los resultados obtenidos de la evaluación sensorial, se sometieron al análisis de ANOVA simple encontrando estadística, si ($P < 0,05$) se aplicó la prueba de Kuskal Wallis.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Contenido de humedad del arroz con cáscara hidratado

En el Cuadro 2, se muestra los resultados del porcentaje de humedad de los diferentes tratamientos.

Cuadro 2. Humedad del arroz con cáscara hidratado

Temperatura (°C)	Tiempo (horas)	Humedad (%)
55	4	28,580 ± 0,162
	6	30,197 ± 0,031
	8	31,550 ± 0,053
60	4	29,330 ± 0,104
	6	31,577 ± 0,127
	8	33,460 ± 0,113
65	4	29,547 ± 0,076
	6	31,597 ± 0,031
	8	33,600 ± 0,035

El resultado del análisis de varianza que se muestra en el Anexo I, indica diferencia significativa tanto para temperatura como para tiempo de hidratación, por lo que se realizó la prueba de múltiples rangos Tukey ($p \leq 0,05$), resultando con mayor porcentaje de humedad el hidratado a 65 °C por 8 horas y con menor humedad, el hidratado a 55°C por 4 horas (Anexo Ia y Ib).

El arroz hidratado a 55, 60 y 65 °C, se encuentra por debajo de la temperatura de gelatinización (TAHINEZHAD *et al.*, 2015), para un mismo tiempo de hidratación de 8 horas, los valores de humedad fueron 33,6%, 33,46% y 31,55%, es decir que a medida que se incrementa la temperatura y el tiempo de exposición del grano de arroz en agua se incrementa paulatinamente el contenido de humedad. BUGGENHOUT *et al.* (2013) realizaron una hidratación a 55 °C por 30 minutos y 65 °C por 60 minutos obteniendo una humedad final del grano de arroz de 30,0% y 33,6% respectivamente, la diferencia de humedad encontrada en los tratamientos influye en la capacidad de absorción de agua que aumenta con la temperatura de humectación y está relacionado con la presencia de la cáscara que ejerce una barrera a la difusión y con el tipo de arroz (ALTAMIRANO, 2017).

Durante el remojo en agua caliente a 60 a 65 °C, el grano absorbe mayor contenido de humedad alcanzando un 30 – 35 % en dos o cuatro horas, dependiendo de la variedad (MOHAMEED, 2011). ROJAS y ROJAS (2018) afirman que a medida que transcurre el tiempo de hidratación se observa un incremento del contenido de humedad. A 4 horas de remojo a tres temperaturas distintas alcanza una humedad de 29,547%; 29,330 % y 28,580%, se observa claramente, que a medida que disminuye el tiempo de hidratación, los granos absorben menos humedad (SARANGAPANI *et al.*, 2015 y DUTTA *et al.*, 2016) quienes mencionan que el contenido de humedad debe aproximarse a 30% para que el almidón absorba la mayor cantidad posible de agua durante el remojo sin deformar los granos para así completar la gelatinización en el proceso de vaporización.

Los granos de arroz con cáscara sometidos a 65 °C por 8 horas en agua caliente absorben mayor humedad (33,6%). La condición óptima de hidratación de la muestra final debe ser de 35% de contenido de humedad (TAGHINEZHAD *et al.*, 2015), estas diferencias se deben a las características físicas y composición (color, tamaño, composición química, cáscara, etcétera) (ROJAS y ROJAS, 2019). Las largas horas de hidratación en calor, no solo facilita la absorción de agua sino que reduce aún más las sustancias tóxicas como aflatoxinas; el empaparse de buen contenido de humedad asegurará una buena gelatinización y consecuentemente buen arroz sancochado, esto explica porqué el arroz empapado con óptimo nivel de humedad dio buen arroz que a diferencia por un periodo corto de hidratación (AYAMDOO *et al.*, 2013). El contenido de humedad debe elevarse a un nivel apreciable durante el periodo de hidratación, por lo contrario, el vapor por sí solo no puede mejorar la calidad del arroz sancochado (AYAMDOO *et al.*, 2015). El almidón tiene que ser completamente gelatinizado para garantizar la ausencia de vientres blancos y los niveles de granos fisurados mínimos en el producto final sancochado como consecuencia de la disminución de la rotura de fresado (BUGGENHOUT *et al.*, 2013).

4.2. Rendimiento de grano entero y porcentaje de blancura

Los resultados que se presentan en el Cuadros 3, indican el rendimiento de grano entero, porcentaje de grano entero, granos quebrados y porcentaje de blancura para los diferentes tratamientos con proceso hidrotérmico.

Cuadro 3. Rendimiento de grano entero y porcentaje de blancura del grano con proceso hidrotérmico

Tratamiento	G. Enteros (%)	G. Quebrado (%)	RP (%)	RGE * (%)	Blancura (%)
T1	58,633 ± 0,253	13,367	72,000	72,927	33,700 ± 0,173
T2	58,833 ± 0,153	13,167	72,000	73,176	33,600 ± 0,200
T3	59,000 ± 0,100	13,000	72,000	73,383	33,233 ± 0,252
T4	59,533 ± 0,153	12,567	72,100	74,046	33,733 ± 0,058
T5	60,067 ± 0,115	11,933	72,000	74,710	33,567 ± 0,058
T6	60,500 ± 0,200	11,533	72,033	75,249	33,067 ± 0,115
T7	59,933 ± 0,115	12,200	72,200	75,083	33,700 ± 0,173
T8	60,367 ± 0,153	11,833	72,166	75,415	33,600 ± 0,200
T9	60,633 ± 0,058	11,533	72,133	74,544	33,233 ± 0,252
T10	59,767 ± 0,185	12,600	72,367	74,337	31,567 ± 0,208
T11	60,167 ± 0,274	12,180	72,347	74,710	31,200 ± 0,265
T12	60,300 ± 0,987	12,033	72,300	75,041	31,133 ± 0,231
T13	60,800 ± 0,173	11,633	72,433	75,746	31,433 ± 0,115
T14	60,900 ± 0,361	11,467	72,367	76,783	31,133 ± 0,115
T15	60,967 ± 0,351	11,400	72,367	75,829	31,133 ± 0,200
T16	61,533 ± 0,416	11,300	72,833	76,534	30,100 ± 0,100
T17	61,667 ± 0,462	11,100	72,767	76,700	29,933 ± 0,058
T18	61,733 ± 0,404	10,867	72,600	76,783	29,833 ± 0,058
T19	62,533 ± 0,580	11,667	74,200	77,778	31,633 ± 0,153
T20	62,800 ± 0,173	11,333	74,167	77,985	31,533 ± 0,058
T21	62,933 ± 0,115	11,233	74,133	78,275	31,267 ± 0,058
T22	63,000 ± 0,000	11,433	74,433	78,358	30,533 ± 0,208
T23	63,033 ± 0,058	11,000	74,133	78,400	30,533 ± 0,208
T24	63,100 ± 0,173	11,033	74,033	78,483	30,400 ± 0,361
T25	63,567 ± 0,115	10,767	74,333	79,063	29,667 ± 0,115
T26	63,733 ± 0,208	10,533	74,267	79,270	29,433 ± 0,208
T27	63,833 ± 0,058	10,400	74,233	79,395	29,167 ± 0,115

Continúa ...

