

Doi: <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.6145>

# Inclusión de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) en la cinética de fermentación en estado sólido de residuos de poscosecha de *Solanum tuberosum*

Evaluation of calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ) inclusion in solid-state kinetic fermentation of *Solanum tuberosum* postharvest waste



LUIS MIGUEL BORRAS<sup>1,2</sup>  
CARLOS EDUARDO RODRÍGUEZ'  
ÁNGELA RODRÍGUEZ'

**Flor y tubérculo de papa ICA Única, cultivada en el departamento de Boyacá.**

Foto: P.J. Almanza-Merchán

## RESUMEN

El objetivo del trabajo es evaluar el comportamiento del pH por medio de inclusiones de  $\text{CaCO}_3$  dentro de la fermentación en estado sólido de residuos de poscosecha de *Solanum tuberosum* inoculado con un preparado microbiano; se obtuvo un suplemento que puede ser utilizado en la alimentación animal con las siguientes condiciones: 89% de *S. tuberosum*, 5% material fibroso (salvado de trigo); 2% de melaza, 1% de urea; 2% del preparado microbiano (desarrollado en la investigación), 0,5% premezcla mineral y 0,5% de sulfato de sodio. Se evaluaron cuatro tratamientos con 0; 0,25; 0,50 y 0,75% de inclusión del  $\text{CaCO}_3$  a la mezcla anterior a diferentes temperaturas (20 y 25°C), e incubadas a diferentes tiempos de fermentación (24 y 48 horas). Se realizó análisis de varianza según diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial ( $2 \times 2 \times 4$ ) donde los factores fueron dos temperaturas 20 y 25°C, dos tiempos de fermentación 24 y 48 horas y cuatro niveles de inclusión de carbonato de calcio y tres repeticiones. Se aplicó dócima de Duncan para  $P \leq 0,05$  en los casos necesarios. Para los análisis se utilizó el paquete estadístico INFOSTAT, versión 2012. Se muestra en el estudio la influencia del carbonato de calcio, en el pH y la MS ( $P < 0,0001$ ). El pH se incrementa a medida que aumenta el porcentaje de adición del  $\text{CaCO}_3$  suministrado para ambas temperaturas de incubación en 48 horas, según los valores obtenidos en la cinética de fermentación, exceptuando a los 25°C en el nivel más alto de inclusión (0,75%). Con respecto a la MS se observa un incremento en los distintos niveles de inclusión del carbonato de calcio a una temperatura de 20°C durante la fermentación, aunque el mayor valor alcanzado de 39,66%. Los dos indicadores de proteína se observan diferencias en todos los niveles de inclusión de carbonato con respecto al tiempo y a las temperaturas estudiadas. Sin embargo, se mantienen los niveles de proteína bruta en

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Agropecuarias, Programa de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Tunja (Colombia).

<sup>2</sup> Autor para correspondencia: lumibo30@yahoo.es



comparación con los del preparado microbial obteniendo el valor más alto con la inclusión del 0,50% de  $\text{CaCO}_3$  a los 20°C, presentando una diferencia marcada con los tenores de proteína a los 25°C los cuales siempre estuvieron porcentualmente por debajo de la fermentación a los 20°C. Se concluye que la mejor inclusión del  $\text{CaCO}_3$  en la fermentación de los residuales poscosecha de *Solanum tuberosum* con el preparado microbial fue de 0,50% a los 20°C, el cual permitió un crecimiento adecuado de los microorganismos BAL reflejado en el incremento de la proteína verdadera.

