

Physicochemical and biological indicators in silages of taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) tubers for animal feeding

Indicadores físico-químicos y biológicos en ensilados de tubérculos de *Colocasia esculenta* (L.) Schott) para la alimentación animal

W. Caicedo¹, R. Rodríguez², P. Lezcano³, J. Ly³, S. Valle¹, L. Flores⁴ and F.N.A. Ferreira⁵

¹Universidad Estatal Amazónica, km 2 ½ vía a Napo, Pastaza, Ecuador

²Universidad de Granma, Centro de Estudios de Producción Animal, Bayamo, Cuba

³Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba

⁴Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador

⁵Universidad Federal Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil

Correo electrónico: orlando.caicedo@yahoo.es

For assessing the physicochemical and biological indicators in silages of taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) tubers for animal feeding, four silages with waste tubers were made. Treatments were: (1_NY) natural yogurt, (2_W) whey, (3_WMB5) whey and 5 % molasses B and 4_WMB10) whey and 10 % molasses B. The experimental design was a completely randomized of simple classification. Regarding the temperature at day zero, treatment 2_W showed the highest value ($P < 0.05$) (22.65 °C). At day one, 1_NY exhibited the highest value ($P < 0.05$) (22.53 °C). At days two and three in treatment 2_W the highest values were obtained ($P < 0.05$) (22.53 – 22.49 °C). From day four, to 180 in the 4_WMB10 the highest temperature was reached 22.83 – 22.54 °C. Regarding pH, at day 0, treatment 3_WMB5 presented the highest value ($P < 0.05$) 5.4. From day 1 to 4, pH was proportionally reduced in the silages being higher in treatment 2_W, in 0.71 units from day 5 to 180. Later, the pH was stabilized in all silages. Treatment 3_WMB5 showed the lowest value ($P < 0.05$) (3.93 – 3.83). Fungi, yeasts, total coliform and *Escherichia coli* were present on day zero and later were absent. There was no *Clostridium spp.* or *Salmonella spp.* throughout the study. The physicochemical and microbiological indicators in the silages until day 180 showed a perfect performance, fit for animal feeding.

Key words: tubers, fermentation, microorganisms, animal feeding

Introduction

Alternative feeds, because of its perishable condition, cannot be stored without processing for preserving its nutritive value. In addition, since they can be available in large volume only in certain periods, cannot be used completely in animal feeding (Domínguez *et al.* 2012 and Fránquez *et al.* 2012).

In Ecuador, there are viable alternative feeds for animal feeding that are not utilized because their nutritional characteristics are not known. Among these are the taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) tubers that contain excellent nutrients for its utilization in the animal diet (Caicedo 2013). This condition facilitates the possibility of applying the ensiling technique as alternative for preserving these products for a long time and assure animal feeding (Caicedo *et al.* 2013).

The ensiling technique allows preserving the

Con el propósito de evaluar los indicadores físico-químicos y biológicos en ensilados de tubérculos de papa china (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) para su empleo en la alimentación animal, se realizaron cuatro ensilados con tubérculos de desecho. Los tratamientos fueron: (1_YN) yogurt natural, (2_SL) suero de leche, (3_SLMB5) suero de leche y miel B 5 % y (4_SLMB10) suero de leche y miel B 10 %. El experimento se condujo mediante un diseño completamente aleatorizado de clasificación simple. Con respecto a la temperatura, en el día cero, el tratamiento (2_SL) presentó el mayor valor ($P < 0.05$) (22.65 °C). En el día uno, el (1_YN) mostró el valor más alto ($P < 0.05$) (22.53 °C). En los días dos y tres, en el tratamiento (2_SL) se obtuvieron los mayores valores ($P < 0.05$) (22.53 - 22.49 °C). Desde el día cuatro, al 180, en el (4_MB10) se alcanzó la mayor temperatura (22.83 - 22.54 °C). Con respecto al pH, en el día cero, el tratamiento (3_MB5) presentó el mayor valor ($P < 0.05$) 5.4. A partir del día 1 al 4, el pH se redujo proporcionalmente en los ensilados, y fue mayor en tratamiento (2_SL), en 0.71 unidades del día 5 al 180. Luego, el pH se estabilizó en todos los ensilados. El tratamiento (3_MB5) mostró el menor valor ($P < 0.05$) (3.93-3.83). Los hongos, levaduras, coliformes totales y *Escherichia coli* estuvieron presentes en el día cero, y después se ausentaron. No hubo *Clostridium spp.* ni *Salmonella spp.* durante el estudio. Los indicadores físico-químicos y microbiológicos de los ensilajes hasta el día 180 tuvieron un comportamiento idóneo, aptos para su uso en la alimentación animal.

Palabras clave: tubérculos, fermentación, microorganismos, alimentación animal.

Introducción

Los alimentos alternativos, por ser perecederos, no se pueden almacenar sin un procesamiento para conservar su valor nutritivo. Además, debido a que pueden estar disponibles en gran volumen solo en determinados períodos, no se pueden utilizar por completo en la alimentación animal (Domínguez *et al.* 2012 y Fránquez *et al.* 2012).

En Ecuador, existen alimentos alternativos viables para la alimentación animal que no se utilizan por el desconocimiento de sus características nutricionales. Entre estos se encuentran los tubérculos de papa china (*Colocasia esculenta* (L.) Schott), que poseen excelente contenido de nutrientes para su utilización en la dieta de los animales (Caicedo 2013). Esta condición posibilita que se pueda aplicar la técnica de ensilado, como alternativa

nutrients in humid stage and limits the development of putrefactive and pathogen microorganisms that provoke great losses of the raw material employed (Balsinde *et al.* 2003 and Zynudheen and Ramachandran 2008). For obtaining a good quality silage, it is required a fast stabilization of temperature and pH. In this way a final product with optimum microbiological quality is obtained and risks of diseases are prevented in the animals consuming it (Driehuis and Elferink 2000, Posada *et al.* 2007 and Driehuis 2013).