T28	59,433 ± 0,115	12,767	72,266	73,383	31,667 ± 0,153
T29	59,733 ± 0,231	12,433	72,266	73,176	31,367 ± 0,058
T30	60,033 ± 0,208	12,233	72,200	72,927	31,167 ± 0,058
T31	59,533 ± 0,115	12,633	72,333	74,046	31,533 ± 0,115
T32	59,967 ± 0,451	12,233	72,200	74,710	31,367 ± 0,153
T33	60,133 ± 0,416	12,200	72,166	75,249	31,267 ± 0,208
T34	59,933 ± 0,208	12,333	72,433	75,415	30,367 ± 0,153
T35	60,300 ± 0,000	11,967	72,267	75,083	30,100 ± 0,100
T36	60,567 ± 0,231	11,866	72,266	74,544	30,067 ± 0,058
T37	65,933 ± 0,115	8,000	74,100	82,629	31,567 ± 0,115
T38	66,433 ± 0,115	7,600	74,033	82,836	31,300 ± 0,058
T39	66,600 ± 0,173	7,500	73,933	82,919	31,000 ± 0,462
T40	66,100 ± 0,100	8,000	74,143	82,214	30,833 ± 0,115
T41	66,600 ± 0,100	7,333	74,100	82,836	29,933 ± 0,058
T42	66,667 ± 0,115	7,476	73,933	82,919	29,433 ± 0,462
T43	67,633 ± 0,153	6,367	74,033	84,121	29,700 ± 0,200
T44	68,233 ± 0,153	5,800	74,033	84,867	29,500 ± 0,100
T45	68,252 ± 0,208	5,800	74,000	84,891	28,733 ± 0,115
T46	71,567 ± 0,513	2,960	74,563	89,013	30,833 ± 0, 416
T47	71,637 ± 0,416	2,930	74,567	89,096	30,667 ± 0,289
T48	71,663 ± 0,115	2,900	74,527	89,138	30,433 ± 0,493
T49	71,567 ± 0,513	2,900	74,499	89,096	30,833 ± 0,416
T50	71,667 ± 0,416	2,800	74,467	89,013	30,667 ± 0,289
T51	71,633 ± 0,115	2,866	74,799	89,138	30,433 ± 0,493
T52	73,033 ± 0,252	1,700	74,467	91,086	28,867 ± 0,058
T53	73,200 ± 0,265	1,566	74,766	91,045	28,600 ± 0,153
T54	73,233 ± 0,231	1,566	74,733	90,837	28,367 ± 0,058

Continúa ...

T55	60,567 ± 0,208	11,600	72,209	75,332	30,033 ± 0,058
T56	60,600 ± 0,200	11,366	71,966	75,373	29,867 ± 0,058
T57	60,976 ± 0,058	11,233	72,167	75,829	29,800 ± 0,100
T58	61,567 ± 0,321	10,666	72,300	76,575	29,833 ± 0,058
T59	61,800 ± 0,265	10,466	72,266	76,866	29,733 ± 0,208
T60	61,900 ± 0,100	10,400	72,233	76,990	29,500 ± 0,200
T61	62,067 ± 0,153	10,433	72,500	77,197	29,167 ± 0,153
T62	62,267 ± 0,115	10,233	72,500	77,446	29,133 ± 0,569
T63	62,400 ± 0,100	10,100	72,500	77,612	29,033 ± 0,404
T64	71,133 ± 0,115	3,300	74,433	88,474	29,267 ± 0,153
T65	71,300 ± 0,173	3,000	74,330	88,682	29,167 ± 0,153
T66	71,500 ± 0,300	2,781	74,233	88,930	29,033 ± 0,058
T67	71,600 ± 0,100	2,700	74,333	89,055	28,633 ± 0,153
T68	71,700 ± 0,173	2,600	74,300	89,179	28,400 ± 0,200
T69	72,033 ± 0,252	2,300	74,300	89,594	28,300 ± 0,173
T70	71,867 ± 0,115	2,500	74,433	89,386	28,333 ± 0,153
T71	72,133 ± 0,115	2,266	74,399	89,718	27,633 ± 0,153
T72	72,367 ± 0,058	2,066	74,367	90,008	27,533 ± 0,115
T73	73,000 ± 0,100	1,500	74,533	90,796	28,700 ± 0,173
T74	73,033 ± 0,115	1,500	74,500	90,837	28,433 ± 0,058
T75	73,133 ± 0,153	1,366	74,499	90,962	28,267 ± 0,115
T76	73,200 ± 0,100	1,456	74,656	91,045	28,300 ± 0,173
T77	73,333 ± 0,153	1,300	74,633	91,211	28,167 ± 0,115
T78	73,367 ± 0,058	1,233	74,600	91,252	28,033 ± 0,058
T79	74,067 ± 0,208	1,067	75,167	92,123	27,133 ± 0,153
T80	74,133 ± 0,306	1,000	75,133	92,206	26,633 ± 0,058
T81	74,267 ± 0,231	0,9	75,134	92,371	26,233 ± 0,058

G. Quebrados: Granos rotos RP : Rendimiento pila RGE: Rendimiento de grano

Según los resultados del Cuadro 3 y el análisis de varianza multifactorial que se detalla en los Anexos II y III para rendimiento de grano entero y porcentaje de blancura respectivamente, existe diferencia significativa para los efectos de temperatura, tiempo de hidratación, tiempo de vaporización y tiempo de descascarillado/pulido así como para las interacciones: temperatura de hidratación-tiempo de hidratación, temperatura de hidratación-tiempo de vaporización ($P < 0,05$). Luego de realizada la prueba Tukey (Anexo IIa al IIId y IIIa al IIId) se comprueba que existe mayor rendimiento de grano entero al hidratarse el arroz con cáscara a 65 °C por 8 horas, vaporizarse por 12 minutos con 45 segundo de descascado /pulido; estas mismas condiciones dan mejor porcentaje de blancura, es decir hubo efecto positivo de tratamiento hidrotérmico en el grano de arroz.