**Palabras clave adicionales:** pH, análisis microbiológico, ácido láctico, bromatología.

## ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the pH behavior with  $\text{CaCO}_3$  inclusions in solid state fermentation of *Solanum tuberosum* postharvest waste inoculated with a microbial preparation. A supplement was obtained that can be used in animal feed with the following conditions: 89% *S. tuberosum*, 5% fibrous material (wheat bran); 2% molasses, 1% urea; 2% of the microbial preparation (developed in the research), 0.5% premixed mineral and 0.5% of sodium sulphate. Four treatments were evaluated with 0, 0.25, 0.50 and 0.75% inclusion of  $\text{CaCO}_3$  to the above mixture at different temperatures (20 and 25°C), and incubated at different fermentation times (24 and 48 hours). Analysis of variance was carried out according to a completely randomized design with a factorial arrangement ( $2 \times 2 \times 4$ ) where the factors were two temperatures 20 and 25°C, two fermentation times 24 and 48 hours and four inclusion levels of calcium carbonate and three replications. A Duncan test was applied for  $P \leq 0.05$  when necessary. The INFOSTAT statistical package, version 2012, was used for the analysis. The influence of calcium carbonate on pH and MS ( $P < 0.0001$ ) was observed in the study. The pH increased as the percentage of  $\text{CaCO}_3$  addition supplied for both incubation temperatures increased for 48 hours, according to the values obtained in the fermentation kinetics, with the exception of 25°C in the highest inclusion level (0.75%). For the DM, an increase in the different inclusion levels of calcium carbonate was observed at a temperature of 20°C during fermentation although the highest value reached 39.66%. The two protein indicators showed differences for all levels of carbonate inclusion with respect to time and temperatures. However, the crude protein levels were maintained in comparison with those in the microbial preparation, obtaining the highest value with the inclusion of 0.50%  $\text{CaCO}_3$  at 20°C, with a marked difference with protein tenors at 25°C, which were always below the fermentation percentage at 20°C. The best inclusion of  $\text{CaCO}_3$  in the fermentation of the postharvest waste of *Solanum tuberosum* with the microbial preparation was 0.50% at 20°C, which resulted in an adequate growth of the BAL microorganisms, as reflected in the protein increase.

**Additional key words:** pH, microbiological analysis, lactic acid, bromatology.

Fecha de recepción: 22-03-2016 Aprobado para publicación: 15-04-2017

## INTRODUCCIÓN

El problema a resolver con la investigación es de doble impacto, por un lado, La existencia de grandes cantidades de residuos poscosecha de la papa (*Solanum tuberosum*) y agroindustriales potencialmente contaminantes (Montoya *et al.*, 2004), y por el otro los altos costos que representa la alimentación del ganado rumiante especialmente en los pequeños y medianos productores. En la papa se encuentran componentes nutritivos (energía, macro y micronutrientes) y componentes no nutritivos (agua, celulosa, hemicelulosa,

pectina, glucoalcaloides, ácidos orgánicos, enzimas, entre otros minoritarios). Luego de su cosecha los tubérculos contienen un promedio de 80% de agua y 20% de materia seca (60% de esta corresponde a almidón) (Pertuz, 2012). Los ácidos orgánicos contribuyen con el pH característico del alimento: pH de 5,6 a 6,2. Los más representativos son el málico, el cítrico y el clorogénico que reacciona con iones de hierro. Este componente y la fermentación de cantidades importantes de carbohidratos los cuales se encuentran

mayoritariamente como almidón y un pequeño porcentaje como azúcares (sacarosa, fructosa, glucosa), hacen posible una disminución considerable del pH (Mundo Pecuario, 2010). En las fermentaciones de residuos de cosecha se mide el comportamiento del pH para la buena calidad del mismo ya que pH muy bajos limitará el crecimiento bacteriano, alterando la composición química del producto fermentado y la síntesis ruminal en el animal (Elías *et al.*, 1990; Yang *et al.*, 2015).

Por ello, el objetivo de este trabajo fue evaluar la inclusión del  $\text{CaCO}_3$  en la cinética de fermentación en estado sólido de residuos poscosecha de *Solanum tuberosum* inoculado con un preparado microbiano con actividad ácido láctica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Localización geográfica del área de estudio

Los experimentos de FES, a escala de laboratorio, se realizaron en condiciones de trópico alto (2.860 msnm), en el Laboratorio de Bioquímica y Nutrición Animal de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), ubicado en la ciudad de Tunja, departamento de Boyacá, Colombia.

