

Abanico Veterinario. Enero-Diciembre 2020; 10:1-12. <http://dx.doi.org/10.21929/abavet2020.29>
Artículo Original. Recibido: 11/07/2020. Aceptado: 30/10/2020. Publicado: 05/11/2020. Clave:2020-62.

Aprovechamiento de desechos de pescado y cáscara de piña para producir ensilado biológico

Use of fish waste and pineapple peel to produce biological silage

Ramírez-Ramírez José^{1,2*} ID, Loya-Olguín José^{1,2} ID, Ulloa José^{2,3} ID, Rosas-Ulloa Petra^{2,3} ID, Gutiérrez-Leyva Ranferi^{1,2} ID, Silva-Carrillo Yessica^{2,3} ID

¹Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Nayarit, Compostela, México; ²Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias, Universidad Autónoma de Nayarit, Xalisco, México; ³Centro de Tecnología de Alimentos, Universidad Autónoma de Nayarit, Tepic, México. *Autor responsable y de correspondencia: José Ramírez-Ramírez. ¹Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Nayarit, Carretera Compostela-Chapalilla Km 3.5, Compostela Nayarit, México, C.P. 63700. (311) 1188478. ramcara60@gmail.com, arulloa5@gmail.com, joselenin28@hotmail.com, petrosas@uan.edu.mx, granferi@hotmail.com, ysilvacarrillo@gmail.com

RESUMEN

Se formularon seis tratamientos para elaborar ensilado biológico con desechos de pescado, rastrojo de maíz, melaza, cáscara de piña (CP) [15, 30 y 45%] e inóculo *Lactobacillus* sp. o *Lactobacillus* B2. Los ensilados de cada tratamiento se hicieron por triplicado y se incubaron a 30°C durante 0, 2, 4, 7 y 14 días con el propósito de evaluar la acidificación bajo un diseño factorial 3 x 2 x 5. A los ensilados se les determinó la composición química y la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) al terminar la fermentación. La acidificación más alta ($p < 0.05$) la presentaron los tratamientos con CP 15 y 30% y *Lactobacillus* B2 a los 7 días. Con 15% de CP se obtuvo el mayor contenido de materia seca (39.3%) ($p < 0.05$) y la proteína cruda (26.5 a 31%, rango) fue igual ($p > 0.05$). La concentración mayor de lípidos (9.85%) se presentó en los tratamientos con CP 30 y 45% y *Lactobacillus* B2. Las fracciones de fibra detergente disminuyeron al aumentar el nivel de CP y la DIVMS más alta (82.9%) se presentó en los ensilados al utilizar *Lactobacillus* B2, independientemente del nivel de CP ($p < 0.05$). Los ensilados obtenidos son una alternativa para alimentación de rumiantes.

Palabras clave: Desechos de pescado, cáscara de piña, ensilado biológico, alimentación de rumiantes.

ABSTRACT

Six treatments were formulated to make silages with fish wastes, corn stubble, molasses, pineapple peel (PP) [15, 30 and 45%] and inoculum *Lactobacillus* sp. or *Lactobacillus* B2. The silages of each treatment were made in triplicate and incubated at 30 °C for 0, 2, 4, 7 and 14 days in order to evaluate the acidification under a 3 x 2 x 5 factorial design. The chemical composition and *in vitro* dry matter digestibility (IVDMD) were determined to the silages at end of fermentation. The highest acidification ($p < 0.05$) was presented in the treatments with PP 15 and 30% and *Lactobacillus* B2 for 7 days. The highest dry matter content (39.3%) ($p < 0.05$) was obtained with 15% of PP and the crude protein was from 26.5 to 31% without significant difference. The highest concentration of lipids (9.85%) was present in the treatments with PP 30 and 45% and *Lactobacillus* B2. Detergent fiber fractions decreased with increasing PP level and the highest IVDMD (82.9%) occurred in silages when using *Lactobacillus* B2, regardless of PP level. The silages obtained are an alternative in ruminant feeding.

Keywords: Fish waste, pineapple peel, biological silage, ruminant feeding.