Los tratamientos T1 al T27 presentaron bajo rendimiento en pila de 72 a 74,233% y de grano entero de 72,927 a 79,395%, muestran valores aceptables por lo recomendado por ZAMORA (2019) quién afirma que un arroz de buena calidad molinera debe superar el 68% de rendimiento en pila y debe presentar mas del 50 % de grano entero (CASTILLO, 2016). Estos ensayos muestra mayor cantidad de granos quebrados (10,4 al 13,367%) que se debe a la susceptibilidad a la rotura en la molienda por la presencia de vientres blancos y granos de arroz fisurados (OLI *et al.*, 2014), impactando negativamente en la producción de arroz cabeza y en la calidad del producto final (BUGGENHOUT *et al.*, 2014). El objetivo primordial de la coccion es mejorar la calidad de arroz y obtener un rendimiento superior en la molienda (OYEDELE y ADEOTI, 2017). El porcentaje de blancura de 33,700 – 29,167% y se observa que disminuye a

medida que se incrementa el tiempo de vaporización mostrándose un ligero cambio de color de blanco cremoso a opaco, como consecuencia de la aplicación de vapor que tiene un efecto considerable en el color (MOHAMMED, 2011)

En los ensayos T28 al T54, hay un incremento de temperatura y tiempo de hidratación y se ve reflejada en el aumento del rendimiento en pila de 72,266 a 74,733%, grano entero, de 73,383 a 90,837% y es inversamente proporcional a la cantidad de granos quebrados de 12,767 a 1,566%, que disminuye considerablemente y también influye el efecto del tiempo de vaporización, esto se debe a que durante el proceso de sancochado se minimizan las fisuras internas y roturas durante la molienda, es decir se pegan las gritas en el interior del endospermo (KUMAR *et al.*, 2018). El porcentaje de blancura fue de 31,667 a 28,376%, este último valor presenta los granos de arroz tornando a un color amarillo. El arroz sancochado tiene un color diferente al arroz no vaporizado (OLI *et al.*, 2014).

En el T55 al T81, se empleó mayor temperatura y tiempo de hidratación y más tiempo de vaporización mostrando un incremento en el rendimiento en pila de 72,209 a 75,134% y en grano entero de 75,332 a 92,371%, esto se debe a un hinchamiento irreversible de los gránulos de almidón (TAGHINEZHAD *et al.*, 2016; KWOFIE y NGADI, 2017), y a la intensidad del proceso de vaporización, clave para la producción de arroz de buena calidad (AYAMDOO *et al.*, 2015) pero también se deben de considerar que los tiempos de vaporización más largos daría lugar a la deformación severa del grano, junto con la liberación del endospermo después de la absorción de humedad excesiva y los granos deformados son más susceptibles a que se

pierdan durante la molienda (TAGHINEZHAD *et al.*, 2016). La cantidad de granos quebrados disminuyó entre 11,600 – 0,900%. BUGGENHOUT *et al.* (2014) refiere que la susceptibilidad a la rotura en la molienda oscila desde menos 1% hasta 11,3% para el arroz sancochado y porcentaje de blancura de 30,330-26,233%, la apariencia del grano es más translucido tornando a un color amarillo oscuro o ámbar y el arroz sancochado en bruto a altas temperaturas y largos tiempos de vaporización generalmente producen un producto más oscuro y más duro (TAGHINEZHAD *et al.*, 2015; BHATTACHARYA *et al.*, 2013); el color ámbar podría deberse al pardeamiento no enzimático por la reacción Malliard (OLI *et al.*, 2014; EJEBE *et al.*, 2015 y CHAVAN *et al.*, 2016).

El T73 al T81, registran valores más altos de rendimiento en pila de 74,533 – 75,134%, grano entero 90,796 – 92,371%, menor cantidad de granos quebrados de 1,5 – 0,9%, esto indica que la mayor temperatura y tiempo de hidratación y considerando de gran importancia el tiempo de autoclave, repercuten en la calidad y el rendimiento de molinería. PINAZO (2017) menciona que la calidad del grano de arroz se puede medir por el rendimiento en molinería en porcentaje de grano entero, apariencia y por su calidad culinaria. La grietas y fisuras de los granos son sellados obteniendo menor porcentaje de granos rotos o partidos ya que tienen mayor resistencia mecánica que hace que sean menos susceptibles a la rotura durante la molienda (OLI *et al.*, 2014). Tanto el remojo como el vapor son condiciones de impacto para el grado de gelatinización del almidón durante el sancochado (BUGGENHOUT *et al.*, 2013). El porcentaje de blancura oscila en el rango de 28,7 a 26,233%, es decir, al aplicar vapor suficiente a los granos de arroz en la autoclave, con tiempo de 12 minutos se

obtendrán mejores resultados en el color final del grano. BHATTACHARYA *et al.* (2013) indican que los granos de arroz vaporizados son translucidos, duros, vidriosos y que además tienen un color ámbar tenue (amarillo-marrón). TAGHINEZHAD *et al.* (2015) asegura que el arroz sancochado en bruto a altas temperaturas y largos tiempos de vaporización generalmente producen un producto más oscuro y más duro.

Los resultados obtenidos en la muestra “patrón” de arroz sin proceso hidrotérmico registran un menor porcentaje de rendimiento integral de 80,1%, rendimiento en pila 72,4%, rendimiento de grano entero 56,5%, mayor cantidad de granos quebrados 14,1%, impurezas 3% y porcentaje de blancura 36,4%. Estos valores muestran que el arroz con proceso tradicional traería desventaja en calidad de grano y pérdidas económicas.

4.3. Propiedades fisicoquímicas del tratamiento con mejor rendimiento tratamiento hidrotérmico

En el Cuadro 4, se presentan los resultados de la evaluación fisicoquímica del tratamiento con mayor rendimiento en grano entero y menor porcentaje de blancura.

Cuadro 4. Resultado del análisis fisicoquímico del tratamiento con mejor rendimiento en grano entero

Tratamientos	ANÁLISIS PROXIMAL				
	Humedad (%)	Proteína (%)	Ceniza (%)	Grasa (%)	ELN (%)
T73	12,349 ± 0,09 ^a	8,330 ± 0,00 ^b	0,832 ± 0,06 ^b	0,245 ± 0,00 ^b	78,244 ± 0,00 ^b
T74	12,365 ± 0,08 ^a	8,699 ± 0,32 ^b	0,845 ± 0,06 ^b	0,250 ± 0,10 ^b	77,841 ± 0,00 ^b
T75	12,589 ± 0,10 ^a	8,792 ± 0,16 ^b	0,862 ± 0,06 ^b	0,290 ± 0,04 ^b	77,467 ± 0,00 ^b
T76	12,362 ± 0,43 ^a	8,883 ± 0,48 ^b	0,868 ± 0,27 ^b	0,315 ± 0,05 ^b	77,572 ± 0,00 ^{ab}
T77	12,365 ± 0,08 ^a	9,162 ± 0,00 ^b	0,874 ± 0,06 ^b	0,325 ± 0,18 ^b	77,274 ± 0,00 ^{ab}
T78	12,967 ± 0,36 ^a	9,254 ± 0,32 ^b	0,878 ± 0,09 ^b	0,330 ± 0,05 ^b	76,571 ± 0,00 ^{ab}
T79	12,343 ± 0,29 ^a	10,070 ± 0,00 ^a	0,895 ± 0,04 ^a	0,405 ± 0,46 ^a	77,182 ± 0,00 ^a
T80	12,200 ± 0,77 ^a	10,165 ± 0,16 ^a	0,897 ± 0,08 ^a	0,440 ± 0,30 ^a	76,298 ± 0,00 ^a
T81	13,437 ± 0,07 ^a	10,270 ± 0,00 ^a	0,989 ± 0,06 ^a	0,530 ± 0,29 ^a	74,774 ± 0,00 ^a

