



ORINOQUIA

ISSN: 0121-3709

Instituto de Investigaciones de la Orinoquia Colombiana

Pinzón-Fajardo, Omar R.; Hurtado-Nery, Víctor L.
Producción de proteína unicelular de *Saccharomyces cerevisiae* con granza de arroz e inclusión en cerdos
ORINOQUIA, núm. 1, 2021, Enero-Junio, pp. 23-33
Instituto de Investigaciones de la Orinoquia Colombiana

DOI: <https://doi.org/10.22579/20112629.653>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=89669917003>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org



Sistema de Información Científica Redalyc
Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Producción de proteína unicelular de *Saccharomyces cerevisiae* con granza de arroz e inclusión en cerdos

Production of single cell protein of *Saccharomyces cerevisiae* with broken rice and inclusion in pigs

Produção de proteína unicelular de *Saccharomyces cerevisiae* com quirera de arroz e inclusão em suínos

Recibido: 30 de julio de 2019

Aceptado: 28 de octubre de 2020

Omar R. Pinzón-Fajardo^{1*},

Zootec, Esp, MSc;

 <https://orcid.org/0000-0002-5481-5219>**Víctor L. Hurtado-Nery^{2*}**,

MVZ, MSc, PhD;

 <https://orcid.org/0000-0002-9890-5726>

^{1, 2} Escuela de Ciencias Animales;
Facultad de Ciencias Agropecuarias
y Recursos Naturales, Universidad de
los Llanos, Villavicencio, Colombia
* Grupo Nutrición Universidad de los
Llanos,

Email: vhurtado@unillanos.edu.co

Este artículo se encuentra
bajo licencia: Creative
Commons Atribución-
NoComercial-SinDerivadas 4.0
Internacional

Orinoquia, Enero-Junio

2021;25(1): 23-33

ISSN electrónico: 0121-3709

ISSN impreso: 2011-2629

[https://doi.org/](https://doi.org/10.22579/20112629.653)

10.22579/20112629.653

Resumen

El contenido proteico de harinas de cereales se incrementa con proteínas microbianas mediante procesos de fermentación utilizando levaduras. El objetivo de esta investigación fue evaluar la inclusión de granza de arroz sometida a fermentación líquida con *Saccharomyces cerevisiae* por fermentación anaeróbica como fuente de proteína unicelular (PUC) para cerdos en crecimiento. Se realizó prueba piloto en laboratorio para producción de PUC de *S. cerevisiae* con granza de arroz para estandarizar y encontrar las mejores condiciones en el proceso, para su posterior producción en fermentador de 600 l. Se evaluó la granza obtenida por fermentación con *S. cerevisiae* por un tiempo de 30 días, en 24 cerdos de 21.72 ± 3.31 kg, distribuidos en un diseño en bloques completos al azar con cuatro tratamientos, tres bloques y seis animales por tratamiento. El ensayo consistió en cuatro niveles de inclusión: T₁: 0%, T₂: 10%, T₃: 20% y T₄: 25%, de granza de arroz post-fermentada con *S. cerevisiae*. Las variables evaluadas fueron peso final (kg), ganancia de peso (g/día), consumo final (kg), conversión alimenticia. El alimento pasó de 8.23% a 13.97% de PC. Se presentaron diferencias ($p < 0.05$) en ganancia diaria de peso T₁: 625.81 y T₂: 618.77 respecto T₃: 526.38 y T₄: 542.77 g/día, y en la conversión alimenticia entre T₁: 2.20 y T₂: 2.16 respecto a los tratamientos T₃: 2.54 y T₄: 2.45. No hubo diferencias ($p > 0.05$) para el peso final ni el consumo final. El costo de las dietas fue menor para T₂, T₃ y T₄. En conclusión, con la fermentación anaerobia de la granza se mejoró el nivel proteico del alimento por crecimiento de la levadura *S. cerevisiae* y puede ser incluido en dietas para cerdos en crecimiento, presentándose buena palatabilidad y hasta un nivel de inclusión del 10% obtener buen rendimiento, con una dieta de menor costo.

Palabras clave: Fermentación anaeróbica, proteína cruda, crecimiento, valor nutricional, almidón, lechones.

Abstract

Cereal flour protein content can be increased by microbial protein action through yeast-driven fermentation. This research was aimed at evaluating the anaerobic fermentation of liquid rice bran with *Saccharomyces cerevisiae* as a single cell protein (SCP) source for raising pigs. A pilot test for *S. cerevisiae* SCP production was carried out in the

laboratory using rice bran to standardise and find the best process conditions regarding SCP production in a 600 L fermenter tank. The rice bran obtained by fermentation with *S. cerevisiae* was evaluated for 30 days using twenty-four 21.72 ± 3.31 kg pigs; a randomised complete block design (RCBD) was used, involving four treatments, three blocks and six animals per treatment. The trial had four rice bran post-fermented with *S. cerevisiae* inclusion levels: T1 0% bran inclusion, T2 10%, T3 20% and T4 25%. Final weight (kg), average daily gain (g/day), final consumption (kg) and feed conversion ratio (FCR) were the variables evaluated here. SCP inclusion in food rose from 8.23% to 13.97%. There were significant statistical differences ($p < 0.05$) regarding average daily gain for T1 (625.81 g/day) and T2 (618.77) compared to T3 (526.38) and T4 (542.77) and FCR for T1 (2.20) and T2 (2.16) compared to T3 (2.54) and T4 (2.45). There were no differences ($p > 0.05$) regarding final weight or final consumption. Diet costs were lower for T2, T3 and T4. The anaerobic fermentation of rice bran improved feed protein content through *S. cerevisiae* growth and can be included in diets for raising pigs; it has good palatability and up to 10% SCP inclusion level, obtaining good yield and a lower cost diet.

Key-words: anaerobic fermentation, crude protein, growth performance, nutritional value, starch, piglet.