The objective of this research was to assess the physicochemical and biological indicators in silages of taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) tubers for animal feeding.

Materials and Methods

The experiment was carried out in the facilities of the agricultural farm “El Progreso” belonging to the parish “Tarqui” located in Pastaza province, Ecuador. This region has a semi-warm or humid subtropical climate with rainfall ranging between 4000 and 4500 mm annually. It is located at a height of 900 masl with an average relative humidity of 87 % and an average minimum and maximum temperature of 20 to 28 °C (INAMI 2013).

For silage preparation (table 1) the recommendations of Caicedo (2013) were followed. Microsilos preparation was carried out with waste tubers which according to its appearance do not fulfill the requirements established at the national and international markets for human consumption regarding size, form and weight.

Tubers were washed and in fresh form were ground in a mixed mill provided with blades and a 2.5 cm sieve for obtaining a uniform particle size.

For the formulation of the silages, raw matters were weighed in a CAMRY digital balance of 100 kg capacity. They were deposited in four clean plastic tanks with a 450 kg capacity each. Ingredients were added in the following order: silage 1) chopped tubers, natural yogurt and drinking water for human consumption (1_NY); 2) chopped tubers and whey (2_W); 3) chopped tubers, 5 % molasses B (83° Brix) and whey (3_WMB5) and 4)

para preservar estos productos por tiempo prolongado y asegurar la alimentación de los animales (Caicedo *et al.* 2013).

La técnica de ensilado permite conservar los nutrientes en estado húmedo y limita el desarrollo de microorganismos putrefactivos y patógenos, que provocan grandes pérdidas de la materia prima utilizada (Balsinde *et al.* 2003 y Zynudheen *et al.* 2008). Para obtener un ensilado de buena calidad, se requiere que la temperatura y pH se estabilicen rápidamente. Se obtiene así un producto final con óptima calidad microbiológica y se evitan riesgos de enfermedades en los animales que los consumen (Driehuis y Elferink 2000, Posada *et al.* 2007 y Driehuis 2013).

El objetivo de esta investigación fue evaluar los indicadores físico-químicos y biológicos en ensilados de tubérculos de papa china (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) para su utilización en la alimentación animal.

Materiales y Métodos

El trabajo se realizó en las instalaciones de la granja agropecuaria “El Progreso”, perteneciente a la parroquia “Tarqui”, ubicada en la provincia Pastaza, Ecuador. Esta zona tiene un clima semicálido o subtropical húmedo, con precipitaciones que oscilan entre 4000 y 4500 mm anuales. Se encuentra ubicada a una altitud de 900 msnm, con humedad relativa media de 87 % y temperatura mínima y máxima promedio de 20 a 28 °C (INAMHI 2013).

Para la preparación de los ensilados (tabla 1), se siguieron las recomendaciones de Caicedo (2013). La preparación de los microsilos se realizó con tubérculos de desecho, los que por su apariencia no cumplían las exigencias que establecen los mercados nacionales e internacionales para el consumo humano, en cuanto a tamaño, forma y peso.

Los tubérculos se lavaron y molieron en forma fresca en un molino mixto, provisto de cuchillas y criba de 2.5 cm, para obtener un tamaño de partícula uniforme.

Para la formulación de los ensilados, las materias primas se pesaron en una balanza digital marca CAMRY, de 100 kg de capacidad. Se depositaron en cuatro tanques plásticos limpios, con capacidad para 450 kg cada uno. Los ingredientes se adicionaron en el orden siguiente:

Table 1. Formulation of the silages of taro tubers

Raw matter inclusion, %	Treatments			
	1_NY	2_W	3_WMB5	4_WMB10
Chopped taro tubers	68	68	68	68
Drinking water for human consumption	27	-	-	-
Molasses B (83°Brix)	-	-	5	10
Natural yogurt	5	-	-	-
Whey	-	32	27	22
Total	100	100	100	100

1_NY: silage with natural yogurt

2_W: silage with whey

2_WMB5: silage with whey and 5 % molasses B (83° Brix)

4_WMB10: silage with whey and 10 % molasses B (83° Brix)

chopped tubers, 10 % molasses B (83° Brix) and whey (4_WMB10).

The ingredients were manually mixed homogeneously with a wood spatula for 15 min at an environmental temperature of 24 °C. Later they were introduced in the polyethylene microsilos with a capacity of 5 kg. The microsilos were closed according to the methodology of Ottati and Bello (1990). They were stored indoors protected from sunlight (Guevara *et al.* 1991). Samples for the analyses were taken according to the methodology of Tejada (1992).

The physicochemical indicators (temperature and pH) were assessed in 1152 microsilos at 0, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 30, 60, 90 and 180 d. Twenty four microsilos were evaluated per treatment for totalizing 96 microsilos assessed each day of preservation. Once realized the respective measurements the microsilos were thrown away. Temperature of the microsilos was determined according the technique of Mier (2009) consisting of measuring the temperature at 20 cm depth. After one resting hour for pH evaluation, watery extract was used made up of a fraction of 25 g of silage and 250 mL of distilled water (Cherney and Cherney 2003).

In the microorganism count the amount of fungi, yeasts and total coliform, *Escherichia coli*, *Clostridium spp.* and *Salmonella spp.* were determined at 0; 15; 30; 60; 90 and 180 d according with the procedures of Merck (2005). A total of 192 samples of 200 g of the silage were collected in sterile transparent plastic containers with 250 g capacity. Random samples were taken in 32 microsilos (eight per treatment) of the 96 evaluated on the physicochemical indicators at each preservation day. All determinations were made in triplicate.