ELN: Carbohidratos

Al realizar el ANVA de los resultados de la evaluación fisicoquímica (Anexo IV al VIII), se observa que no existe diferencia significativa en el contenido de humedad con el tiempo de autoclavado ni con tiempo de descascarado/pulido.

Con respecto al contenido de proteína, ceniza, grasa y ENL, existe diferencia significativa ($p < 0,05$) con el tiempo de autoclavado. Se realizó la prueba Tukey (Anexo Va al VIIIa) en el que se comprueba que el tratamiento con 12 minutos de tiempo de autoclavado presenta mayor contenido de proteína, ceniza, grasa y ELN (Carbohidratos).

El contenido de humedad de todos los tratamientos estuvo entre 12,2 a 13,4%. ROJAS y ROJAS (2018) indican que la humedad idónea es de 12,5 a 13,5%; los valores encontrados son menores a lo establecido por la NTP 205,011 (2014) que indica que los límites de contenido de humedad deben ser como máximo de 14%. (TUCHTENHAGEN *et al.*, 2018 y CHAVAN *et al.*, 2016).

Los mayores contenidos de proteína (10,07; 10,165 y 10,27%) se encontraron en los tratamientos T79, T80 y T81 siendo estadísticamente iguales. CHAVAN *et al.* (2016) indican un contenido de proteína de 10,28%, mayor a los tratamientos T73 al T78 que presentan 8,33 a 9,254% siendo éstos estadísticamente iguales; es posible que no hubo efecto del vapor en los granos de arroz y se haya perdido gran parte en el proceso de pulido.

Los mayores porcentajes de ceniza se encontraron en los tratamientos T79, T80 y T81 (0,895; 0,897 y 0,989%). CHAVAN *et al.* (2016) encontraron 2,16% de ceniza, este aumento es por la duración del sancochado. Los tratamientos T76 al T81 presentan menores contenidos de ceniza (0,832 al 0,878%) y en los que no

existe diferencia significativa.

Los mayores contenidos de grasa se encontraron en los tratamientos T79, T80 y T81 (0,405; 0,44; 0,53%), siendo estadísticamente iguales. Los tratamientos T73 al T78 presentan los menores contenidos (0,245 - 0,33%) siendo estadísticamente iguales.

Para el porcentaje de carbohidratos (ELN), los tratamientos T76 al T81, (77,572 a 74,744%) son estadísticamente iguales, igualmente los tratamientos T73 al T78 (78,244 a 76,571%) son estadísticamente iguales y con valores más altos. CHAVAN *et al.* (2016) mencionan que el sancochado aumenta el contenido de carbohidratos de 71,92% al 76,08%.

4.4. Evaluación sensorial de arroz con proceso y sin proceso hidrotérmico

En el Cuadro 5, se presentan los resultados de la evaluación de los distintos atributos, obtenidos según la ficha presentada en el Anexo IX. Para esta evaluación sensorial se eligió al mejor tratamiento considerando lo siguiente: el porcentaje de rendimiento de grano entero, menor porcentaje de blancura y mejores características fisicoquímicas, por lo que se tomó el tratamiento (T81) y se comparó con el arroz sin proceso hidrotérmico mediante la prueba hedónica.

Cuadro 5. Resultado de la evaluación sensorial del mejor tratamiento (T81) y uno sin proceso hidrotérmico

Tratamiento	Atributos			
	Color	Olor	Textura	Sabor
Con proceso	3,611 ± 0,803 ^a	6,611 ± 0,688 ^a	4,972 ± 0,845 ^a	4,972 ± 0,952 ^a
Sin proceso	2,083 ± 0,697 ^b	5,944 ± 0,447 ^a	3,694 ± 0,950 ^b	5,000 ± 0,862 ^a

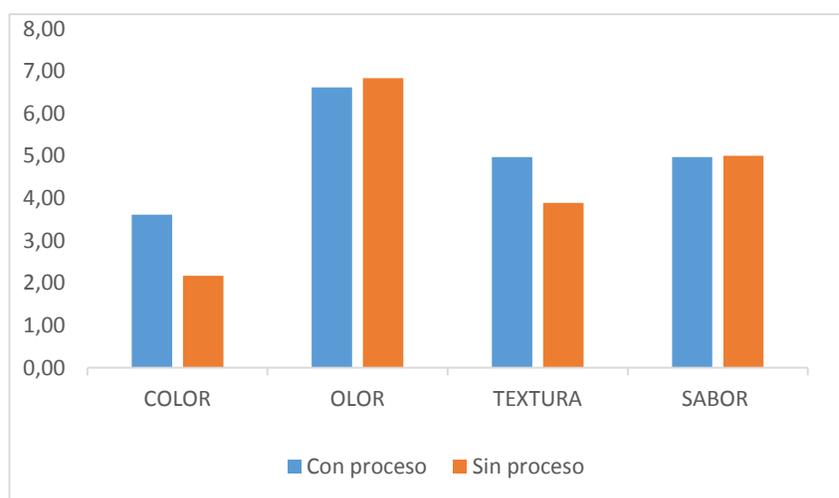


Figura 5. Resultado de la evaluación sensorial del arroz con proceso y sin proceso hidrotérmico

Según los resultados del análisis de varianza (ANOVA) (Anexo X al XII) no existe diferencia significativa en los atributos olor y sabor de las dos muestras, sin embargo para los atributos color y textura se observa que hay diferencia significativa, en tal sentido se escogió la prueba no paramétrica Kruskal

Wallis la cual compara las medianas a un nivel de 95,0% de confianza Anexo Xa y XIIa, como se ilustra en la Figura 4, mediante diagrama de barras presentan el promedio del análisis sensorial, indicando que el arroz con proceso hidrotérmico tiene mayor puntuación con respecto a color (6,611) (amarillo ámbar y amarillo intenso) y textura (4,972) (graneado y parcialmente graneado), decir que tiene mayor preferencia. La calificación para textura alcanzó una puntuación promedio de 4,972. EJEBE (2013) afirma que la temperatura de remojo y la duración del remojo afectan en el color, olor y el sabor del arroz, sin embargo, para el arroz sin proceso (arroz blanco) registra una calificación de color de 2,083 (blanco cremoso) y textura 3,694 (ligeramente graneado y parcialmente graneado).