Resumo

O conteúdo protéico das farinhas de cereais é aumentado com proteínas microbianas através de processos de fermentação utilizando leveduras. O objectivo desta pesquisa foi avaliar a inclusão de quireira de arroz submetido a fermentação líquida com *Saccharomyces cerevisiae* por fermentação anaeróbia como fonte de proteína unicelular (PUC) para porcos em crescimento. Teste-piloto foi realizado no laboratório para a produção PUC de *S. cerevisiae* com quireira de arroz, a fim de padronizar e encontrar as melhores condições do processo para a produção subsequente fermentador de 600 l. Foram avaliadas a quireira de arroz obtido por fermentação com *S. cerevisiae* foi avaliado por um período de 30 dias, em 24 porcos 21.72 ± 3.31 kg, distribuídos em blocos casualizados com quatro tratamentos, três blocos e seis animais por tratamento. O julgamento consistiu em quatro níveis de inclusão: T1: 0%, T2: 10%, T3: 20% e T4: 25%, de quireira de arroz pós-fermentado com *S. cerevisiae*. As variáveis estudadas foram o ganho diário de peso (g/dia), peso final (kg), consumo final (kg) e conversão de feed. A comida passou de 8.23% para 13.97% de PC. Houve diferenças ($p < 0.05$) no ganho de peso diário T1: 625.81 e T2: 618.77 em relação a T3: 526.38 e T4: 542.77 g/dia, e na conversão alimentar entre T1: 2.20 e T2: 2.16 com relação aos tratamentos T3: 2.54 e T4: 2.45. Não houve diferenças ($p > 0.05$) para o peso final ou consumo final. O custo das dietas foi menor para T2, T3 e T4. Em conclusão, com a fermentação anaeróbia do quireira de arroz, o nível protéico da ração foi melhorado pelo crescimento da levedura *S. cerevisiae* e pode ser incluído em rações para suínos em crescimento, apresentando boa palatabilidade e até um nível de inclusão de 10% obtendo boa desempenho, com uma dieta de menor custo.

Palavras chave: Fermentação anaeróbica, proteína bruta, crescimento, valor nutricional, amido, leitões.

Introducción

Se han realizado varios estudios de investigación para evaluar la levadura *Saccharomyces cerevisiae* como un alimento alternativo en dietas para cerdos. La granza de arroz, es arroz partido obtenido después de la fase del pulido de este cereal, consiste en granos rotos y malformados, correspondiendo a 14% del grano total (Limberger *et al.*, 2008). La granza de arroz es sub-producto energético, ya que es rico en almidón, pero es bajo en fibra, grasa y proteína, y se ha utilizado en dietas para cerdos de cría sin afectar el crecimiento (Vicente *et al.*, 2009).

La granza de arroz ha sido utilizada en varios estudios en raciones para cerdos como ingrediente energético y sustituto de harinas de cereales tradicionales con buenos resultados, Hurtado *et al.*, (2015), la incluyeron en 75.82% en dietas para cerdos de $28,68 \pm 0,49$ kg de peso evaluando niveles crecientes de inclusión de lisina sintética; Hurtado *et al.*, (2011), como sustituto parcial o total de harina de maíz sin afectar el desempeño de cerdos en crecimiento con peso inicial de

31.26 ± 4.62 kg; Nepomuceno *et al.*, (2011), la incluyeron en cerdos de 6,5 kg en dietas con niveles crecientes de inclusión (0; 14; 28; 42 y 56%) sin afectar las variables de desempeño. Se reportan pocos estudios con la utilización de granza de arroz como sustrato para la producción de proteína unicelular (PUC).

La zona de los llanos orientales colombianos se destaca a nivel nacional como la más productora en arroz; según Fedearroz para el año 2018 la producción de arroz paddy seco fue de 1'009.751 t y para el 2019 de 1'106.385 t. En la región se produce gran cantidad de subproductos de la molienda industrial de este cereal, que por su bajo costo y valor nutricional, pueden ser aprovechados para la producción porcina (Fedearroz, 2020).

Los altos costos de las materias primas empleadas para las raciones en cerdos hacen necesaria la investigación en ingredientes alternativos como la granza de arroz, que por su menor costo comparado con el maíz y disponibilidad en algunas zonas, ofrece beneficios en la alimentación de animales monogástricos. Las harinas

de cereales pueden ser sometidas a procesos de fermentación con microorganismos para la producción de PUC con enriquecimiento proteico, ofreciendo ventajas en su utilización.

Según la composición de alimentos (Rostagno *et al.*, 2011), las partiduras de arroz poseen bajo contenido de proteína cruda (8.5%) y de lisina (0.29%). El término proteína unicelular (PUC) hace referencia a la proteína obtenida del cultivo de microorganismos mediante fermentaciones principalmente aerobias y en algunos casos anaerobias, utilizando como sustratos materiales como almidón, harinas de cereales, melaza, residuos de cosecha, entre otros, que se produce debido al crecimiento microbiano generado en el proceso (Najafpour, 2015). La levadura *Saccharomyces cerevisiae* es un microorganismo muy utilizado en la producción de PUC (Aggelopoulos *et al.*, 2014), se caracteriza por utilizar monosacáridos preferiblemente la glucosa, como fuentes de carbono para su crecimiento, a su vez aprovecha sustratos como la sacarosa y el almidón sometido a hidrólisis enzimática y química para su desdoblamiento a glucosa (Nevoigt, 2008).

También *S. cerevisiae* es el microorganismo utilizado en la industria de la producción de etanol, por su rápido crecimiento y resistencia a variaciones en temperaturas, cambios de pH en el proceso y alta producción del alcohol (Nevoigt, 2008). Como subproducto de las plantas se obtienen los granos de destilería de sustratos como maíz, arroz o sorgo, en presentación seca o húmeda y que contienen gran cantidad de la levadura y se comercializan para la alimentación animal (Liu, 2011).

La utilización de la PUC en etapa de iniciación de cerdos, puede ser una importante alternativa de alimentación, ofreciendo beneficios debido a que los subproductos de harinas de cereales, son enriquecidos con proteínas microbianas por procesos de fermentación líquida con el uso de levaduras (Najafpour, 2015); lo cual conllevaría a mejoramiento de su calidad nutricional con incremento proteico, pudiendo reemplazar o disminuir el uso de fuentes costosas de proteína como la harina de soya en el alimento balanceado (Wang *et al.*, 2013). La levadura de cerveza tiene buenos niveles de lisina (3.08%), valina (2.21%), treonina (2.09%) y arginina (2.07%) (FEDNA, 2011), siendo de importancia el contenido de lisina, por ser un aminoácido limitante en los cereales incluidos en dietas para cerdos (NRC, 2012).