The physicochemical and biological parameters were assessed through a simple completely randomized design. The analysis of variance was made according to the recommendations of Steel *et al.* (1997). In the cases in which significant differences ($P < 0.05$) were found the means were compared by Duncan's (1955) test. Analyses were made through the application of the statistical program Infostat (Di Rienzo *et al.* 2012).

Results

At the opening time of the microsilos, no alcohol presence or decomposition symptom of the ensiled materials was observed. All microsilos had a sweet caramel coated smell. Table 2 shows the temperature performance in silages of taro tubers.

There were no significant differences ($P < 0.05$) between treatments 2_W (22.65 °C); 3_MB5 (22.64 °C) and 4_MB10 (22.63 °C) at the zero day of preservation. These treatments surpassed the treatment with natural yogurt as inoculum source 1_NY (22.45 °C). However, at day one, treatments with natural yogurt 1_NY

ensilado 1) tubérculos picados, yogurt natural y agua potable para consumo humano (1_YN); 2) tubérculos picados y suero de leche (2_SL); 3) tubérculos picados, miel B (83° Brix) 5 % y suero de leche (3_SLMB5) y 4) tubérculos picados, miel B (83° Brix) 10 % y suero de leche (4_SLMB10).

Los ingredientes se mezclaron manualmente de manera homogénea con una paleta de madera, durante 15 min, a temperatura ambiente de 24 °C. Luego, se introdujeron en microsilos de polietileno con capacidad para 5 kg. Los microsilos se cerraron según la metodología de Ottati y Bello (1989). Se almacenaron bajo techo, protegidos de la luz solar (Guevara *et al.* 1991). Las muestras para los análisis se tomaron de acuerdo con la metodología de Tejada (1992).

Los indicadores físico-químicos (temperatura y pH) se evaluaron en 1152 microsilos, a los 0, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 30, 60, 90 y 180 d. Se valoraron 24 microsilos por tratamiento, para 96 microsilos en total, evaluados en cada día de conservación. Una vez que se realizaron las respectivas mediciones, se desecharon los microsilos. La temperatura de los microsilos se determinó de acuerdo con la técnica de Mier (2009), que consiste en medir la temperatura a 20 cm de profundidad. Luego de una hora de reposo, para la valoración del pH se utilizó extracto acuoso formado por una fracción de 25 g de ensilado y 250 mL de agua destilada (Cherney y Cherney 2003).

En el recuento de microorganismos se determinó la cantidad de hongos, levaduras y coliformes totales, *Escherichia coli*, *Clostridium spp.* y *Salmonella spp.*, a los 0; 15; 30; 60; 90 y 180 d, según AOAC (2007). Se recolectaron en total 192 muestras, de 200 g de ensilado en frascos plásticos transparentes estériles, con capacidad para 250 g. Se tomaron muestras al azar en 32 microsilos (ocho por tratamiento) de los 96 evaluados en los indicadores físico-químicos en cada día de preservación. Todas las determinaciones se hicieron por triplicado.

Los parámetros físico-químicos y biológicos se evaluaron mediante un diseño completamente aleatorizado simple. El análisis de varianza se realizó de acuerdo con las recomendaciones de Steel *et al.* (1997). En los casos en que se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$), las medias se compararon por la prueba de Duncan (1955). Los análisis se realizaron mediante la aplicación del programa estadístico Infostat (Di Rienzo *et al.* 2012).

Resultados

En el momento de la apertura de los microsilos, no se advirtió presencia de alcohol ni síntoma de descomposición de los materiales ensilados. Todos los microsilos tenían olor dulce acaramelado. La tabla 2 muestra el comportamiento de la temperatura en ensilados de tubérculos de papa china.

No hubo diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos 2_W (22.65 °C); 3_MB5 (22.64 °C) y 4_MB10 (22.63 °C) en el día cero de conservación. Estos

Table 2. Temperature performance in silages of taro tubers (°C)

Días	Tratamientos				EE±	Valor de P
	1_YN	2_SL	3_MB5	4_MB10		
0	22.45 ^b	22.65 ^a	22.64 ^a	22.63 ^a	0.019	P<0.0001
1	22.53 ^a	22.24 ^c	22.51 ^a	22.37 ^b	0.017	P<0.0001
2	22.53 ^a	22.53 ^a	22.23 ^b	22.18 ^b	0.031	P<0.0001
3	22.48 ^a	22.49 ^a	22.19 ^b	22.16 ^b	0.031	P<0.0001
4	22.38 ^{bc}	22.43 ^b	22.36 ^c	22.83 ^a	0.020	P<0.0001
5	22.38 ^c	22.45 ^b	22.36 ^c	22.59 ^a	0.026	P<0.0001
10	22.46 ^b	22.46 ^b	22.24 ^c	22.54 ^a	0.018	P<0.0001
15	22.46 ^b	22.46 ^b	22.24 ^c	22.54 ^a	0.018	P<0.0001
30	22.38 ^{bc}	22.43 ^b	22.36 ^c	22.83 ^a	0.020	P<0.0001
60	22.38 ^c	22.45 ^b	22.36 ^c	22.59 ^a	0.026	P<0.0001
90	22.46 ^b	22.46 ^b	22.24 ^c	22.54 ^a	0.018	P<0.0001
180	22.46 ^b	22.46 ^b	22.24 ^c	22.54 ^a	0.018	P<0.0001

^{abc}Means with different letter in the same row differ at P < 0.05 (Duncan 1955)

(22.53 °C) and 5 % molasses B 3_MB5 (22.51 °C) showed the highest temperature value (P < 0.05) differing from treatments 4_MB10 (22.24 °C) and 2_W (22.37 °C). At days two and three there were no significant differences (P < 0.05) for the temperature of the treatments 1_NY (22.53-22.48 °C) and 2_W (22.53-22.49 °C) which was superior to 3_MB5 (22.23-22.19 °C) and 4_MB10 (22.18-22.16 °C), respectively.