INTRODUCCIÓN

La producción pesquera mundial en 2016 alcanzó aproximadamente 171 millones de ton, de los cuales la acuicultura representó un 47% del total y la pesca 53%, sin incluir lo destinado a la producción de harina y aceite de pescado (FAO, 2018). Del procesamiento industrial del pescado derivan más de 60% de residuos constituidos por aletas, escamas, cabezas, vísceras, esqueleto, piel, huevas y restos de carne (Ghosh *et al.*, 2016; Renuka *et al.*, 2016). Esos desechos en muchas partes del mundo son descartados, lo cual causa una gran pérdida de nutrientes como proteínas, lípidos y minerales, además de contaminar el ambiente (Olsen y Toppe, 2017). Con los desechos de pescado se pueden producir fertilizantes, concentrados e hidrolizados de proteína, así como harina y aceite de pescado (Renuka *et al.*, 2016; Ozyurt *et al.*, 2017). También se han desarrollado biotécnicas para la conversión de los desechos de pescado en productos de alto valor como ácidos grasos poliinsaturados, péptidos fisiológicamente importantes, carbohidratos y otros compuestos bioactivos (Ghaly *et al.*, 2013; Smichi *et al.*, 2016). Sin embargo, la mayoría de esas tecnologías no son económicamente atractivas debido a que requieren alta inversión (Ozyurt *et al.*, 2017). El insumo de mayor importancia en producción animal es la harina de pescado por su alto contenido proteico, pero debido a su alto costo en el mercado se demandan fuentes alternas de proteína (Castillo *et al.*, 2019). El ensilado de pescado es un producto resultante de la preservación de pescado completo o partes por la adición de ácidos orgánicos o inorgánicos (ensilado químico) o por fermentación bacteriana (ensilado biológico) (Ghaly *et al.*, 2013; Olsen y Toppe, 2017). El ensilado de pescado producido por el método biológico es una alternativa tecnológica viable desde el punto de vista económico y ambiental, el cual consiste en mezclar el desecho de pescado molido con melaza u otra fuente de carbohidratos y un cultivo iniciador de bacterias ácido lácticas (BAL) (Ramírez-Ramírez *et al.*, 2018; Castillo *et al.*, 2019). Durante la fermentación las BAL incrementan la producción de ácidos, principalmente láctico, por lo que el pH disminuye y se frena el deterioro microbiano; además las proteasas del pescado se activan, aceleran la proteólisis y por consecuencia la digestibilidad del producto aumenta (Ghaly *et al.*, 2013). Así mismo, las BAL generan compuestos tales como bacteriocinas y peróxido de hidrógeno que ayudan a la conservación y diacético, sustancia potenciadora de aroma y sabor (Jini *et al.*, 2011). En ese sentido, para lograr el control de la fermentación es importante la selección de cepas de BAL. Según diversos estudios, el ensilado de pescado es una fuente excelente de proteínas, lípidos y minerales con grandes propiedades biológicas para alimentación animal (Geron *et al.*, 2007; Ghaly *et al.*, 2013; Ramírez-Ramírez *et al.*, 2016; Land *et al.*, 2017), además el ensilado biológico de pescado presenta beneficios antibacterianos, antioxidantes y es una fuente posible de probióticos (Jini *et al.*, 2011; Ozyurt *et al.*, 2017). Por otra parte, la piña (*Annanas comosus* Merr.) ocupa el tercer lugar como la fruta más popular y de mayor importancia económica en el mundo, con una producción de 24'785,762 ton

(FAOSTAT, 2018). De la industrialización de la piña se obtiene aproximadamente un 75% del peso del fruto como desechos, los cuales son una fuente valiosa de fibra, azúcares solubles, proteína, ácido ascórbico, vitaminas, minerales, agua y de compuestos bioactivos como la bromelina de múltiples aplicaciones (Damasceno *et al.*, 2016; Ketnawa *et al.*, 2012). Los desechos de piña pueden utilizarse como sustrato de buena calidad para los microorganismos en procesos fermentativos; sin embargo, muchas veces son tirados causando serios problemas de contaminación (Ketnawa *et al.*, 2012). Por todo lo anterior, el aprovechamiento de los desechos de pescado y piña podría ser una alternativa viable y relevante desde el punto de vista económico y ambiental. Hasta donde llega nuestro conocimiento no hay reportes sobre el uso de desechos de pescado y cáscara de piña juntos. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el aprovechamiento de esos desechos industriales en la producción de ensilados por fermentación láctica.

MATERIAL Y MÉTODOS

Preparación de la materia prima

Desechos de pescado y cáscara de piña

Se obtuvieron desechos de pescado de especies marinas comerciales tales como *Bagre panamensis*, *Peprilus snyderi*, *Sphyaena ensis*, *Trachynotus ovatus*, *Argyrosomus regius*, *Diplodus vulgaris* y *Bagre panamensis* (pescado estuarino) del puerto de San Blas, Nayarit, México. Los desechos fueron procesados en un molino para carne (Marca Torrey, modelo 32-3, México) usando el cedazo de 0.5 cm de diámetro y se almacenaron a -20°C hasta su uso. La cáscara de piña (*Annanas comosus* Merr.) variedad Cayena lisa se obtuvo manualmente con cuchillo y se molió homogéneamente en un procesador de alimentos. En la tabla siguiente se presenta la composición química de dichos ingredientes.