De manera semejante se realizó la prueba triangular de tipo discriminativo con la finalidad de determinar si el panelista detecta diferencia significativa entre la muestra con proceso (T81) y la muestra sin proceso. Según la ficha A (XIV), al realizar el conteo de aciertos y desaciertos como se detalla en el Anexo (XIVa), la aplicación de la fórmula propuesta por Stone y Sidel (1978), citado por OLIVAS (2008), se encontró un valor $Z = 5,35$ que es mayor a $Z_t = 1,64$, que indica que existe diferencia significativa entre los dos muestras con una probabilidad de 95%.

V. CONCLUSIONES

Según los resultados encontrados se concluye lo siguiente:

- La temperatura y tiempo óptimo de hidratación del arroz con cáscara fue de 65 °C por 8 horas llegando a una humedad de 33,6%.
- El tratamiento con proceso hidrotérmico (hidratación del grano con cáscara 65 °C/8 horas, 12 minutos de vaporización y 45 segundos de descascarado/pulido) presentó mayor rendimiento en grano entero (92,371%) y menor cantidad de granos quebrados (0,9%).
- El tratamiento con proceso hidrotérmico (hidratación del grano con cáscara a 65 °C/8 horas, 12 minutos de vaporización y 45 segundos de descascarado/pulido) presentó un porcentaje de proteína de 10,270%, ceniza 0,989% y grasa 0,530%.
- La evaluación sensorial del arroz con proceso hidrotérmico (T81), presenta mayor calificativo con respecto al atributo de color (3,611), color amarillo y mejor textura (4,972) comparado con el arroz blanco (sin proceso). La prueba triangular demuestra que el arroz con tratamiento hidrotérmico es diferente a la muestra testigo (arroz blanco), con un valor $Z= 5,35$.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar investigaciones de procesamiento hidrotérmico con diferentes variedades de arroz como Conquista, Puntilla, Santa Bárbara procedentes de la provincia San Martín.
- Realizar análisis de vitaminas y minerales del arroz con proceso hidrotérmico de la variedad estudiada.

Realizar estudios de secado de arroz parbolizado por diferentes métodos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTAMIRADO, M. 2017. Estudio de la cinética de hidratación de arroz tipo “Senia” blanco e integral. Tesis Mag. Valencia. Universidad Politécnica de Valencia. 18P
- A.O.A.C. 2008. N° 928.08. Determinación de proteína método Kjeldhal equipo automático. [En línea]: [http://www.ispch.cl/sites/default/files/documento_tecnico/2010/05/ME-11.02-73%20\(V2\)%20Determinaci%C3%B3n%20de%20proteinas%20Kjeldhal.pdf](http://www.ispch.cl/sites/default/files/documento_tecnico/2010/05/ME-11.02-73%20(V2)%20Determinaci%C3%B3n%20de%20proteinas%20Kjeldhal.pdf)
- AYAMDOO A. J., AMIKIZUNU, J., ABDUL, R. A. 2015. Effects of varied parboiling conditions on proximate and mineral composition of Jasmine 85 and Nerica-14 rice varieties in Ghana. *Rev. Food Res. Ghana.* 1(1): 1-11.
- AYAMDOO J. A., DEMUYAKOR B., DOGBE W., OWUSU R. 2013. Parboiling of paddy rice, the science and perceptions of it as practiced in Northern Ghana. *Int. J. Sci. & Technol. Res.* 2(4):13-18. Bhattacharya K. R. (1985). Parboiling of rice. In: *Rice chemistry and*
- BUGGENHOUT, J., BRIJS, K., VAN OEVELEN, J., DELCOUR, J. A. 2014. Milling breakage susceptibility and mechanical properties of parboiled brown rice kernels *LWT. Food Science and Tec.* 59(1): 369–375.

- BUGGENHOUT, J., BRIJS, K., CELUS, I., DELCOUR, J.A. 2013. The breakage susceptibility of aw and parboiled rice: A review. Food Eng. Heverlee, Bélgica. 117(1): 304-315
- BELLO, M. O. 2009. Procesamiento hidrotérmico de arroz cáscara. Efecto de las condiciones de hidratación y cocción en el rendimiento, textura y propiedades térmicas del grano elaborado. Tesis Dr. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. 208 p.
- BUGGENHOUT, B., BRIJS, K., DELCOUR, J.A. 2013. Impact of Starch Gelatinization and Kernel Fissuring on the Milling Breakage Susceptibility of Parboiled Brown Rice. Cereal Chem. 90(5): 490 - 496.
- CEAVICHAY, K., VALENZUELA, J. 2012. Variedades de arroz pilado caracterización física, tecnológica y reologica. Tesis Ing. Alimentos. Guayaquil, Ecuador. Escuela superior politécnica del Litoral. 90 p.
- CERDA, V., VÁSQUEZ, L. 2017. Calidad física y culinaria de arroz. Ing. Y Des. En Ciencias y Tec. De Alim. México. 2(1): 34-40.
- CHAVAN, P., SR, S. MITTAL, T., MAHAJAN, G., GUPTA, S. 2016. Optimization of parboiling parameters to improve the quality characteristics of pusa basmmati 1509. Food. Pro.Eng.
- CRUZADO, L. 2015. Propiedades físicas y cinética de hidratación durante la cocción de 3 cultivares de *Oryza sativa* "Arroz" provenientes del Valle. Tesis Ing. Agroindustrial. Trujillo, Perú. Univeridad Nacional de Trujillo. 44 p.

- DUTTA, H., LATA, C., SINGH, V. 2015. Changes in the properties of rice varieties with different amylose content on dry heat parboiling. *Cereal Sci. ASSAM, India.* 1 (1): 227-235
- DUTTA, H., MAHANTA, C.L. 2012. Effect of hydrothermal treatment varying in time and pressure on the properties of parboiled rice with different amylose content. *Food Res.* 49, 655 – 663.
- EJEBE, C., DANBABA, N., NGADI, M. 2015. Effect of steaming on physical and thermal properties of parboiled rice. *Sci. and tech. Badeggi, Nigeria.* 4(4): 71-80
- EJEBE, C. 2013. Parboiling characteristics of selected rice varieties from Nigeria. Montreal, Quebec. Universidad McGill. 75 p
- ESPINOZA, J. 2007. Evaluación sensorial de los alimentos. La Habana, Cuba, Ed. Universitaria. 116 p
- FRIEDMAN, A., WEIL, B. 2010. Arroz, negocio creciente. Unidet. [En línea]: States Agency International Development, [https://www.usaid.gov/sites/default/files, documents arroz](https://www.usaid.gov/sites/default/files/documents/arroz), 20 set. 2019.
- HAPSARI, A.H., KIM, S.J., EUN, J.B. 2016. Physical characteristics of parboiled Korean glutinous rice (Olbyeossal) using a modified method. *Food Science and Tech. Corea del Sur.* 68(1): 499-505.
- INIA. 2010. Instituto Nacional de Innovación Agraria. Arroz INIA 509 “La esperanza”. [En línea]: [http://es.scribd.com/doc/64066064/La Esperanza - 1-1](http://es.scribd.com/doc/64066064/La-Esperanza-1-1), documentos 23 Mar. 2018.