Temperature from day four and until the 180 of evaluation was stable in all treatments. The treatment in which molasses B at 10 % (4_MB10) attained the highest value (P < 0.05) of temperature (22.83 – 22.54 °C) and differed from 1_NY 22.38-22.46 °C; 2_W 22.43-22.46 °C) and 3_MB5 (22.36-22.24).

In table 3 is shown the pH dynamics in silages of taro tubers. The pH presented the highest values at the beginning of the fermentation process (day 0) in all treatments. However, the (3_MB5) reached the highest value (P < 0.05) of this indicator (5.40).

From day one to four, pH decreased proportionally in all treatments (2_W) 0.71; (1_NY) 0.70; (4_MB10) 0.70 and (3_MB5) 0.69 units. From day five to 180, pH stabilized with values between 3.95-3.88 (1_NY); 3.95-3.83 (4_MB10); 3.93-3.84 (2_W) and 3.93-3.83 (3_MB5).

The pH was maintained between the established ranges for producing silage of good biological quality. The adequate pH indexes obtained in the four silage variants made possible that these latter were considered of optimum quality for its use in animal feeding. Well preserved silages presented values between 3.8 and 4.2.

The evaluation of the microorganisms is a premise, if the introduction of an animal feed is tried. Thus, it is of vital importance knowing the sanitary stage of these microorganisms. Fungi, yeasts, total coliform and *E. coli* bacteria exhibited a concentration of (<10 CFU g⁻¹) at day zero of evaluation. However, at

tratamientos superaron al tratamiento con yogurt natural como fuente de inóculo (1_YN, 22.45 °C). Sin embargo, en el día uno, los tratamientos con yogurt natural 1_YN (22.53 °C) y 5 % de miel B (3_MB5, 22.51 °C) mostraron el mayor valor (P < 0.05) de temperatura, y difirieron de los tratamientos 4_MB10 (22.24 °C) y 2_SL (22.37 °C). En los días dos y tres, no hubo diferencias significativas (P < 0.05) para la temperatura de los tratamientos 1_YN (22.53-22.48 °C) y 2_SL (22.53-22.49 °C), que fue superior al 3_MB5 (22.23-22.19 °C) y 4_MB10 (22.18-22.16 °C), respectivamente.

La temperatura, a partir del día cuatro y hasta el 180 de valoración, fue estable en todos los tratamientos. El tratamiento en el que se utilizó miel B al 10 % 4_MB10 alcanzó el mayor valor (P < 0.05) de temperatura (22.83-22.54 °C), y difirió de 1_YN (22.38-22.46 °C; 2_SL (22.43-22.46 °C) y 3_MB5 (22.36-22.24).

En la tabla 3 se muestra la dinámica del pH en ensilados de tubérculos de papa china. El pH presentó los mayores valores al inicio del proceso de fermentación (día 0) en todos los tratamientos. Sin embargo, el (3_MB5) alcanzó el mayor valor (P < 0.05) de este indicador 5.40.

Desde el día uno al cuatro, el pH disminuyó proporcionalmente en todos los tratamientos: (2_SL) 0.71; (1_YN) 0.70; (4_MB10) 0.70 y (3_MB5) 0.69 unidades. A partir del día cinco al 180, el pH se estabilizó con valores entre 3.95-3.88 (1_YN); 3.95-3.83 (4_MB10); 3.93-3.84 (2_SL) y 3.93-3.83 (3_MB5).

El pH se mantuvo entre los rangos establecidos para producir un ensilado biológico de buena calidad. Los índices adecuados de pH, obtenidos en las cuatro variantes de ensilados, posibilitaron que estos últimos se catalogaran de óptima calidad para su uso en la alimentación animal. Los ensilados bien conservados presentaron valores entre 3.8 y 4.2.

La evaluación de los microorganismos es una premisa, si se trata de introducir un alimento en la alimentación animal. Por ello, resulta de vital importancia conocer

Table 3. pH dynamics in silages of taro tubers

Días	Tratamientos				EE±	Valor de P
	1_YN	2_SL	3_MB5	4_MB10		
0	5.34 ^b	5.28 ^c	5.40 ^a	5.25 ^c	0.018	P<0.0001
1	4.85	4.84	4.85	4.84	0.010	P=0.8070
2	4.62	4.63	4.61	4.61	0.016	P=0.7800
3	4.39 ^a	4.33 ^b	4.36 ^{ab}	4.35 ^{ab}	0.020	P<0.0160
4	4.15 ^{ab}	4.13 ^b	4.16 ^a	4.14 ^{ab}	0.010	P<0.0050
5	3.95	3.93	3.93	3.95	0.010	P=0.0940
10	3.89	3.89	3.91	3.88	0.016	P=0.3940
15	3.91 ^a	3.89 ^a	3.89 ^a	3.83 ^b	0.017	P<0.0050
30	3.86	3.85	3.83	3.84	0.019	P=0.5100
60	3.86 ^{ab}	3.85 ^{ab}	3.88 ^a	3.83 ^b	0.014	P<0.0080
90	3.84	3.86	3.84	3.89	0.019	P=0.1970
180	3.88	3.84	3.83	3.83	0.018	P=0.1740

^{abc}Means with different letter in the same row differ at P < 0.05 (Duncan 1955)

15; 30; 60; 90 and 180 d these microorganisms were absent in all treatments. Neither were there presence of *Clostridium spp.* or *Salmonella spp.* during the study.