El objetivo de esta investigación fue evaluar la respuesta productiva de cerdos alimentados con granza de arroz como sustrato en cultivo con *Saccharomyces cerevisiae*, mediante fermentación anaerobia para su enriquecimiento proteico, y su posterior inclusión en niveles crecientes en dietas para cerdos de 21.72 ± 3.31 kg.

Materiales y métodos

Localización del experimento

El ensayo se realizó en las instalaciones de la Granja Barcelona en la unidad de porcinos, del Departamento de Producción Animal de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales de la Universidad de los Llanos, ubicada en el kilómetro 12 vía Puerto López, municipio de Villavicencio departamento del Meta. Las características fisiográficas de la región son 467 metros sobre el nivel del mar temperatura promedio de 27 grados centígrados, precipitación promedio anual entre 1830 a 3568 mm y humedad relativa del 85%.

Prueba piloto

Se realizó una prueba piloto de laboratorio a pequeña escala, con el objeto de estandarizar la fermentación de granza de arroz para producir PUC, y encontrar las mejores condiciones en las que se desarrollará el proceso, para hacerlo posteriormente en fermentador de 600 l. La metodología realizada para la fermentación fue basada en un proceso de producción de etanol con arroz partido "broken rice" propuesto por Gohel y Duan (2012), con alta inclusión de sólidos secos (SS), que involucra licuefacción del almidón seguida de sacarificación y fermentación simultáneas (SSF) con el uso de un inóculo de *Saccharomyces cerevisiae*. Esta prueba consistió en la realización de fermentación anaeróbica de granza en fermentadores hechos con Erlenmeyers de 1 l con desprendimiento lateral, tres en total (3 réplicas), a los que se les colocó un airlock con tapón perforado para impedir la entrada de aire y la evacuación de CO₂. Se probaron varias concentraciones de SS, temperaturas de proceso, y tiempos de fermentación, utilizando única dosis de levadura de panadería seca activa *Saccharomyces cerevisiae* (0.1 g/100 g granza).

Se utilizó la enzima α -amilasa (HT 1000 A ©, Proenzymas, Cali, Valle, Colombia) para realizar la licuefacción del almidón de la granza y la glucoamilasa (Naturalzy-

me GA 300 L ©, Proenzymas, Cali, Valle, Colombia) para la sacarificación, las concentraciones de aplicación se trabajaron de acuerdo a la recomendación de uso de la casa comercial. La actividad enzimática de la α -amilasa es 500.000 MWU/g \pm 5 % y de la glucoamilasa 300 AGU/ml. Luego de estandarizado el proceso, se realizó la fermentación y al finalizar, se procedió a realizar un filtrado y secado de los sólidos salientes, realizando análisis proximal (AOAC, 2019). También se hizo análisis proximal a la granza de arroz sin fermentar, para comparar el incremento en proteína cruda (PC) y el cambio en los demás nutrientes (AOAC, 2019).

Fermentación de granza de arroz

Posteriormente, se realizó la fermentación anaeróbica de la granza de arroz en fermentador plástico tipo botella de 600 litros (50 kg granza/136 l agua), haciendo tres fermentaciones en total (3 réplicas), durante los 30 días que duró la fase experimental con los cerdos. Al tanque se le realizaron adaptaciones para impedir la entrada de aire y permitir la evacuación del CO₂. El tanque se tapó y se hizo el proceso de fermentación por un tiempo de 60 horas. Terminado el proceso se obtuvo el fermento sacando el sobrenadante líquido, tomando la parte más sólida que quedó en el fondo, la que posteriormente se utilizaría húmeda para mezclarla con los demás ingredientes en dieta balanceada de acuerdo a los requerimientos de los cerdos. Se tomaron muestras de estos fermentos por filtrado de

sólidos y se les realizó análisis proximal (AOAC, 2019) y los aminoácidos lisina (Galicia et al., 2011), arginina (Villegas et al., 2000), triptófano (Villegas et al., 2000), cistina (Obi, 1982) y fenilalanina (Ardila et al., 2011). La Energía Metabolizable se calculó mediante la fórmula $EM = ED - (6.8 \times \%PC)$. El proceso de fermentación empleado se muestra en la figura 1.

Fase experimental

Los animales tuvieron un periodo de acostumbramiento de 15 días y el experimento tuvo duración de 30 días. Fueron utilizados 24 cerdos mestizos (Pietran x Duroc x Large White) con peso promedio de 21.8 ± 3.31 kg y 9 semanas de edad, distribuidos en diseño experimental de bloques completamente al azar (DBC) con cuatro tratamientos (niveles de inclusión de granza de arroz post-fermentación con *S. cerevisiae*), tres bloques y dos repeticiones. El criterio de bloqueo fue el peso inicial clasificándolos en pesados, medianos y livianos. Para la aplicación de los tratamientos los animales se manejaron separándolos en cuatro módulos. Cada módulo contaba con 5 jaulas metálicas con su comedero plástico, bebedero de chupo y una puerta corrediza que permitía encerrar individualmente cada cerdo, que luego de ser alimentados se levantada la puerta, se recogía y pesaba el alimento no consumido. Cuatro cerdos, uno de cada tratamiento, fueron alojados en 4 jaulas individuales.

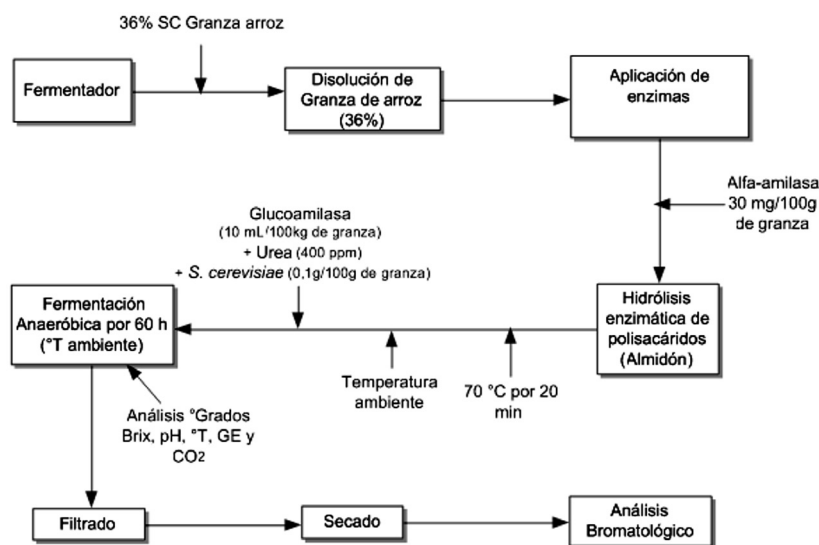


Figura 1. Diagrama de flujo del proceso utilizado para producir la PUC

Tabla 1. Dietas experimentales con cuatro niveles de inclusión de granza de arroz post-fermentación con *Saccharomyces cerevisiae*.