- KUMAR, V., SINGH, J., CHAUHAN, N., CHANDRA, S., YADAV, M. 2018. Process of paddy parboiling and their effects on rice. *Pharmac and phytochem. India.* 1(1): 1727-1734.
- KUMAR, S.K., PRASAD. 2013. Effect of paddy parboiling and rice puffing on physical, óptica and aerodynamic characteristics. *International. Agric. And food.* 4(8): 765- 770.
- KWOFIE, E.M., NGADI, M. 2017. A riew of rice parboiling systems, energy supply, and consumption. *Ren. And Sust. Ener y reviews.* Quebec, Canada. 72(1): 465-472.
- LÓPEZ, R., GUSTAVO, A., QUESTA., RODRIGUEZ, S. 2010. Efecto de luz uva Sobre las propiedades antioxidantes y calidad sensorial de repollo mínimamente procesado, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos. *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal.* 1(6): 43-48.
- LOUBES, M. A. 2015. Molienda seca y humedad de arroz en molino planetaria. Cinética de la molienda, efecto de las condiciones de molienda en las propiedades funcionales de la harina y del almidón y diseño de mezclas para pastas sin gluten. Tesis Dr. Ciencias Exactas y Naturales. Buenos Aires, Argentina. Universidad de Buenos Aires. 256 p.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGOS. 2019. Informe: IV Censo nacional de arroz en molinos, almacenes y comercios mayoristas 2019. Lima, Perú. 13p. [En línea]:

- ([http://siea.minagri.gob.pe/siea/sites/default/files/IV_CENSO_NACIONAL_ARROZ-2019%20\(1\).pdf](http://siea.minagri.gob.pe/siea/sites/default/files/IV_CENSO_NACIONAL_ARROZ-2019%20(1).pdf). Informe, 20 dic. 2019.).
- MOHAMEED, I. 2011. Effect of parboiling the quality of processed degan rice (*Oriza spp*). Mag. of ciencia. Ghana. University of Sciece and Technology in Partial fulfillment of the requeriments for the degree of. 71p.
- NORMA TÉCNICA PERUANA . 2014. Arroz. Arroz elaborado. Requiitos. NTP. 205.011. INDECOPI.2014. Lima, Perú. [En línea]: (<https://es.scribd.com/document/370927776/NTP-205-011-ARROZ-ELABORADO-pdf>. 20 dic. 2019).
- OLI, P., WARD, R., ADHIKA, B., TORLEY, P. 2014. Parboiled rice: Understanding from a materials science approach. Food Eng. Australia. 124: 173 -18
- OLIVAS, R. 2008. Comparación y evaluación de las pruebas de diferencia Dúo - trío, triangular, ABX e igual diferente. Ing. De Alimentos. México. 2: 66 – 80
- OYEDELE, O.A., ADEOTI, O. 2013. Investigación into the optimum content and parboiling time for milling Igbemo rice. Rice res. Estado de Ekiti, Nigeria. 1(1):1-3
- PINAZO, M. 2017. Comparación de tres sistemas de trasplante manual de arroz (*oryza sativa* l.), en el valle Jequetepeque. Tesis Ing. Agronomía. Lima, Perú. Universidad Nacional Agraria de la Molina. 101 p.
- RODRIGUEZ, R. 2013. Efecto de la aplicación de siete niveles de extracto de algas marinas sobre las características agronómicas y rendimiento del cultivo de

- arroz (*Oryza sativa* L.). Guayaquil, Ecuador. Universidad de Guayaquil. 81 p.
- ROJAS, C.B., ROJAS, E.M. 2018. Efecto del parbolizado en las propiedades sensoriales, contenido de vitaminas y minerales en dos variedades de arroz (*oryza sativa*) producido en el País. Tesis Ing. Ciencias Agropecuarias. La Merced, Perú. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. 142 p.
- ROMERO, C.A. 2019. Commodites: Arroz. Ministerio de Agricultura y riego (Perú). Boletín de publicación trimestral enero 2019. 10p.
- ROSELL, C.M., MOITA, C., PEREZ, E., GULARTE. 2007. De tales harinas, tales panes. Granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica. Ed. Por H. Báez. 1 ed. Cordoba, Argentina. Báez. p 124- 159.
- ROSTRÁN, J. V. M.; RODRÍGUEZ, B. H. J. 2014. Factibilidad de los sistemas productivos del beneficiado de arroz blanco versus arroz parbolizado, trillo San Juan, San Isidro, 2013. Tesis Ing. Industrial y de Sistemas. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua. Managua, Nicaragua. 93 p.
- SALAZAR, P.S. 2013. Plan de marketing de arroz parbolizado de la piladora Salazar. Tesis Lic. Publicidad y Mercadotecnia. Guayaquil, Ecuador Universidad de Guayaquil. 148 p.
- SARANGAPANI, C., DEVI, Y., THIRUNDAS, R., ANNAPURE, U. S., DESHMUKH, R. 2015. Effect of low-pressure plasma on physic chemical properties of parboiled rice. Sci. and Tech. 63(1), 452-460
- TAGHINEZHAD, E., KHOSTAGHAZA, M., MINAEI, S., LATIFI, A. 2015. Effect of soaking temperature and steaming time on the quality of parboiled Iranian

- paddy rice. Food Eng. Teheran, Irán. 11(4):457-556.
- TAGHINEZHAD, E., HOSHTAGHAZA, M.H., ZUZUKI, T. 2016. Relationship between degree of starch gelatinization and quality of parboiled rice during steaming. Rev. R. Scien. Japón. 339 - 344.
- TINOCO, R., ACUÑA, A. 2009. Manual de Recomendaciones Técnicas. Cultivo de Arroz (*Oryza sativa*). Costa Rica. 10p.
- UREÑA, P. M. 2000. Análisis sensorial de alimentos. Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONCYTEC. Lima Perú.
- VERA, L. A. 2019. Cinética de precocción de tres variedades de arroz (*oryza sativa*) y características fisicoquímicas del producto. Tesis Ing. Agroind. Chachapoyas, Perú. Universidad Rodríguez de Mendoza de Amazonas. 61 p.
- ZAMORA, E.Y. 2019. Efecto de la temperatura y tiempo de remojo del arroz en cáscara para la obtención de arroz parbolizado. Tesis Ing. Agroindustrial. Trujillo, Perú. Universidad Nacional de Trujillo. 17p.
- ZHANG, J. CHENG, H.T., XIA, Y.J., LIU, C.X., XU, Z.J. 2015. Relationship between cooking-eating quality and subspecies differentiation in RILs population from indica and japonica crossing. *Chin J Rice Sci*, **28**(2): 206–210.