Discussion

In the variation of the temperature between treatments at the beginning of the fermentation process could have influenced the presence of the existing microflora in the yogurt, whey and molasses B of sugar cane (Caicedo *et al.* 2015). These feeds have their own microorganisms that act with greater intensity producing heat. Among the most important are the fungi, yeasts, bacteria and actinomycetes (Díaz *et al.* 2014).

Treatment (4_MB10) at day one presented the lowest value (P < 0.05) of temperature. However, the highest value was attained on day 4 until the 180. Argamenteria *et al.* (1997) and Jobim *et al.* (2007) stated that in silages of energetic sources the exact causes confirming the rate of worsening and the increase of the temperature in ensiled materials are not known, since as a biological process these phenomena are related with the environmental temperature and the heat generated in this process (Caicedo 2015). Nonetheless, with silages of protein sources in the temperature influences mainly the microbiological and proteolytic activity (Morales 2012).

In all silage variants of taro tubers, pH decreased until the fourth fermentation day and stabilized at the fifth. Similar pH values reported Caicedo (2013) in silages of taro tubers until the 180 day of preservation (3.65). In biological silages with the inclusion of variable levels of carbohydrate and protein sources, Maza *et al.* (2011) determined values between 3.63 and 3.75. Morales (2012) obtained a value of 4. Seemingly the great soluble carbohydrates availability of the taro tubers favored the rapid pH stabilization of the silages.

In silages with whey, ruminal contents or bovine

el estado sanitario de estos microorganismos. Los hongos, las levaduras, los coliformes totales y la bacteria *Escherichia coli* mostraron una concentración de <10 UFC g⁻¹ en el día cero de valoración. No obstante, a los 15; 30; 60; 90 y 180 d, estos microorganismos estuvieron ausentes en todos los tratamientos. Tampoco hubo presencia de *Clostridium spp.* y *Salmonella spp.* durante el estudio.

Discusión

En la variación de la temperatura entre los tratamientos al inicio del proceso de fermentación pudo influir la presencia de microorganismos aportados por la microflora existente en el yogurt, suero de leche y miel B de caña de azúcar (Caicedo *et al.* 2015). Estos alimentos poseen microorganismos propios que actúan con mayor intensidad produciendo calor. Entre los más importantes, se hallan los hongos, las levaduras, las bacterias y los actinomicetos (Díaz *et al.* 2014).

El tratamiento (4_MB10) en el día uno presentó el menor valor (P < 0.05) de temperatura. Sin embargo, el valor mayor se alcanzó del día cuatro hasta el 180. Argamentería *et al.* (1997) y Jobim *et al.* (2007) aseveran que en ensilados de fuentes energéticas no se conocen las causas exactas que comprueben la velocidad del deterioro y el aumento de la temperatura en materiales ensilados, pues al tratarse de un proceso biológico estos fenómenos se relacionan con la temperatura ambiente y el calor generado en este proceso (Caicedo 2015). No obstante, cuando se trata de ensilados de fuentes proteicas, en la temperatura influye la actividad microbiológica y proteolítica, principalmente (Morales 2012).

En todas las variantes de ensilados de tubérculos de papa china, el pH disminuyó hasta el cuarto día de fermentación y se estabilizó al quinto. Valores similares de pH informó Caicedo (2013) en ensilados de tubérculos de papa china hasta el día 180 de conservación (3.65). En ensilados biológicos, con la inclusión de

feces, Díaz (2014) showed a pH decrease from the initial eight hours of the process with value of 5.77. This tendency was maintained until the final evaluation (96 h), with pH of 3.87 which influenced on other fermentation factors as the absence of coliform microorganisms.

pH is an indicator of great relevance in the fermentation processes. It is one of the most radical transformations occurring in the utilized material (Adedeji *et al.* 2011). pH is closely related with the degradation processes taking place during preservation (Fagbenro and Jauncey 1998). When the silage has attained values between 3.8 and 4.2, it attains its stability (Lopes *et al.* 2013). In this pH range, there is restriction of the development of proteolytic enzymes, enterobacteria and clostridiums (Tomich *et al.* 2004). The four variants of taro silage showed pH values which are between those recommended for this type of feed.

In the silages the concentration of < 10 CFU g^{-1} of fungi, yeasts, total coliform and *E. coli* at day zero of assessment was determined. This can be associated with the external pollution of the tubers by the irrigation water systems, soil and organic fecal matter (poultry litter, swine litter) that can represent microbial pollution sources (Kozłowski 2007). However, in the continuous assessment until day 180 there was no presence of these microorganisms.

When the fermentation processes are adequate, sugars turn into organic acids, mainly in lactic acid and acetic acid, which are responsible for the fast pH fall that inhibits clostridium growth, responsible for great losses by the production of butyric acid in the silos (Posada *et al.* 2007 and Rendón *et al.* 2014).

In studies of Nikosi *et al.* (2009) with maize silage and in experiments of Nikosi *et al.* (2010) with potato an improvement in the aerobic stability of the silage with the inoculation of lactobacilli was observed. Nikosi and Meeske (2010) stated that the fermentation quality of the potato silage also improved with the addition of whey and molasses.

Possibly, results obtained in the inhibitory performance of *Clostridium spp.* and *Salmonella spp.* in the silages are directly related with the low pH of the silos under anaerobiosis conditions and before the presence of antimicrobial compounds produced by the lactic bacteria present in the fermentation processes (McDonald *et al.* 1991, Bello *et al.* 1993, Kozłowski 2007, Duniere *et al.* 2013 and Gismervika *et al.* 2015).

The lactic acid bacteria had positive effects on the silage characteristics among those cited are pH decrease, greater production of lactic acid, high DM digestibility, mainly on using homofermentative strains and greater aerobic stability on using heterofermentative (Filya 2003).

niveles variables de fuentes de carbohidratos y proteínas, Maza *et al.* (2011) determinaron valores entre 3.63 y 3.75. Morales (2012) obtuvo un valor de 4. Al parecer, la gran disponibilidad de carbohidratos solubles que tienen los tubérculos de papa china favoreció la rápida estabilización del pH de los ensilados.