Tabla 1. Composición química (% de MS) de desechos de pescado y cáscara de piña.

Componente	Desechos de pescado	Cáscara de piña
Materia seca	29.72 ± 0.4	23.22 ± 0.37
Cenizas	18.94 ± 0.52	4.11 ± 0.12
Proteína cruda (Nt x 6.25)	52.43 ± 0.92	4.31 ± 0.13
Extracto etéreo	24.50 ± 0.67	3.38 ± 0.46
Fibra cruda	---	13.95 ± 0.55
Fibra neutro detergente	---	41.60 ± 1.10
Fibra ácido detergente	---	22.71 ± 0.73
ELN	4.13	74.25

Media ± desviación estándar, n = 3.

ELN = 100 – % de cenizas - % de proteína cruda - % de lípidos - % de fibra cruda.

Melaza de caña y rastrojo de maíz

Se utilizó melaza de caña de un contenido de humedad de 25.15%, 10.37% de cenizas y 55.73% de carbohidratos solubles totales. Para mejorar la consistencia de los

ensilados se adicionó rastrojo de maíz procesado en un molino de cuchillas usando la criba de 2 mm (Willey, model 4, Philadelphia, USA).

Inóculos

Fueron evaluadas las cepas de *Lactobacillus* B2 y *Lactobacillus* sp., siendo esta última aislada de desechos de mango en nuestro laboratorio. Los iniciadores se cultivaron en caldo MRS (de Man Rogosa and Sharpe, MRS, Merck Darmstadt) a 30 °C por 24 h hasta registrar una concentración final de 1×10^9 ufc/mL.

Producción de los ensilados

Se prepararon seis tratamientos con diferentes cantidades en proporción porcentual de desechos de pescado, CP (15, 30 y 45%, p/p), rastrojo de maíz, melaza de caña (9%, p/p). Como inóculo (I) se utilizó *Lactobacillus* sp. o *Lactobacillus* B2 al 4% (v/p) (Tabla 2). Las mezclas obtenidas se utilizaron para elaborar mini silos de 100 g en bolsas de plástico color negro. Cada tratamiento se preparó por triplicado y los silos se sellaron a vacío e incubaron a 30 °C durante 14 días.

Tabla 2.- Composición porcentual de ingredientes utilizados en la producción de los ensilados por fermentación ácido láctica.

Ingrediente	Porcentaje					
	57	47	37	57	47	37
Desechos de pescado	57	47	37	57	47	37
Cáscara de piña	15	30	45	15	30	45
Melaza	9	9	9	9	9	9
Rastrojo de maíz	15	10	5	15	10	5
Inóculo	4 A	4 A	4 A	4 B	4 B	4 B

A = *Lactobacillus* sp aislado de desechos de mango.

B = *Lactobacillus* B2.

Análisis químico

Los ensilados se analizaron cada 0, 2, 4, 7 y 14 días (T) para determinar el pH con un potenciómetro modelo UB10 Ultra Basic (Denver Instrument, USA) y el contenido de ácido láctico por titulación. Los ensilados obtenidos al tiempo final de la fermentación se analizaron para determinar su composición química proximal (AOAC, 2005) y los contenidos de fibra neutro detergente (FND) y fibra ácido detergente (FAD) por el método de Van Soest *et al.* (1991).

Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS)

La DIVMS se determinó siguiendo la técnica de dos pasos de Tilley y Terry (1963). Las muestras de ensilado se secaron a 70 °C por 24 h en un horno de aire forzado y se procesaron en un molino Wiley a un tamaño de partícula de 1 mm. Para colectar el líquido ruminal se usaron dos borregos Blackbelly sin castrar de 35 Kg de peso corporal y equipados con cánula en el rumen. Los ovinos se alimentaron con una dieta a base de 25% de ensilado de maíz, 25% de alfalfa y 50% de concentrado. En el segundo paso de la técnica de DIVMS se utilizó pepsina (Sigma P-7012, Sigma).