Ingredientes, %	Nivel de inclusión, %			
	0	10	20	25
Harina de maíz	47.56	39.67	32.15	28.53
Aceite de palma	3	3	3	3
Torta de soja	24.94	23.19	21.65	20.95
Granza arroz post-fermentado	0	10	20	25
Salvado de trigo	6	6	5.18	4.49
Fosfato tricálcico	1.45	1.48	1.50	1.521
Carbonato de calcio	0.99	0.6	0.44	0.443
Sal común	0.3	0.3	0.3	0.3
Premezcla cerdos	0.25	0.25	0.25	0.25
Harina de arroz	15	15	15	15
Metionina	0.2	0.2	0.2	0.2
Sulfato de lisina (70%)	0.3	0.3	0.3	0.3
Composición nutricional calculada				
Energía Metabolizable, Kcal/kg	3230	3235	3240	3242
Proteína Cruda, %	18.13	18.13	18.13	18.13
Fibra Cruda, %	3.86	3.68	3.44	3.30
Humedad, %	10.56	12.10	13.62	14.37
Calcio, %	0.94	0.79	0.73	0.73
Fósforo disponible, %	0.39	0.38	0.38	0.38
Lisina, %	1.07	1.0	0.94	0.91
Metionina, %	0.48	0.46	0.43	0.42
Metionina+Cistina, %	0.78	0.73	0.69	0.66
Costo (\$ Pesos)	1414	1381	1351	1337

Las dietas consistieron en cuatro niveles de inclusión de granza de arroz húmeda sometida a fermentación líquida (FL) con *Saccharomyces cerevisiae* (0%, 10%, 20% y 25%). Las raciones fueron balanceadas al mínimo costo con el comando solver del programa Excel (Tabla 1), de acuerdo a los requerimientos nutricionales para cerdos de alto potencial genético con desempeño medio en fase de iniciación y a las tablas

de composición de alimentos (Rostagno et al., 2011) (Tabla 2).

La alimentación fue restringida (Rostagno et al., 2011), ofreciendo agua a voluntad y dos comidas diarias a las 8:00 a.m y 3:00 p.m. Diariamente se tomó el dato del consumo individual de alimento y se anotó en tablas de registros. Terminado el periodo experimental se pesaron los animales y se evaluaron las variables de desempeño zootécnico: peso final (kg), ganancia de peso (g/día), consumo final (kg) y conversión alimenticia.

Procesamiento de información

Para cada variable los datos fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA) mediante el programa estadístico SPSS Statistics V.22 ($p < 0.05$), con el objeto de establecer si se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos. Se aplicó la prueba de comparación de medias de Duncan, para determinar entre cuales tratamientos hubo diferencias.

Resultados

Prueba piloto

Los resultados en cuanto a condiciones óptimas de operación fueron: sólidos secos 36% (36 g granza/100ml H₂O), 30 mg de alfa-amilasa/100g de granza, 10 ml de glucoamilasa/100 kg de granza, temperatura óptima 70°C, pH 5.0 – 6.0, 400 ppm de urea como fuente de N y un tiempo de fermentación de 60 horas.

Composición nutricional de la granza de arroz fermentada

El análisis proximal mostró incremento en la PC de la granza de arroz sometida a FL con *Saccharomyces cerevisiae* comparando con la harina original, y pasó de 8.23% a 13.97% de PC. En cuanto a los demás nutrientes disminuyeron los contenidos de cenizas, fibra cruda, extracto etéreo y el extracto libre de nitrógeno. Estos resultados expresados en base húmeda y seca se presentan en la Tabla 3.

El análisis químico proximal de los tres procesos de fermentación obtenidos en campo (ingrediente húmedo usado en las dietas), arrojó niveles similares de PC (13.10%) que el producto obtenido en la prueba piloto (13.97%), aunque el contenido protei-

Tabla 2. Composición nutricional de los ingredientes utilizados en las dietas experimentales.

Ingrediente	EM kcal/ kg	PC %	FC %	Ca %	Pd %	Na %	Lis %	Met %	M+C %
Maíz nacional	3360	7.86	1.73	0.02	0.03	0.01	0.23	0.16	0.33
Torta de soya	3118	44.4	5.43	0.24	0.22	0.02	2.74	0.59	1.25
Granza post fermentación	3245	13.97	0.47						
Harina de arroz	2960	13.8	7.6	0.1	0.18	0.02	0.59	0.28	0.552
Salvado de trigo	2370	15.1	9.07	0.14	0.49	0.02	0.6	0.24	0.55
Fosfato tricálcico				32	17.9	4.6			
Carbonato de calcio				38					
Aceite de palma	8240								
Sal común				0.3		39.7			
Sulfato de L-lisina	3700	75					50		
Metionina	4870	58.5						99	99

EM, Energía Metabolizable; PC, Proteína cruda; FC, Fibra cruda; Ca, Calcio; Pd, Fósforo disponible; Na, Sodio; Lis, Lisina; Met, Metionina; M+C, Metionina+Cistina.

Tabla 3. Análisis químico proximal granza de arroz y granza de arroz post-fermentación con *S. cerevisiae* en prueba piloto.