En ensilados con suero de leche, contenido ruminal o estiércol bovino, Díaz (2014) mostró descenso del pH a partir de las ocho horas iniciales del proceso, con valor de 5.77. Esta tendencia se mantuvo hasta el final de la evaluación (96 h), con pH de 3.87, que incidió en otros factores de la fermentación, como la ausencia de microorganismos coliformes.

El pH es un indicador de gran relevancia en los procesos de fermentación. Es una de las transformaciones más radicales que ocurren en el material utilizado (Adedeji *et al.* 2011). El pH está estrechamente relacionado con los procesos degradativos que ocurren durante la conservación (Fagbenro y Jauncey 1998). Cuando un ensilado ha alcanzado valores entre 3.8 a 4.2, logra su estabilidad (Lopes *et al.* 2013). En este rango de pH, hay restricción del desarrollo de enzimas proteolíticas, enterobacterias y clostridios (Tomich *et al.* 2004). Las cuatro variantes de ensilado de papa china presentaron valores de pH que se encuentran entre los recomendados para este tipo de alimento.

En los ensilados se determinó concentración de < 10 UFC g^{-1} de hongos, levaduras, coliformes totales y *Escherichia coli* en el día cero de valoración. Esto se puede asociar a la contaminación externa de los tubérculos por los sistemas de agua para riego, suelo y materia orgánica fecal (pollinaza, porquinaza) que pueden representar fuentes de contaminación microbiana (Kozłowski 2007). No obstante, en la valoración continua hasta el día 180, no hubo presencia de estos microorganismos.

Cuando los procesos de fermentación son adecuados, los azúcares se convierten en ácidos orgánicos, principalmente en ácido láctico y ácido acético, que son responsables de la rápida caída del pH que inhibe el crecimiento de clostridios, causantes de grandes pérdidas por la producción de ácido butírico en los silos (Posada *et al.* 2007 y Rendón *et al.* 2014).

En estudios de Nkosi *et al.* (2009) con ensilado de maíz y en trabajos de Nkosi *et al.* (2010) con papas se constató mejora en la estabilidad aeróbica del ensilado con la inoculación de lactobacilos. Nkosi y Meeske (2010) constataron que la calidad de la fermentación del ensilado de papa también mejoró con la adición de suero de leche y melaza.

Es posible que los resultados obtenidos en el comportamiento inhibitorio de *Clostridium spp.* y *Salmonella spp.* en los ensilados, se relacionen directamente con el bajo pH de los silos en las condiciones de anaerobiosis y ante la presencia de compuestos antimicrobianos producidos por las bacterias lácticas presentes en los procesos de fermentación (McDonald *et al.* 1991, Bello *et al.* 1993, Kozłowski

The biological competition among different types of bacteria responsible for generating different products and the lactic acid influence directly on the pH curve. Elías *et al.* (1990) and García *et al.* (2005) found that lactic bacteria prevail due to the lactic acid production and of other short chain organic acids.

Conclusion

The four silage variants of taro tubers had a adequate performance of the physicochemical and microbiological indicators until day 180 being thus fit for animal feeding use.

Acknowledgements

Thanks are due to the National Secretariat of Higher Education for Science, Technology and Innovation (SENESCYT) of Ecuador for financing the development of this investigation.

2007, Dunière *et al.* 2013 y Gismervik *et al.* 2015).

Las bacterias ácido lácticas tienen efectos positivos en las características de los ensilados, entre los que se citan disminución del pH, mayor producción de ácido láctico, alta digestibilidad de la MS, principalmente al usar cepas homofermentativas, y mayor estabilidad aeróbica, al utilizar heterofermentativas (Filya 2003).

La competencia biológica entre diferentes tipos de bacterias que generan distintos productos y las ácido lácticas influye directamente en la curva del pH. Elías *et al.* (1990) y García *et al.* (2005) constataron que las bacterias lácticas prevalecen gracias a la producción de ácido láctico y de otros ácidos orgánicos de cadena corta.

Conclusión

Las cuatro variantes de ensilados de tubérculos de papa china tuvieron un comportamiento idóneo de los indicadores físico-químicos y microbiológicos hasta el día 180, por lo que estuvieron aptas para su uso en la alimentación animal.

Agradecimientos

Se agradece a la Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) de Ecuador por el financiamiento para el desarrollo de esta investigación.