ANEXO

I. Análisis de varianza para porcentaje de humedad del grano hidratado

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Ta. de hidratación	11,1724	2	5,58618	648,16	0,0000
B: Tiempo de hidratación	51,9683	2	25,9841	3014,92	0,0000
INTERACCIONES					
AB	1,43829	4	0,359572	41,72	0,0000
RESIDUOS	0,155133	18	0,00861852		
TOTAL (CORREGIDO)	64,7341	26			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual.

la. Pruebas de múltiples rangos para humedad según temperatura de hidratación

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Temperatura de hidratación (°C)	Casos	Media	Grupos homogéneos
55	9	30,1067	X
60	9	31,1222	X
65	9	31,6578	X

lb. Pruebas de múltiples rangos para humedad con el tiempo de hidratación

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Tiempo de hidratación (h)	Casos	Media	Grupos homogéneos
4	9	29,1611	X
6	9	31,1889	X
8	9	32,5367	X

II. Análisis de varianza para porcentaje de granos enteros

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Temperatura de hidratación	2521,85	2	1260,92	13715,52	0,0000
B: Tiempo de hidratación	3607,35	2	1803,67	19619,20	0,0000
C: Tiempo de vaporización	62,78	2	31,39	341,44	0,0000
D: Tiempo descasca/pulido	6,37802	2	3,18901	34,69	0,0000
INTERACCIONES					
AB	916,081	4	229,02	2491,13	0,0000
AC	0,85037	4	0,212593	2,31	0,0599
AD	0,453086	4	0,113272	1,23	0,2993
BC	2,1037	4	0,525926	5,72	0,0002
BD	0,863457	4	0,215864	2,35	0,0566
CD	0,0249383	4	0,00623457	0,07	0,9915
ABC	9,98444	8	1,24806	13,58	0,0000
ABD	0,635062	8	0,0793827	0,86	0,5487
ACD	0,0580247	8	0,00725309	0,08	0,9997
BCD	0,183951	8	0,0229938	0,25	0,9802
ABCD	0,452346	16	0,0282716	0,31	0,9955
RESIDUOS	14,8933	162	0,0919342		
TOTAL (CORREGIDO)	7144,94	242			

Todas las razones-F se basan en el cuadrado medio del error residual

Ila. Prueba de múltiples rangos para granos enteros por temperatura de hidratación

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Temperatura de hidratación (°C)	Casos	Media	Grupos homogéneos
55	81	62,2407	X
60	81	66,4667	X
65	81	68,9741	X

Ilb. Prueba de múltiples rangos para granos enteros por tiempo de hidratación

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Tiempo de hidratación (h)	Casos	Media	Grupos homogéneos
4	81	60,4384	X
6	81	66,5123	X
8	81	69,7309	X

Iic. Prueba de múltiples rangos para granos enteros por tiempo de vaporización

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Tiempo de vaporización (min)	Casos	Media	Grupos homogéneos
8	81	64,9494	X
10	81	65,5383	X
12	81	64,1938	X

Iid. Prueba de múltiples rangos para enteros por tiempo de descascarado/pulido

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Tiempo de descascarado/ pulido (s)	Casos	Media	Grupos homogéneos
55	81	65,3444	X
50	81	65,6025	X
45	81	65,7346	X

III. Tabla de análisis de varianza para el porcentaje de blancura

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Temperatura de hidratación	369,6	2	184,8	4517,75	0,0000
B:Tiempo de hidratación	171,385	2	85,6923	2094,89	0,0000
C:Tiempo de vaporización	84,6007	2	42,3004	1034,10	0,0000
D:Tiempo de descascarado/p	8,38617	2	4,19309	102,51	0,0000
INTERACCIONES					
AB	38,0099	4	9,50247	232,30	0,0000
AC	3,35309	4	0,838272	20,49	0,0000
AD	0,426173	4	0,106543	2,60	0,0378
BC	13,8035	4	3,45086	84,36	0,0000
BD	0,461728	4	0,115432	2,82	0,0268
CD	0,123457	4	0,0308642	0,75	0,5564
ABC	8,01753	8	1,00219	24,50	0,0000
ABD	1,36963	8	0,171204	4,19	0,0001
ACD	0,317531	8	0,0396914	0,97	0,4611
BCD	0,656049	8	0,0820062	2,00	0,0489
ABCD	0,923704	16	0,0577315	1,41	0,1420
RESIDUOS	6,62667	162	0,0409053		
TOTAL (CORREGIDO)	708,061	242			

IIIa. Prueba de múltiples rangos para porcentaje de blancura por temperatura de hidratación

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Temperatura de hidratación (°C)	Casos	Media	Grupos homogéneos
55	81	31,5951	X
60	81	30,3926	X
65	81	28,5938	X

IIIb. Prueba de múltiples rangos para porcentaje de blancura por tiempo de hidratación

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Tiempo de Hidratación (h)	Casos	Media	Grupos homogéneos
4	81	31,3519	X
6	81	29,8432	X
8	81	29,3864	X

IIIC. Prueba de múltiples rangos para porcentaje de blancura por tiempo de vaporización

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Tiempo de vaporización (min)	Casos	Media	Grupos Homogéneos
8	81	30,7963	X
10	81	30,3926	X
12	81	29,3926	X

IIId. Prueba de múltiples rangos para porcentaje de blancura por tiempo de descascarado/pulido

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Tiempo de Descascarado/ pulido (s)	Casos	Media	Grupos homogéneos
45	81	29,9741	X
50	81	30,179	X
55	81	30,4284	X

Análisis fisicoquímico

IV. Análisis de Varianza para el porcentaje de humedad

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
A:Tiempo de vaporización	0,0254826	2	0,0127413	0,08	0,9286
B:Descascarado / pulido	0,519485	2	0,259743	1,54	0,3194
RESIDUOS	0,675156	4	0,168789		
TOTAL (CORREGIDO)	1,27164	8			

V. Análisis de varianza para porcentaje de proteína

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Tiempo de vaporización	5,03997	2	2,51999	69,15	0,0008
B: Descascarado / pulido	0,0888494	2	0,0444247	1,22	0,3860
RESIDUOS	0,145767	4	0,0364418		
TOTAL (CORREGIDO)	5,35217	8			