Indicador	Granza de arroz			Granza arroz post-fermentación		
	Valor promedio (%)		DE	Valor promedio (%)		DE
	Base Húmeda	Base Seca		Base Húmeda	Base Seca	
Materia seca	88,32	100	1,68	73,68	100	1,62
Cenizas	1,38	1,56	0,15	0,68	0,92	0,11
Proteína Total	8,23	9,32	0,64	13,97	18,96	0,57
Fibra Cruda	0,65	0,74	0,05	0,47	0,64	0,04
Extracto Etéreo	2,58	2,92	0,21	1,94	2,63	0,20
Extracto Libre de Nitrógeno	75,48	85,46		56,62	76,85	
Energía Metabolizable, kcal/kg	3688	4175		3245	4405	

DE, Desviación estándar

co en base seca (BS) fue de 24.59% (Tabla 4) siendo mayor que el obtenido en laboratorio (18.96%). Para realizar el balanceo de las dietas se tuvo en cuenta el análisis proximal de la prueba piloto de laboratorio.

De las muestras obtenidas en campo, también se realizó el análisis químico de los aminoácidos lisina, arginina, triptófano, cistina y fenilalanina (Tabla 4).

Comparando los contenidos de aminoácidos totales de la granza de arroz reportados por Rostagno *et al.*, (2011) para lisina 0.29%, arginina 0.6%, triptófano 0.11% y fenilalanina 0.39%, en nuestro estudio los valores en BS de lisina, triptófano y fenilalanina fueron mayores, debido al incremento proteico por el crecimiento de la levadura *S. cerevisiae* en el producto post-fermentación. El contenido de lisina

Tabla 4. Análisis químico nutricional de granza de arroz post-fermentación con *S. cerevisiae* realizada en fermentador de 600 l.

Indicador	Granza arroz post-fermentación		
	Valor promedio, %		
	Base Húmeda	Base Seca	DE
Materia seca	53.28	100	3.21
Cenizas	7.01	13.15	1.08
Proteína Total	13.10	24.59	1.04
Fibra Cruda	0.27	0.51	0.04
Extracto Etéreo	2.13	4.0	0.20
Extracto Libre de Nitrógeno	30.77	57.75	
Energía Metabolizable, kcal/kg	1632	3064	
Aminoácidos			
Lisina	0.36	0.67	0.45
Arginina	0.28	0.53	0.35
Triptófano	0.07	0.14	0.11
Cistina	0.13	0.24	0.09
Fenilalanina	0.27	0.51	0.36

DE, Desviación estándar

Tabla 5. Desempeño de cerdos alimentados con raciones conteniendo granza arroz fermentada con *S. cerevisiae* (20-40 kg).

Variable	Tratamientos				
	0%	10%	20%	25%	CV
Peso inicial, kg	22.58	21.26	21.58	21.47	15.24
Peso final, kg	41.35	39.82	37.38	37.75	10.84
*Consumo final de ración, Kg	40.86	39.89	40.09	39.55	3.97
Ganancia diaria de peso, g	625.81 ^a	618.77 ^a	526.38 ^b	542.77 ^b	11.79
Conversión alimenticia	2.20 ^a	2.16 ^a	2.54 ^b	2.45 ^b	10.22
Grasa dorsal, cm	0.84	0.78	0.74	0.70	14.64

Letras distintas en la misma fila indican diferencia significativa por prueba de Duncan ($p < 0.05$).

* Variable consumo final se realizó prueba no paramétrica de Friedman ($p < 0.05$). CV, Coeficiente de variación.

es importante, debido a que es el aminoácido más limitante en la nutrición y alimentación de cerdos, influyendo en la ganancia de peso (NRC, 2012) y de los aminoácidos analizados fue el que presentó mayor contenido.

Variables de desempeño evaluadas en los cerdos

En los parámetros productivos evaluados, se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) en la ganancia de peso diaria entre los tratamientos T₁: 625.81g/día y T₂: 618.77 g/día referente a los trata-

mientos T₃: 526.38g/día y T₄: 542.77 g/día, y en la conversión alimenticia entre los tratamientos T₁: 2.20 y T₂: 2.16 referente a los tratamientos T₃: 2.54 y T₄: 2.45. Para las variables peso final y consumo final no se presentaron diferencias estadísticas significativas ($p>0.05$). Los pesos promedio a los 30 días para los cuatro tratamientos estuvieron entre los 37.38 kg a 41.35 kg y el consumo total promedio de alimento entre 39.55 kg a 40.86 kg (Tabla 5).

La ganancia diaria de peso y la conversión alimenticia disminuyeron significativamente ($p<0.05$) con la inclusión de 20% y 25% de granza de arroz post-fermentación en dietas para cerdos en fase de crecimiento, no fueron influenciadas por la inclusión de la PUC en estos niveles de inclusión. Para la fase de los 20 a 40 kg de crecimiento, los niveles de inclusión afectaron negativamente la ganancia diaria de peso y la conversión. La mejor conversión se obtuvo con 10% de inclusión.

El consumo de alimento no se vio afectado en ninguno de los tratamientos, teniendo en cuenta que el alimento fue suministrado mediante ración individual restringida, no se presentaron problemas en la palatabilidad de las dietas con alta inclusión. La menor conversión y ganancia de peso diario se presentó con el nivel de inclusión del 20%.

La inclusión de 20% y 25% de PUC, representó una disminución en la ganancia diaria de peso del 15.88% y 13.26% respectivamente, en relación al tratamiento testigo.

Discusión

Se reportan pocos estudios con la utilización de subproductos de molinería de arroz para producción de PUC con *Saccharomyces cerevisiae* (SS), particularmente con granza de arroz. Se han estudiado otros tipos de levaduras como la levadura torula (*Candida utilis*), Rajoka, et al., (2004), realizaron un experimento con *C. utilis* y harina de arroz utilizando 9% de SS en medio aerobio, encontrando el nivel de PC de 13.9% en la harina original y 32.75% en el producto seco que obtuvieron después de la fermentación.

En el presente estudio, en la granza de arroz y granza post-fermento analizada en la prueba piloto, se presentaron niveles de PC en base húmeda de 8.23% y 13.97% respectivamente, (9.32% y 18.96% BS). Expresando los dos análisis en BS se logró incremento proteico de 103.65%, respecto a la granza de arroz

utilizada como sustrato en la fermentación (Tabla 3); para el fermento usado en campo hubo mayor incremento proteico, que expresado en BS llegó a 24.59% de PC (Tabla 4). Los resultados obtenidos son más bajos que lo encontrado por Rajoka et al., (2004), con levadura *C. utilis* en harina de arroz, quienes reportan 32.75% de PC post-fermentación con incremento proteico de 135.61%.