References

- Adedeji, I. A., Olapade-Og, F., Farayola, C. O. & Adejumo, J. O. 2011. "Productivity Effects of Occupational Hazards among Poultry Farmers and Farm Workers in Osogbo Local Government Area of Osun State". *International Journal of Poultry Science*, 10 (11): 867–870, ISSN: 16828356, DOI: 10.3923/ijps.2011.867.870.
- AOAC, International, Latimer, G. W. & Horwitz, W. (eds.). 2007. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 18th ed., Gaithersburg, MD: AOAC International, ISBN: 978-0-935584-78-3.
- Argumentería, G. A., de La Roza, B., Martínez, A., Sánchez, L. & Martínez, Y. 1997. *El Ensilado en Asturias*. Servicio de Publicaciones, Principado de Asturias, 127 p., ISBN: 978-84-7847-462-2.
- Balsinde, M., Fraga, I. & Galindo, J. 2003. "Inclusión de ensilado de pescado como alternativa en la elaboración de alimento extruido para el camarón de cultivo (*Litopenaeus schmitti*)". In: II Congreso Iberoamericano Virtual de Acuicultura, La Habana: CIVA: 303–309, Available: <<http://www.oceandocs.org/handle/1834/2078>>, [Accessed: February 26, 2016].
- Bello, R., Cardillo, E. & Martínez, R. 1993. "Microbial silage production from eviscerated fish". *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 43 (3): 221–227, ISSN: 0004-0622, PMID: 8779624.
- Caicedo, W. 2013. *Potencial nutritivo del ensilado de tubérculos de papa china (Colocasia esculenta (L.) Schott) para la alimentación de cerdos*. Master Thesis, Universidad de Granma, Bayamo, Cuba, 60 p.
- Caicedo, W. O. 2015. *Valoración nutritiva del ensilado de tubérculos de papa china (Colocasia esculenta(L.) Schott) y su uso en la alimentación de cerdos en crecimiento ceba*. Ph.D. Thesis, Universidad de Granma, Bayamo, Cuba, 100 p.
- Caisedo, W., Rodríguez, R., Lezcano, P., Ly, J., Valle, S., Flores, L. & Ferreira, F. N. A. 2015. "Chemical composition and in vitro digestibility of silages of taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) tubers for feeding pigs". *Cuban Journal of Agricultural Science*, 49 (1), p. 59, ISSN: 2079-3480.
- Cherney, J. H. & Cherney, D. J. R. 2003. "Assessing silage quality". In: Buxton D. R., Muck R. E. and Harrison J. H., *Silage science and technology*, Wisconsin, USA: American Society of Agronomy: 141–198, ISBN: 0-89118-151-2, Available: <<http://library.wur.nl/WebQuery/clc/1740797>>, [Accessed: February 26, 2016].
- Díaz, B. 2013. "Nutritional and economical efficiency of three biosilages from agroindustrial wastes in beef cattle". *Cuban Journal of Agricultural Science*, 47 (2), p. 143, ISSN: 2079-3480.
- Díaz, B. 2014. *Evaluación de Residuos Agrícolas Post Cosecha en Ensilados Inoculados con Preparados Microbianos Nativos para Alimentación de Vacas Lecheras en Ecuador*. Ph.D. Thesis, Instituto de Ciencia Animal, Mayabeque, Cuba, 63 p.
- Díaz, B., Iglesias, A. & Valiño, E. 2014. "Evaluación del bioensilaje de brócoli (*Brassica oleracea* L.) y avena (*Avena sativa* L.) como suplemento en vacas lecheras". *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*, 22 (1-2): 21–29, ISSN: 1022-1301.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L. & Robledo, C. W. 2012. *InfoStat*. version 2012, [Windows], Universidad Nacional de Córdoba, Argentina: Grupo InfoStat, Available: <<http://www.infostat.com.ar/>>.
- Domínguez, P. L., Chao, R., Vítores, N. & Herrera, R. 2012. "Utilización digestiva y balance de N de ensilado de cuerpos de cerdos para el ganado porcino". *Revista Computadorizada de Producción Animal*, 19 (2): 128–130, ISSN: 1026-9053.