Va. Prueba de múltiples rangos para proteína por tiempo de vaporización

Método: 95,0 porcentaje Tukey HSD

Tiempo de vaporización (min)	Casos	Media	Grupos homogéneos
12	3	10,395	A
10	3	9,099	B
8	3	8,517	B

VI. Análisis de Varianza para porcentaje de cenizas

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A: Tiempo de vaporización	0,00758567	2	0,00379283	30,13	0,0039
B: Descascarado/ pulido	0,0001725	2	0,00008625	0,69	0,5548
RESIDUOS	0,0005035	4	0,000125875		
TOTAL (CORREGIDO)	0,008382	8			

Via. Prueba de múltiples rangos para ceniza por tiempo de vaporización

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tiempo de vaporización (min)	Casos	Media	Grupos homogéneos
12	3	0,917333	A
10	3	0,873333	B
8	3	0,842333	B

VII. Análisis de Varianza para porcentaje de grasa

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES					
A:Tiempo de vaporización	0,0650879	2	0,032544	27,71	0,0045
B:Descascarado / pulido	0,0049525	2	0,00247625	2,11	0,2370
RESIDUOS	0,0046975	4	0,00117438		
TOTAL (CORREGIDO)	0,0703556	8			

VIIa. Prueba de múltiples rangos para porcentaje de grasa por tiempo de vaporización

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tiempo de Vaporización (min)	Casos	Media	Grupos homogéneos
12	3	0,458333	A
10	3	0,323333	B
8	3	0,240333	B

VIII. Análisis de Varianza para el porcentaje de carbohidratos (ENL)

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tiempo de vaporización	5,99259	2	2,9963	8,80	0,0343
B:Descascarado/pulido	0,945875	2	0,472937	1,39	0,3482
RESIDUOS	1,36165	4	0,340413		
TOTAL (CORREGIDO)	7,57071	8			

VIIIa. Pruebas de múltiples rangos para porcentaje de carbohidratos (ELN) por tiempo de vaporización

Método: 95.0 porcentaje Tukey HSD

Tiempo de vaporización (min)	Casos	Media	Grupos homogéneos
12	3	75,8153	a
10	3	77,139	ab
8	3	77,898	b

IX.

FICHA DE EVALUACIÓN SENSORIAL- PRUEBA HEDÓNICA

Nombre:..... Fecha:..... Código:.....

INSTRUCCIONES: Frente a usted se presenta una muestra de arroz cocido de la variedad esperanza con proceso y sin proceso (blanco), observe y pruebe la muestra e indique su nivel de agrado marcando con una “x” en la escala que mejor describa su reacción para cada uno de los atributos.

ESCALA		COLOR
7	Amarillo intenso	
6	Amarillo ambar	
5	Amarillo	
4	Amarillo claro	
3	Ligeramente amarillo	
2	Blanco cremoso	
1	Blanco	

ESCALA		OLOR
7	Normal a grano de arroz	
6	Moderadamente olor a trigo	
5	Ligeramente olor a quemado	
4	Ligeramente olor extraño	
3	Ligeramente a mohos	
2	Ligeramente olor a rancio	
1	Muy fuerte olor químico	

ESCALA		SABOR
7	Me gusta mucho	
6	Me gusta moderadamente	
5	Me gusta ligeramente	
4	Ni me gusta ni me disgusta	
3	Me disgusta mucho	
2	Me disgusta moderadamente	
1	Me disgusta muchísimo	

ESCALA		TEXTURA
7	Muy bien graneado	
6	Bien graneado	
5	Graneado	
4	Parcialmente graneado	
3	Ligeramente graneado	
2	Suave y pegajoso	
1	Mazacote	

X. ANOVA simple para el atributo color por tratamiento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	37,5556	1	37,5556	66,46	0,0000
Intra grupos	39,5556	70	0,565079		
Total (Corr.)	77,1111	71			

Xa. Prueba de Kruskal-Wallis para color por tratamiento

Tratamiento	Tamaño muestra	Rango promedio
Con proceso	36	50,6667
Sin proceso	36	22,3333

Estadístico = 36.7744 Valor-P = 1.32622E-9

XI. ANOVA simple para el atributo de olor por tratamiento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	6,125	1	0,888889	2,64	0,1086
Intra grupos	50,8611	70	0,336508		
Total (Corr.)	56,9861	71			

XII. Cuadro de ANOVA simple para el atributo textura por tratamiento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	21,125	1	21,125	26,16	0,0000
Intra grupos	56,5278	70	0,80754		
Total (Corr.)	77,6528	71			

XIIa. Prueba de Kruskal-Wallis para atributo de textura por Tratamiento

Tratamiento	Tamaño muestra	Rango promedio
Con proceso	36	46,6389
Sin proceso	36	26,3611

Estadístico = 18.9154 Valor-P = 0.0000136646

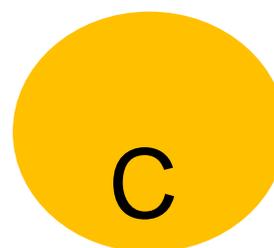
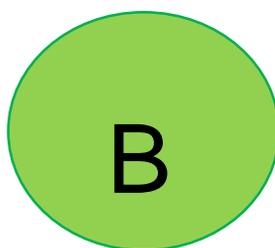
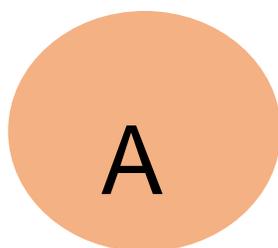
XIII. Cuadro de ANOVA simple para el atributo de sabor por tratamiento

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	0,0138889	1	0,0138889	0,02	0,8964
Intra grupos	56,9722	70	0,813889		
Total (Corr.)	56,9861	71			

XIV. FICHA DE EVALUACIÓN SENSORIAL DE PRUEBA TRIANGULAR

Nombre:..... Fecha:.....

INSTRUCCIONES: Frente a usted hay tres muestras de arroz dos son iguales y una es diferente, saboree cada una con cuidado y marque con una “X” la muestra diferente.



$$Z = \frac{X - np - 0,5}{\sqrt{npq}}$$

XIVa. Cuadro: Resultados de la evaluación sensorial

Evaluación	símbolo	Respuestas
Número de aciertos	n	50
Numero de desaciertos	x	35
Proporción experimental de éxitos	p	0,33
Proporción de éxitos esperado	q	0,667
Valor Z experimental	Z	5,35
Nivel de significancia	alfa	0,05
Valor Z tabla	Z tabla	1,64

$$Z_{t=5,35} > Z_{t=1,64}$$

XV. Equipos de laboratorio de control de calidad para arroz (*Oryza sativa* L.)



Probador para Arroz PAZ-2/DTA



Clasificador rotativo CRZ-2



Medidor de Blancura MBZ-2



Medidor de humedad GRAIN
MOISTURE TESTER