En el proceso de obtención de etanol, se realiza fermentación anaeróbica con el uso de una levadura como la *S. cerevisiae*, que consume los azúcares fermentables hidrolizados a partir del almidón del arroz produciendo alcohol y CO₂ como productos del metabolismo final del microorganismo (Gohel y Duan, 2012); aunque el proceso no está enfocado a la obtención de PUC, hay crecimiento celular de la levadura y se recupera en lo que se denomina granos de destilería, los que poseen valores proteicos similares a PUC obtenida de almidones por FL aerobia y bajos niveles de SS usados como sustrato (Velásquez et al., 2012, Aruna et al., 2017). Los granos secos de destilería con solubles (DDGS) de arroz son subproductos del proceso de obtención de etanol, producidos a partir del arroz partido “broken rice”, que poseen buenas características nutricionales y son utilizados para la alimentación animal (Gohel y Duan, 2012, Chu-Ky et al., 2016). Xue et al., (2012), reportan con 90.79% de materia seca (MS) contenido de PC de 28.55% y energía bruta (EB) de 4513 kcal/kg, en los aminoácidos esenciales buen contenido de arginina (1.47%), leucina (2.94%), fenilalanina (1.28%) y valina (1.39%), aceptable contenido de lisina (0.64%) y bajo en triptófano (0.24%). Del producto obtenido en campo se cuantificaron aminoácidos, presentando en BS contenido similar de lisina (0.67%) y más bajo en arginina (0.53%), fenilalanina (0.51%) y triptófano (0.14%).

La lisina y treonina son aminoácidos limitantes en dietas para cerdos, por lo que en la formulación es necesario buscar balance adecuado entre ambos para la síntesis proteica (NRC, 2012). La lisina es el aminoácido más limitante en dietas para porcinos basadas en cereales (NRC, 2012), en Colombia los subproductos del maíz, trigo y arroz son usados para la elaboración de alimento balanceado. La concentración de lisina total recomendada por Rostagno et al., (2011) para cerdos en crecimiento de desempeño regular a alto es de 1.14% a 1.24%. Con contenido bajo de lisina para el producto obtenido, es recomendable la adición de aminoácidos sintéticos para alcanzar el requerimiento, recientes investigaciones (Wang et al., 2018) plantean

el uso de aminoácidos libres (AA) para reducir el uso de PC para una porcicultura sostenible, disminuyendo costos, ingredientes proteicos y la excreción de N.

Varios sustratos con alto contenido de almidón o azúcares fermentables, han sido utilizados para producir PUC o su enriquecimiento proteico con *S. cerevisiae*, algunos de ellos son residuos de la industria que contaminan el suelo y las aguas (Chibueze et al., 2017). Se han obtenido diferentes contenidos de PC según el sustrato y técnica de fermentación utilizada, Chibueze et al., 2017, presentaron niveles de 17.01% en efluentes de molinería de yuca, Velásquez et al., (2012) 50.6% en almidón en polvo, Aruna et al., (2017), 15.54% en cáscaras de ñame (*Dioscorea spp.*).

En este experimento se utilizó FL por procesos anaerobios con alto contenido de (SS), (36%), la mayoría de estudios para la producción de proteína por microorganismos mediante FL, se han realizado mediante métodos aeróbicos con la utilización de aireación (oxígeno disuelto) y con bajo porcentaje de SS (Velásquez et al., 2012, Liu et al., 2014, Aruna et al., 2017). En el procedimiento se utilizó una técnica enfocada a la producción de bioetanol con el uso de enzimas alfa-amilasa y glucoamilasa para hidrólisis del almidón con sacarificación y fermentación simultáneas (SSF), reportada por Gohel y Duan (2012), quienes utilizaron arroz partido de la India en el proceso.

La decisión de utilizar esta metodología enfocada a la producción de bioetanol, fue debida a la poca cantidad de (SS), gran requerimiento de agua y difícil obtención de la MS resultante mediante FL aeróbica, con técnicas que se puedan utilizar en campo para la producción de proteína microbiana mediante levaduras. Además, se requiere buena infraestructura y quienes producen este tipo de proteína son países desarrollados que lo hacen en plantas industriales en biorreactores acerados, ambientes controlados, con altos costos de producción y procesos de secado como la atomización (García et al., 2014), por tal razón es difícil su aplicación para un pequeño o mediano productor por su elevado costo y tecnología.

Moreira et al., (2002), utilizaron levadura de caña de azúcar (*Saccharomyces spp.*) secada por atomización (spray-dryer) con 40% de PC en cerdos alimentados a voluntad con niveles de inclusión del 0%, 7%, 14% y 21%. Con la inclusión de la levadura seca en la fase de crecimiento (26.1-59.7 kg) en un periodo de 0 a 35 días de experimentación, observaron que con niveles crecientes no se influenció ($p>0.05$) el consumo

y ganancia diaria de peso, sin embargo, resultó en incremento lineal de la conversión alimenticia cuando la inclusión fue mayor ($p<0.012$), con valores de 2.41, 2.60, 2.55, 2.71 respectivamente.

Comparando este estudio con el realizado por Moreira et al., (2002) se obtuvieron mejores resultados en cuanto a conversión alimenticia, ya que con los niveles de inclusión de 0%, 10% y 20% se presentó conversión de 2.20, 2.16 y 2.54 respectivamente, aunque en nuestro estudio también observamos tendencia a desmejorar este parámetro cuando se incluyó mayor cantidad de granza de arroz fermentada. En este trabajo la ganancia/día de peso y la conversión alimenticia fueron menores con niveles de inclusión de 20% y 25%, pero con 10% se obtuvo mejor respuesta sin presentar diferencias estadísticas significativas ($p>0.05$) comparadas con el grupo control, ni tampoco se vio afectado el consumo de alimento, aunque este fue un experimento con ración restringida.