Análisis estadístico

Los datos de los parámetros fermentativos fueron tratados por análisis de varianza (ANDEVA) para un diseño factorial 3 x 2 x 5 (nivel de cáscara de piña x inóculo x tiempo de fermentación). Los datos obtenidos de la composición química y DIVMS se analizaron por ANDEVA para un diseño factorial 3 x 2 (nivel de cáscara de piña x inóculo). Al encontrarse diferencia significativa, las medias de los tratamientos fueron comparadas con la prueba de Tukey ($p < 0.05$). El análisis se hizo con el programa Statistica 7. ([Statistica, versión 7.1](#)).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Parámetros fermentativos

El contenido de ácido láctico de los ensilados presentó diferencias significativas entre tratamientos debido a los factores inóculo (I) y tiempo de fermentación (T) (Tabla 3). Las mezclas sin fermentar presentaron el contenido más bajo de ácido láctico (promedio $0.55 \pm 0.15\%$) sin existir diferencia entre esos tratamientos ($p > 0.05$). Sin embargo, entre los días 2 y 7 del proceso, la mayoría de los tratamientos con *Lactobacillus* B2 presentaron la concentración máxima de ácido láctico (promedio $3.42 \pm 0.17\%$). El alto poder acidificante de *Lactobacillus* B2 se ha reportado anteriormente ([Ramírez-Ramírez et al., 2008; 2018](#)) y en este trabajo se reafirma. Los resultados obtenidos concuerdan con valores de 2.96 a 4.42% de ácido láctico reportados recientemente para ensilado biológico adicionado con mezclas de desechos de pescado y mango ([Ramírez-Ramírez et al., 2018](#)), así como con los valores de 2.96 y 3.08% de ácido láctico para ensilados fermentados de cabeza de langostino y residuos de pescado; respectivamente ([Castillo et al., 2019](#)).

El pH fue afectado significativamente por los factores principales, nivel de cáscara de piña (CP), inóculo (I) y tiempo de fermentación (T); confirmándose las interacciones CP x I y CP x T (Tabla 3). Las mezclas sin fermentar presentaron los valores más altos de pH y al aumentar el nivel de CP hubo un descenso de dicho parámetro ($p < 0.05$). En los ensilados se observó que al aumentar la producción de ácido láctico el pH disminuyó significativamente, obteniéndose los mejores valores de pH entre los días 2 y 7 de fermentación (Tabla 3), lo cual se debe a que las BAL alcanzan la cima de la curva de crecimiento. Sin embargo, la interacción CP x I mostró que a los 7 días del proceso el pH de los tratamientos con 15 y 30% de CP e inoculados con *Lactobacillus* B2 fue mejor que con *Lactobacillus* sp, lo cual también se observó de forma similar a los 14 días en los ensilados con 15% de CP. El pH de los ensilados fue afectado por la interacción CP x T durante los 0, 7 y 15 días del proceso ($p < 0.05$). Sin embargo, entre 2 y 4 días de fermentación los valores de pH de los ensilados no presentaron diferencias significativas, independientemente del nivel de CP y del tipo de inóculo ($p < 0.05$). Los tratamientos con 30 y 45% de CP a los 14 días de fermentación mostraron un pequeño aumento en el pH, lo cual estuvo relacionado con un descenso de 0.72 unidades

porcentuales en la producción de ácido láctico. El incremento del pH se debió al efecto amortiguador de las proteínas del pescado y péptidos derivados de su hidrólisis (Ramírez-Ramírez *et al.*, 2008; Ghaly *et al.*, 2013), así como también a la alta cantidad de cenizas que aportan los huesos de los desechos de pescado (Tablas 2 y 4), puesto que las sales de calcio actúan como neutralizantes del ácido láctico de los ensilados durante su almacenamiento (Land *et al.*, 2017).

Tabla 3. Efecto del nivel de cáscara de piña, inóculo y tiempo de fermentación sobre el contenido de ácido láctico y pH de los ensilados.