- Driehuis, F. 2013. "Silage and the safety and quality of dairy foods: a review". *Agricultural and Food Science*, 22 (1): 16–34, ISSN: 1795-1895.
- Driehuis, F. & Elferink, S. J. W. H. O. 2000. "The impact of the quality of silage on animal health and food safety: A review". *Veterinary Quarterly*, 22 (4): 212–216, ISSN: 0165-2176, DOI: 10.1080/01652176.2000.9695061, PMID: 11087133.
- Duncan, D. B. 1955. "Multiple Range and Multiple F Tests". *Biometrics*, 11 (1): 1–42, ISSN: 0006-341X, DOI: 10.2307/3001478.
- Dunière, L., Sindou, J., Chaucheyras-Durand, F., Chevallier, I. & Thévenot-Sergentet D. 2013. "Silage processing and strategies to prevent persistence of undesirable microorganisms". *Animal Feed Science and Technology*, 182 (1–4): 1–15, ISSN: 0377-8401, DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2013.04.006.
- Eliás, A., Lezcano, O., Lezcano, P., Cordero, J. & Quintana, L. 1990. "Reseña descriptiva sobre el desarrollo de una tecnología de enriquecimiento proteico de la caña de azúcar mediante fermentación en estado sólido (Saccharina)". *Cuban Journal of Agricultural Science*, 24 (1): 1–12, ISSN: 2079-3480.
- Fagbenro, O. A. & Jauncey, K. 1998. "Physical and nutritional properties of moist fermented fish silage pellets as a protein supplement for tilapia (*Oreochromis niloticus*)". *Animal Feed Science and Technology*, 71 (1–2): 11–18, ISSN: 0377-8401, DOI: 10.1016/S0377-8401(97)00123-5.
- Filya, I. 2003. "The effect of *Lactobacillus buchneri*, with or without homofermentative lactic acid bacteria, on the fermentation, aerobic stability and ruminal degradability of wheat, sorghum and maize silages". *Journal of Applied Microbiology*, 95 (5): 1080–1086, ISSN: 1364-5072, 1365-2672, DOI: 10.1046/j.1365-2672.2003.02081.x.
- Fránquez, P., García, Y., Rodríguez, J. G., Lemus, C. & Ly, J. 2012. "Estudios de interdependencia entre rasgos de comportamiento y del patrón de consumo en cerdos alimentados con dietas conteniendo aguacate". *Revista Computadorizada de Producción Porcina*, 19 (2): 119–122, ISSN: 1026-9053.
- García, Y., Eliás, A. & Herrera, F. R. 2005. "Dinámica microbiana de la fermentación *in vitro* de las excretas de gallinas ponedoras". *Cuban Journal of Agricultural Science*, 39 (1): 75–79, ISSN: 2079-3480.
- Gismervik, K., Randby, Å. T., Rørvik, L. M., Bruheim, T., Andersen, A., Hernandez, M. & Skaar I. 2015. "Effect of invasive slug populations (*Arion vulgaris*) on grass silage. II: Microbiological quality and feed safety". *Animal Feed Science and Technology*, 199: 20–28, ISSN: 0377-8401, DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2014.09.024.
- Guevara, Y. J., Bello, R. A. & Montilla J. J. 1991. "Evaluación del ensilado de pescado elaborado por vía microbiológica como suplemento proteínico en dietas para pollos de engorde". *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 41 (2): 246–256, ISSN: 0004-0622.
- Guzmán O., Lemus, C., Martínez, S., Bonilla, J., Plasencia, A. & Ly, J. 2012. "Chemical characteristics of silages of mango (*Mangifera indica* L.) by products for animal feeding". *Cuban Journal of Agricultural Science*, 46, p. 369, ISSN: 2079-3480.
- INAMHI. 2013. Reportes Climáticos del Ecuador. Ecuador: Instituto Nacional Meteorológico Hídrico: 20–25.
- Jobim, C. C., Nussio, L. G., Reis, R. A. & Schmidt, P. 2007. "Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada". *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36: 101–119, ISSN: 1806-9290, DOI: 10.1590/S1516-35982007001000013.
- Kozłowski, J. 2007. "The distribution, biology, population dynamics and harmfulness of *Arion lusitanicus* Mabilie, 1868 (Gastropoda: Pulmonata: Arionidae) in Poland". *Journal of Plant Protection Research*, 47 (3): 219–230, ISSN: 1427-4345.
- Lopes, M. P. e C., Júnior, Z., Antonio, F., Alberton, L. R., Otutumi, L. K., Silveira, A. P. & Meza, S. karla L. 2013. "Caracterização nutricional da silagem de bagaço de cana de açúcar (*Saccharum officinarum* L.) adicionada onhão de soro de queijo e/ou grão de milho". *Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR*, 16 (1), ISSN: 1415-8167, Available: <<http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=LILACS&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=718764&indexSearch=ID>>, [Accessed: March 2, 2016].
- Maza, A. L., Vergara, G. O. & Paternina, D. E. 2011. "Evaluación química y organoléptica del ensilaje de maralfalfa (*Pennisetum sp.*) más yuca fresca (*Manihote sculenta*)". *Revista MVZ Córdoba*, 16 (2): 2528–2537, ISSN: 0122-0268.
- McDonald, P., Henderson, A. R. & Heron, S. J. E. 1991. *The Biochemistry of Silage*. 2nd ed., Kingston: Scholium Intl, 340 p., ISBN: 978-0-948617-22-5.
- Mier, M. Q. 2009. Caracterización del valor nutritivo y estabilidad aeróbica de ensilados en forma de microsilos para maíz forrajero. Master Thesis, Universidad de Córdoba, Córdoba, España, 29 p.
- Morales, A. 2012. Caracterización química y biológica de la Harina de (*Pennisetum purpureum*) enriquecida con ensilado de pescado. Master Thesis, Universidad de Granma, Bayamo, Cuba, 20 p.
- Nkosi, B. D. & Meeske, R. 2010. "Effects of whey and molasses as silage additives on potato hash silage quality and growth performance of lambs". *South African Journal of Animal Science*, 40 (3): 229–237, ISSN: 0375-1589.
- Nkosi, B. D., Meeske, R., Palic, D. & Langa, T. 2009. "Laboratory evaluation of an inoculant for ensiling whole crop maize in South Africa". *Animal Feed Science and Technology*, 150 (1–2): 144–150, ISSN: 0377-8401, DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2008.07.008.
- Nkosi, B. D., Meeske, R., van der Merwe, H. J. & Groenewald, I. B. 2010. "Effects of homofermentative and heterofermentative bacterial silage inoculants on potato hash silage fermentation and digestibility in rams". *Animal Feed Science and Technology*, 157 (3–4): 195–200, ISSN: 0377-8401, DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2010.03.008.
- Ottati, M. & Bello, R. 1989. "Ensilado microbiano de pescado en la alimentación porcina. Valor nutritivo del producto en dietas para cerdos". In: *Trabajos presentados en la segunda consulta de expertos sobre tecnología de productos pesqueros en América Latina*, Montevideo: Food&AgricultureOrg., ISBN: 978-92-5-303254-9.
- Posada, S., Rosero, R. & Jiménez, A. 2007. "Valor nutricional y características de fermentación del ensilaje de pasto maralfalfa (*Pennisetum sp.*) con diferentes niveles de inclusión de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*)". *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 20 (4), p. 640, ISSN: 0120-0690.
- Rendón, M. E., Noguera, R. R. & Posada, S. L. 2014. "Vinaza de caña como aditivo acidificante en la elaboración de ensilaje

- de maíz (*Zea mays*)". Livestock Research for Rural Development, 26 (1), ISSN: 0121-3784, Available: <<http://lrrd.cipav.org.co/lrrd26/1/rend26007.html>>, [Accessed: March 2, 2016].
- Steel, R. G. D. 1997. Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach. McGraw-Hill, 696 p., ISBN: 978-0-07-061028-6.
- Tomich, T. R., Rodrigues, J. a. S., Tomich, R. G. P., Gonçalves, L. C. & Borges, I. 2004. "Forage potential of sorghum sudangrass hybrids". Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, 56 (2): 258–263, ISSN: 0102-0935, DOI: 10.1590/S0102-09352004000200017.
- Zynudheen, A. A., Anandan, R. & Ramachandran, N. K. G. 2008. "Effect of dietary supplementation of fermented fish silage on egg production in Japanese quail (*Coturnix coromandelica*)". African Journal of Agricultural Research, 3 (5): 379–383, ISSN: 1991-637X.

Received: April 23, 2015