Varios estudios con el uso de granos de destilería han sido conducidos para evaluar el valor nutricional y el comportamiento de levadura *S. cerevisiae* en cerdos en etapas de crecimiento-finalización. Muchos de ellos muestran tendencia a desmejorar el crecimiento y la conversión alimenticia a niveles de inclusión mayores de 20%, Cromwell et al., (2011) dicen que para el caso de levaduras de DDGS, depende de varios factores, como la calidad nutricional del ingrediente usado en los experimentos, que es variable según el proceso de obtención en las plantas. Sin embargo, Nguyen et al., (2017) no encontraron disminución en la ganancia de peso ni conversión alimenticia con niveles de 15% y 30% de subproductos de la destilería de arroz (31.41% PC) en animales de 57 a 67 kg, donde la conversión fue 3.36, 3.11 y 3.10 con el 0%, 15% y 30% de inclusión respectivamente.

El uso de PUC en dietas para cerdos ofrece una alternativa de alimentación con buen nivel de proteína y aminoácidos para su inclusión en las raciones, para el caso de SC buen contenido de lisina. La PUC de especies fúngicas tienen un alto contenido de ácido nucleico (ARN) (Ritala et al., 2017); el alto contenido de ácido nucleico y la baja digestibilidad de la pared celular son dos de los factores más importantes que limitan el valor nutricional y toxicológico de la levadura para el consumo animal. Sin embargo, el ácido nucleico no es un componente tóxico y causa solo efectos fisiológicos a niveles altos, como cualquier otro ingrediente consumido en grandes cantidades (Nasseri et al., 2011). En cuanto a la composición de aminoáci-

dos, Lopes et al., (2011), encontraron que la levadura es baja en aminoácidos sulfurados, como la metionina (0.26%) y la cistina (0.14%).

En cuanto al costo total de las cuatro dietas, este fue menor para el tratamiento con 25% de inclusión, \$77 menos respecto al grupo control (Tabla 1), a medida que se aumentó el nivel de inclusión disminuyó el costo por la baja en la formulación de un ingrediente proteico costoso como lo es la torta de soya. La presentación húmeda del producto favoreció el rendimiento, para realizar el proceso de fermentación en el tanque fermentador de 600 l se utilizaron 50 kg de granza de arroz y 136 l de agua (36% de (SS)). Trascorridas 60 horas de fermentación se eliminó el líquido sobrenadante y se dejaron los sólidos húmedos que decantaron obteniendo 57 kg, presentando incremento del 14% aunque con mayor contenido de agua (61.26%). El costo de producción del kg de granza de arroz post-fermentación con *S. cerevisiae* fue de \$893.

A medida que se incrementaron los niveles de inclusión de granza post-fermentación, hubo tendencia a disminuir la ganancia diaria de peso (Tabla 5), y el costo total de las dietas fue menor con niveles más altos (Tabla 1). Para calcular la rentabilidad de las raciones, se utilizó la fórmula del margen de ganancia bruta, calculado como ventas menos costo de ventas (costo del alimento) dividido en las ventas y multiplicado por 100 para obtener el porcentaje. La rentabilidad fue mayor para el tratamiento 2 (10% de inclusión) siendo 40.64%; seguido por el tratamiento 1 (0% de inclusión) con 38.45%; el tratamiento 4 (25% de inclusión) presentó un buen margen con 35.05%, un 3.4% menos que el grupo control, demostrando que se podría utilizar el fermento a este nivel de inclusión con buena rentabilidad. La más baja fue en el tratamiento 3 (20% de inclusión) con 31.40%.

En Conclusión, mediante el proceso de fermentación anaeróbica de la granza de arroz se logró incrementar el nivel de proteína de este subproducto de la molienda de arroz, con la utilización de la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, mejorando su calidad nutricional y el consumo diario de alimento no fue influenciado por la inclusión de PUC, lo que sugiere mejorar en la palatabilidad. De los niveles de inclusión de PUC, con el 10% se obtuvo los mejores resultados para las variables ganancia de peso y conversión alimenticia, sin presentar diferencias significativas ($p>0.05$) con respecto al grupo control, teniendo una dieta con menor costo.

Agradecimientos

A la Dirección General de Investigaciones de la Universidad de los Llanos, por su apoyo económico para el proyecto con código C04-F01-006-2017 "Producción de proteína unicelular con el uso de levadura *Saccharomyces cerevisiae* a partir de granza de arroz y su inclusión en dietas para cerdos"

Referencias

- Aggelopoulos T, Katsieris K, Bekatorou A, Pandey A, Banat IM, Koutinas AA. Solid state fermentation of food waste mixtures for single cell protein, aroma volatiles and fat production. *Food Chem*, 2014;145(15):710-716.
- AOAC International. 2019. Official Methods of Analysis. 21st ed. Editor Latimer GW, Rockville, USA, 226 p.
- Ardila HD, Martínez ST, Higuera BL. Regulación espacio-temporal de fenilalanina amonio liasa en clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) durante su interacción con el patógeno *Fusarium oxysporum* f. sp. *Rev Colomb Quim*, 2011;40(1):7-24.
- Aruna TE, Aworh OC, Raji AO, Olagunju AI. Protein enrichment of yam peels by fermentation with *Saccharomyces cerevisiae* (BY4743). *Ann Agric Sci*, 2017;62(1):33-37.
- Chibueze-Izah S, Etim-Bassey S, Ige-Ohimain E. Amino acid and proximate composition of *Saccharomyces cerevisiae* biomass cultivated in cassava mill effluents. *Mol Microbiol Res*, 2017;7(3):20-29.
- Chu-Ky S, Pham TH, Bui KL, Nguyen TT, Pham KD, T. Nguyen HD, Luong HN, Tu VP, Nguyen TH, Ho PH, Le TM. Simultaneous liquefaction, saccharification and fermentation at very high gravity of rice at pilot scale for potable ethanol production and distillers dried grains composition. *Food Bioprod Process*, 2016;98:79-85.
- Cromwell GL, Azain MJ, Adeola O, Baidoo SK, Carter SD, Crenshaw TD, Kim SW, Mahan DC, Miller PS, Shannon MC. Corn distillers dried grains with solubles in diets for growing-finishing pigs: A cooperative study. *J Anim Sci*, 2011;89(9): 2801-2811.
- Fedearroz: Área, Producción y Rendimientos: Producción de Arroz Paddy Seco en Colombia por Zonas Desde 2018 hasta 2019. Disponible en: http://www.fedearroz.com.co/new/apr_public.php.
- FEDNA: Levadura de cerveza (Actualizado Nov. 2011). Disponible en: http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_pien-sos/levadura-de-cerveza-actualizado-nov-2011.
- Galicia-Flores LA, Islas-Caballero C, Rosales-Nolasco A, Palacios-Rojas N. Método económico y eficiente para la cuantificación colorimétrica de lisina en grano de maíz. *Rev Fitotec Mex*, 2011;34(4):285-289.
- García-Garibay M, Gómez-Ruiz M, Cruz-Guerrero AE, Bárzana E. 2014. Single Cell Protein - Yeast and Bacteria. En Batt CA, Tor-