Nivel de cáscara de piña (CP) (%)	Inóculo (I)	Tiempo de fermentación (T) (días)	Ácido láctico (%)	pH
15	A	0	0.49 ± 0.08c	6.09 ± 0.05a
15	B	0	0.43 ± 0.01c	6.05 ± 0.14a
30	A	0	0.55 ± 0.02c	5.83 ± 0.01b
30	B	0	0.73 ± 0.03c	5.60 ± 0.10c
45	A	0	0.37 ± 0.14c	5.44 ± 0.25c
45	B	0	0.72 ± 0.07c	5.32 ± 0.28c
15	A	2	2.97 ± 0.45b	4.62 ± 0.03e
15	B	2	3.37 ± 0.05 ^a	4.65 ± 0.07 ^e
30	A	2	2.71 ± 0.25 ^b	4.64 ± 0.05 ^e
30	B	2	3.32 ± 0.21 ^a	4.52 ± 0.05 ^e
45	A	2	2.98 ± 0.41 ^b	4.36 ± 0.09 ^e
45	B	2	3.14 ± 0.15 ^{ab}	4.51 ± 0.05 ^e
15	A	4	3.09 ± 0.61 ^{ab}	4.69 ± 0.15 ^{de}
15	B	4	3.57 ± 0.06 ^a	4.63 ± 0.04 ^e
30	A	4	2.78 ± 0.14 ^b	4.65 ± 0.03 ^e
30	B	4	3.79 ± 0.34 ^a	4.49 ± 0.01 ^e
45	A	4	2.98 ± 0.41 ^b	4.44 ± 0.05 ^e
45	B	4	3.49 ± 0.25 ^a	4.56 ± 0.04 ^e
15	A	7	2.77 ± 0.28 ^b	4.77 ± 0.04 ^d
15	B	7	3.32 ± 0.47 ^a	4.68 ± 0.16 ^e
30	A	7	2.49 ± 0.14 ^b	4.82 ± 0.03 ^d
30	B	7	3.31 ± 0.33 ^a	4.50 ± 0.11 ^e
45	A	7	3.44 ± 0.12 ^a	4.43 ± 0.01 ^e
45	B	7	3.47 ± 0.13 ^a	4.50 ± 0.15 ^e
15	A	14	2.34 ± 0.74 ^b	4.89 ± 0.06 ^d
15	B	14	2.76 ± 0.04 ^b	4.68 ± 0.21 ^e
30	A	14	2.61 ± 0.26 ^b	4.77 ± 0.06 ^d
30	B	14	2.83 ± 0.55 ^b	4.83 ± 0.03 ^d
45	A	14	2.82 ± 0.31 ^b	4.82 ± 0.06 ^d
45	B	14	2.93 ± 0.44 ^b	4.77 ± 0.05 ^d
Efecto			Valor de p	
CP			0.24	< 0.01
I			< 0.01	< 0.01
T			< 0.01	< 0.01
CP x I			0.12	< 0.01
CP x T			0.17	< 0.01
I x T			0.15	0.24
CP x I x T			0.57	0.09

A = *Lactobacillus* sp, aislado de desechos de mango.

B = *Lactobacillus* B2.

a,b,c,d,e: Medias en la misma columna con diferente superíndice presentan diferencia significativa (p<0.05).

Sin embargo, los ensilados obtenidos en este estudio presentaron características sensoriales aceptables y sin mostrar signos de descomposición. Los valores de pH de

los ensilados de este estudio concuerdan con el de otros reportes (Castillo *et al.*, 2019; Ramírez-Ramírez *et al.*, 2018), aunque resultaron superiores al de 4.2 obtenido para ensilado biológico de residuos del fileteado de tilapia (Gerón *et al.*, 2007).

Composición química

En la Tabla 4 se muestran los resultados de la composición química y DIVMS de los ensilados obtenidos a los 14 días de fermentación. El contenido de materia seca (MS) disminuyó significativamente al aumentar el nivel de CP, por lo cual los ensilados con 45% de CP presentaron el contenido más bajo de MS, independientemente de la cepa inoculante ($p < 0.05$). Los ensilados con 15% de CP presentaron los valores más altos de MS (39.3%), a pesar de tener en su formulación un alto contenido de desechos de pescado (57%), cuyo porcentaje de humedad es alto (Tablas 1, 2 y 4). Lo anterior seguramente se debió por la adición de 15% de rastrojo de maíz, lo que también mejoró la consistencia de los ensilados. Los resultados de MS obtenidos concuerdan con los de otros reportes (Geron *et al.*, 2007; Castillo *et al.*, 2019; Ramírez-Ramírez *et al.*, 2018). El nivel de CP y la interacción CP x I fueron significativos en el contenido de cenizas. Los ensilados con 15% de CP e inoculados con *Lactobacillus* sp. presentaron el contenido más alto (14.5%) de cenizas ($p < 0.05$), sin embargo, los demás tratamientos presentaron una buena concentración de minerales, debido a que los desechos de pescado son una fuente importante de esos nutrientes Tablas (1 y 4). El contenido de cenizas obtenido es similar a los resultados de otras investigaciones (Castillo *et al.*, 2019; Ramírez-Ramírez *et al.*, 2018), aunque fueron inferiores a 18.7% reportado por Geron *et al.* (2007).

Tabla 4. Efecto del nivel de cáscara de piña e inóculo sobre la composición química proximal, fibra neutro detergente (FND), fibra ácido detergente (FAD) y digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) de los ensilados.