- torello ML (editors). *Encyclopedia of Food Microbiology*. Londres, Inglaterra. p. 431-438.
- Gohel V, Duan G. Conventional process for ethanol production from Indian broken rice and pearl millet. *Bioprocess Biosyst Eng*, 2012;35(8):1297-1308.
- Hurtado V, Nibre R, Chiquieri J. Rendimiento de cerdos alimentados con raciones conteniendo subproductos de arroz, durante la fase de crecimiento. *Rev MVZ Cordoba*, 2011;16(1):2372-2380.
- Hurtado VL, Ribeiro RdT, Chiquieri J. Efeito de níveis de lisina sobre o desempenho de suínos na fase inicial de crescimento alimentado com dietas à base de quirera de arroz em substituição ao milho. *Veterinaria y Zootecnia*, 2015;9(2):01-12.
- Limberger M, Da Silva P, Emanuelli T, Comarela G, Patias D. Modificação química e física do amido de quirera de arroz para aproveitamento na indústria de alimentos. *Quim Nova*, 2008;31(1):84-88.
- Liu B, Li Y, Song J, Yang Q. Production of single-cell protein with two-step fermentation for treatment of potato starch processing waste. *Cellulose*, 2014;21(5):3637-3645.
- Liu K. Chemical Composition of Distillers Grains, a Review. *J Agric Food Chem*, 2011;59(5):1508-1526.
- Lopes CdC, Rabello CBV, Da Silva Júnior VA, Ribeiro de Holanda MC, Florêncio de Arruda EM, Ramos da Silva JdC. Desempenho, digestibilidade, composição corporal e morfologia intestinal de pintos de corte recebendo dietas contendo levedura de cana-de-açúcar. *Acta Sci. Anim Sci*, 2011;33(1):33-40.
- Moreira I, Junior MM, Furlan AC, Ishida Patricio VM, De Oliveira GC. Uso da levedura seca por "spray-dry" como fonte de proteína para suínos em crescimento e terminação. *Rev Bras de Zootec*, 2002;31(2):962-969.
- Najafpour GD. Single-Cell Protein. 2015. En Najafpour GD. *Biochemical Engineering and Biotechnology*. 2nd ed. Amsterdam, Holanda. p. 417-434.
- Nasseri AT, Rasoul-Amini S, Morowvat MH, Ghasemi Y. Single Cell Protein: Production and Process, *Am J Food Technol*, 2011;6(2):103-116.
- National Research Council. 2012. Nutrient Requirements of Swine: 11st ed. The National Academies Press, Washington D.C, USA, 420 p.
- Nepomuceno RC, Carvalho LE, Freitas ER, Gomes TR, Aquino TM, Ellery EA, Moreira RH, Vieira JJ. Inclusão da quirera de arroz em rações de suínos na fase de creche. *Rev Bras de Saude e Prod Anim*, 2011;12(3):718-728.
- Nevoigt E. Progress in metabolic engineering of *Saccharomyces cerevisiae*. *Microbiol Mol Biol Rev*, 2008;72(3):379-412.
- Nguyen-Cong O, Do-Duc L, Pham-Kim D, Bindelle J, Vu-Dinh T, Hornick JL. 2017. Effects of feeding diets containing rice distiller's by-product on growth performance, carcass characteristics and meat quality of fattening pigs. En International conference on animal production in Southeast Asia: Current status and future; Hanoi, Vietnam, p. 127-136.
- Rajoka MI, Tariq-Kiani MA, Khan S, Awan MS, Hashmi AS. Production of single cell protein from rice polishings using *Candida utilis*. *World J Microbiol Biotechnol*, 2004;20(3):297-301.
- Ritala A, Hakkinen ST, Toivari M, Wiebe MG. Single Cell Protein—State-of-the-Art, Industrial Landscape and Patents 2001–2016. *Front Microbiol*, 2017;8(2009):1-18.
- Rostagno HS, Teixeira-Albino F, Donzele JL, Gomes PC, De Oliveira RF, Lopes DC, Ferreira AS, Barreto SL, Euclides RF. 2011. Tablas Brasileñas para Aves y Cerdos. 3st ed. Universidad Federal de Viçosa, Vicosá, Brasil, 259 p.
- Velásquez A, Arias R, Toneatti M. Effect of the type of substrate on the chemical composition and productivity of a protein concentrate of yeast origin. *Cienc Investig Agrar*, 2012;39(3):425-434.
- Vicente B, Valencia DG, Serrano MP, Lázaro R. Effects of feeding rice and the degree of starch gelatinisation of rice on nutrient digestibility and ileal morphology of young pigs. *Br J Nutr*, 2009;101(9):1278-1281.
- Villegas E, Ortega E, Bauer R. 2000. Métodos Químicos Usados en el CIMMYT para Determinar la Calidad de Proteína de los Cereales. Ciudad de México, México, 29 p.
- Wang JP, Kim JD, Kim JE, Kim IH. Amino acid digestibility of single cell protein from *Corynebacterium ammoniagenes* in growing pigs. *Anim Feed Sci Technol*, 2013;180(1-4):111-114.
- Wang Y, Zhou J, Wang G, Cai S, Zeng X, Qiao S. Advances in low-protein diets for swine. *J Anim Sci Biotechnol*, 2018;9(60):1-14.
- Xue PC, Dong B, Zang JJ, Zhu ZP, Gong LM. Energy and standardized ileal amino acid digestibilities of chinese distillers dried grains, produced from different regions and grains fed to growing pigs. *Asian-Australas J Anim Sci*, 2012;25(1):104-113.