Cáscara de piña (CP)	Inóculo (I)	Materia seca (%)	Cenizas (%)	Proteína cruda (%)	Extracto etéreo (%)	FND (%)	FAD (%)	DIVMS (%)
15	A	39.6±0.7 ^a	14.5±0.6 ^a	27.5±1.5 ^{ab}	6.0±0.7 ^c	39.7±3.3 ^a	22.1±0.9 ^a	76.8±1.7 ^b
30	A	35.1±0.5 ^b	11.7± 0.3 ^b	26.5±1.9 ^b	5.2±0.6 ^c	41.9±2.4 ^a	22.7±1.7 ^a	76.2 ±1.1 ^b
45	A	28.5±1.3 ^c	12.5± 0.5 ^b	26.7±0.9 ^b	5.7±0.5 ^c	32.1±0.7 ^b	17.9±1.6 ^b	82.6±0.5 ^a
15	B	39.0±1.4 ^a	12.8±0.2 ^b	29.7±0.8 ^{ab}	8.0±1.0 ^b	37.5±2.4 ^a	21.6±2.0 ^a	80.6±0.3 ^a
30	B	33.5±0.5 ^b	12.3± 1.4 ^b	27.8±3.0 ^{ab}	9.7±0.8 ^a	35.7±1.6 ^b	24.6±1.5 ^a	84.4±3 ^a
45	B	28.9±1.5 ^c	12.9±0.7 ^b	31.0±3.6 ^a	10.0±0.8 ^a	28.0±0.9 ^c	18.4±0.8 ^b	83.8±2.1 ^a
Efecto, valor de p								
CP		<0.01	0.01	0.369	0.021	<0.01	<0.01	0.03
Inóculo		0.26	0.51	.028	<0.01	<0.01	0.39	<0.01
CP x Inóculo		0.33	0.04	0.52	0.30	0.97	0.42	0.08

A = *Lactobacillus* sp., aislado de desechos de mango.

B = *Lactobacillus* B2.

a,b,c: Valores con letra distinta en cada columna difieren estadísticamente ($p < 0.05$).

Los ensilados mostraron diferencia significativa en el contenido de proteína cruda debido al tipo de inóculo utilizado. Los ensilados con 45% de CP e inoculados con *Lactobacillus* B2 presentaron numéricamente el contenido de proteína cruda más alto (31%), pero estadísticamente el nivel de CP y el inóculo no produjeron cambios relevantes en la proteína cruda de los ensilados (Tabla 4). El contenido de proteína cruda de los ensilados obtenidos con 45% de CP y *Lactobacillus* B2 coincide con un 31.6% de ensilado biológico de desechos de tilapia (Geron *et al.*, 2007), aunque fue superior a 28.08% de proteína cruda de ensilado biológico de desechos de pescado y mango (Ramírez-Ramírez *et al.*, 2018); sin embargo, fue inferior a 35.42% reportado por Castillo *et al.* (2019) para ensilado biológico de residuos de pescado, melaza y yogurt. El extracto etéreo de los ensilados presentó diferencia significativa debido a los efectos principales. Al respecto, los tratamientos con 30 y 45% de CP e inoculados con *Lactobacillus* B2 mostraron el contenido más alto de lípidos (9.85%), lo cual es muy importante desde el punto de vista nutricional, ya que en ellos se encuentran ácidos grasos esenciales para la alimentación animal (Vidotti *et al.*, 2011). Los resultados de extracto etéreo de este estudio son inferiores a los reportados por Geron *et al.* (2007) y Castillo *et al.* (2019); sin embargo, coinciden con los hallazgos de otro estudio (Ramírez-Ramírez *et al.*, 2018). Los contenidos de FND y FAD disminuyeron al aumentar el nivel de CP. Aunque la CP es una buena fuente de fibra (Tabla 1), la tendencia en los resultados se debió a la adición de rastrojo de maíz en la fórmula, ya que los ensilados con mayor contenido de CP a la vez contenían menor cantidad de rastrojo de maíz y por tanto menos contenido de FND y FAD (Tablas 2 y 4). En ese sentido, los resultados son muy importantes, ya que los contenidos de FND y FAD en los forrajes están correlacionados negativamente con el consumo y la digestibilidad. Los porcentajes de FND y FAD obtenidos en los ensilados del presente estudio fueron superiores a los reportados por Ramírez-Ramírez *et al.* (2018).

Digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS)

Los valores de digestibilidad de componentes alimenticios son parámetros importantes para evaluar la formulación de las dietas y para determinar la utilización de un componente alimenticio (Ozyurt *et al.*, 2017). Los valores de DIVMS de los ensilados presentaron un rango de 76.2 a 84.4% con diferencias significativas entre tratamientos debido a los efectos principales ($p < 0.05$). Al aumentar el nivel de CP a 45% y con la adición de *Lactobacillus* sp., los ensilados presentaron un incremento de 6.1 unidades porcentuales en la DIVMS para alcanzar 82.6% ($p < 0.05$). Sin embargo, ese resultado fue estadísticamente igual al utilizar *Lactobacillus* B2, independientemente del nivel de CP (Tabla 4). En la producción de ensilado de pescado, las proteasas presentes en el medio ácido hidrolizan las proteínas en fragmentos más pequeñas, péptidos y aminoácidos, lo cual afecta a la digestibilidad total (Ghaly *et al.*, 2013; Geron *et al.*, 2007; Ramírez-Ramírez *et al.*, 2016; Olsen y Toppe, 2017). El efecto del nivel de CP sobre el aumento en la DIVMS se debió probablemente a un aumento en la

disponibilidad de nutrientes, lo cual estuvo relacionado con el descenso en las fracciones de fibra y por consecuencia incrementó la actividad microbiana ruminal. Así mismo, la adición de CP probablemente aumentó la actividad de la pepsina utilizada en el segundo paso de la prueba de digestibilidad, lo cual simula la digestión estomacal y por tanto la DIVMS de los ensilados aumentó. Las BAL son mejor conocidas como cultivos iniciadores debido a sus características metabólicas versátiles tales como actividad acidificante, actividad proteolítica y síntesis de bacteriocinas (Jini *et al.*, 2011). En general, la DIVMS de los ensilados fue mayor con *Lactobacillus* B2 que con *Lactobacillus* sp., debido al mejor poder acidificante de *Lactobacillus* B2 y probablemente a una alta capacidad productora de enzimas digestivas. Los resultados de DIVMS obtenidos en este trabajo concuerdan con los de otros reportes (Ozyurt *et al.*, 2017; Ramírez-Ramírez *et al.*, 2018).

CONCLUSIONES

La inclusión de cáscara de piña en un 15 y 30% y *Lactobacillus* B2 causó la mejor acidificación de los ensilados a 7 días de fermentación. Sin embargo, a los 14 días todos los ensilados fueron estables y presentaron alto contenido de nutrientes. Además, el uso de *Lactobacillus* B2, independientemente del nivel de cáscara de piña produjo la más alta DIVMS de los ensilados. La producción de ensilados con desechos de pescado y cáscara de piña en combinación con melaza y rastrojo de maíz es una alternativa tecnológica sencilla, económica y amigable con el ambiente. Se recomienda realizar el escalamiento del proceso de producción y evaluar los ensilados en la alimentación de rumiantes.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la asistencia técnica del MVZ Francisco Arce Romero, Unidad Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Nayarit, México.

LITERATURA CITADA

AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS). 2005. *Official Methods of Analysis of the AOAC*. 18ed. AOAC International, Gaithersburg, MD, USA. ISBN 0-935584-77-3. <http://www.eoma.aoac.org/>

CASTILLO GWE, Sánchez SHA, Ochoa MGM. 2019. Evaluación del ensilado de residuos de pescado y de cabeza de langostino fermentado con *Lactobacillus fermentus* aislado de cerdo. *Revista de investigaciones Veterinarias del Perú*. 30(4):1456-1469. ISSN: 1609-9117. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v30i4.17165>

DAMASCENO KA, Alvarenga CA, Dos Santos G, Lacerda L, Bastianello PC, Leal P, Arantes-Pereira L. 2016. Development of cereal bars containing pineapple peel flour (*Annanas Comosus* L. Merril). *Journal of Food Quality*. 39:417-424. ISSN: 1745-4557. <https://doi.org/10.1111/jfq.12222>

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) 2018. *El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2018. Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible*. Roma. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. Pp. 2. ISBN 978-92-5-130688-8. <http://www.fao.org/3/I9540ES/i9540es.pdf>

FAOSTAT (Statistical Database of the Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2018. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>

GERON LJV, Zeoula LM, Vidotti RM, Matsushita M, Kazama R, Caldas SF, Fareli F. 2007. Chemical characterization, dry matter and crude protein ruminal degradability and *in vitro* intestinal digestion of acid and fermented silage from tilapia filleting residue. *Animal Feed Science and Technology*. 136:226-239. ISSN: 0377-8401. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.09.006>

GHALY AE, Ramakrishnan VV, Brooks MS, Budge SM, Dave D. 2013. Fish Processing Wastes as a Potential Source of Proteins, Amino Acids and Oils: A Critical Review. *Journal of Microbial and Biochemical Technology*. 5(4):107-129. ISSN: 1948-5948. <http://dx.doi.org/10.4172/1948-5948.1000110>

GHOSH PR, Fawcett D, Sharma SB, Poinern GEJ. 2016. Progress towards sustainable utilization and management of food wastes in the global economy. *International Journal of Food Science*. 2016:1-22. ISSN: 2314-5765. <http://downloads.hindawi.com/journals/ijfs/2016/3563478.pdf>

JINI R, Swapna HC, Amit KR, Vrinda R, Halami PM, Sachindra NM, Bhaskar N. 2011. Isolation and characterization of potential lactic acid bacteria (LAB) from freshwater fish processing wastes for application in fermentative utilization of fish processing waste. *Brazilian Journal of Microbiology*. 42:1516-1525. ISSN: 1517-8382. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822011000400039>

KETNAWA S, Chaiwut P, Rawdkuen S. 2012. Pineapple wastes: A potential source for bromelain extraction. *Food and Bioproducts Processing*, 90:385-391. ISSN: 0960-3085. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.12.006>

LAND M, Vanderperren E, Raes K. 2017. The effect of raw material combination on the nutritional composition and stability of four types of autolyzed fish silage. *Animal Feed Science and Technology*. 234:284-294. ISSN: 0377-8401. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.10.009>

OLSEN RL, Toppe J. 2017. Fish silage hydrolysates: No only a feed nutrient, but also a useful feed additive. *Trends in Food Science & Technology*. 66:93-97. ISSN: 0924-2244. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.003>

OZYURT G, Boga M, Uçar Y, Boga EK, Polat A. 2017. Chemical, bioactive properties and in vitro digestibility of spray-dried fish silages: Comparison of two discard fish (*Equulites klunzingeri* and *Carassius gibelio*) silages. *Aquaculture nutrition*. 1-8. ISSN: 1365-2095. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/anu.12636>

RAMÍREZ-RAMÍREZ JC, Huerta S, Arias L, Prado A, Shirai K. 2008. Utilization of shrimp by-catch and fish wastes by lactic acid fermentation and evaluation of degree of protein hydrolysis and *in vitro* digestibility. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 7(3):195-204. ISSN 1665-2738. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmiq/v7n3/v7n3a3.pdf>

RAMÍREZ-RAMÍREZ JC, Ibarra JI, Gutiérrez R, Ulloa JA, Rosas P. 2016. Use of biological fish silage in broilers feed: Effect on growth performance and meat quality. *Journal of Animal and Plant Sciences*. 27(3):4293-4304. ISSN: 2071-7024. <https://m.elewa.org/Journals/wp-content/uploads/2016/02/4.Ramirez.pdf>

RAMÍREZ-RAMÍREZ JC, Gutiérrez R, Ulloa JA, Rosas P, Torres G, Bautista PU. 2018. Utilization of fish and mango wastes on biological silage production. *Current Research in Agricultural Sciences*. 5(1):6-14. ISSN: 2312-6418. [http://www.conscientiabeam.com/pdf-files/agr/68/CRAS-2018-5\(1\)-6-14.pdf](http://www.conscientiabeam.com/pdf-files/agr/68/CRAS-2018-5(1)-6-14.pdf)

RENUKA V. Zynudheen AA, Panda SK, Ravishankar CNR. 2016. Nutritional evaluation of processing discard from tiger tooth croaker, *Otholites ruber*. *Food Science and Biotechnology*. 25(5):1251-1257. ISSN: 2092-6456. <https://doi.org/10.1007/s10068-016-0198-0>

SMICHI N, Kharrat N, Achouri N, Gargouri Y, Miled N, Fendri A. 2016. Physicochemical characterization and nutritional quality of fish by-products: *in vitro* oils digestibility and synthesis of flavour esters. *Journal of Food Processing & Technology*. 7(7)602. ISSN: 2157-7110. <https://www.longdom.org/archive/jfpt-volume-7-issue-7-year-2016.html>

STATISTICA software, version 7.1.
https://softadvice.informer.com/Statistica_7.1_Free_Download.html

TILLEY MA, Terry RA. 1963. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *Grass and Forage Science*. 18(2):104–111. ISSN: 1365-2494.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2494.1963.tb00335.x>

VAN SOEST, PJ, Robertson JB, Lewis, BA. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*. 74(10):3583-3597. ISSN: 0022-0302.
[https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(91\)78551-2/pdf](https://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(91)78551-2/pdf)

VIDOTTI RM, Bertoldo MT, Gonçalves GS. 2011. Characterization of the oils present in acid and fermented silage produced from Tilapia filleting residue. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 40(2):240-244. ISSN: 1806-9290. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000200002>