### Procedimiento experimental

#### Preparado microbiano

Una vez obtenido el yogurt se procedió a mezclarlo con los componentes descritos en el protocolo establecido por Borrás *et al.* (2017) a un 2%, y se llevó a un volumen final con agua corriente (solvente del sistema) y se incubó por 48 h a una temperatura ambiente promedio  $15^\circ\text{C}$ , hasta estabilizar el pH a 4,5 con agitación tres veces al día por 20 min.

En cuanto al análisis microbiológico, este se realizó al preparado microbiano a las 48 h de fermentación en un laboratorio certificado de control microbiológico, ubicado en Boyacá, Colombia. Para aerobios mesófilos (UFC/mL) (AOAC 966.23.C: 2001), coliformes totales (NMP) (ICMSF NMP: 2000), coliformes totales y fecales (NMP), (ICMSF NMP: 2000), esporas de *Clostridium* Sulfito reductor (UFC/mL), (ISO 15213:2003), hongos y levaduras (UFC/mL) (ISO

7954:1987), *Salmonella* sp. (AS 5013.10:2009), bacterias ácido lácticas (NTC 5034: 2002).

Se utilizaron residuos de poscosecha de la papa (*Solanum tuberosum*), variedad pastusa; en la preparación del producto se empleó los tubérculos de la papa obtenidos comercialmente, limpios y picados finamente, donde se utilizó proporciones de 89% de *S. tuberosum*, 5% material fibroso (salvado de trigo); 2% de melaza, 1% de urea; 2% del preparado microbiano, 0,5% premezcla mineral y 0,5% de sulfato de sodio, modificación realizada a la metodología propuesta por Elías *et al.* (1990). Estos ingredientes se mezclaron hasta obtener una pasta homogénea, que luego fueron distribuidas en bolsas plásticas selladas no herméticamente. En cuanto a los tratamientos, se evaluaron cuatro inclusiones de  $\text{CaCO}_3$  a razón de 0; 0,25; 0,50 y 0,75% de inclusión en reemplazo del porciento de papa propuesto. En cuanto a la temperatura y tiempo de fermentación, se incubó el producto en bolsas plásticas a diferentes temperaturas (20 y  $25^\circ\text{C}$ ), en incubadoras individuales marca Memmert® y durante 24 y 48 h. Cada bolsa representó una unidad experimental, con tres repeticiones cada una, según los tratamientos.

#### Toma de muestra

Se tomaron muestras a las 0, 24 y 48 h de fermentación, para la medición de pH, análisis microbiológico y químico. Para la medición de pH, el contenido de las bolsas de cada tratamiento fue recolectado en su totalidad y homogeneizado, luego se tomaron 5 g de muestra que se colocaron en Erlenmeyers de 100 mL y se les adicionó 45 ml de agua destilada estéril. La preparación se agitó durante 30 min en un agitador eléctrico marca Adams® y posteriormente se obtuvo el filtrado para medición del pH en un potenciómetro automático marca Okaton®.

El cuanto, al análisis químico, para esto se tomó las muestras a diferentes tiempos y temperaturas, según tratamiento. Para lo cual, la totalidad de los sólidos que quedaron en cada una de las bolsas se secaron y se molieron en un molino de martillo marca UDY®, con criba de 1 mm, para luego realizar el respectivo análisis bromatológico mediante las siguientes técnicas analíticas: la cuantificación de ácidos grasos volátiles (AGCC) se realizó siguiendo el método reportado por Dinkci (2007), por medio de cromatografía líquida de alta eficiencia HPLC; materia seca (MS), nitrógeno amoniacal ( $\text{NH}_3$ ) prueba de Berthelot, método

reportado por Martínez (2003) y proteína bruta (PB), métodos establecidos por la AOAC (2005); proteína verdadera del filtrado (PV) según Berstein, citado por Meir (1986).

## Análisis estadístico

En el estudio se aplicó un análisis de varianza según diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial ( $2 \times 2 \times 4$ ). Para el análisis de pH y MS (%) se utilizaron como factores  $2 \times 2 \times 4$  donde los factores fueron dos temperaturas 20 y 25°C, dos tiempos de fermentación 24 y 48 h, y cuatro niveles de inclusión de carbonato de calcio 0; 0,25; 0,50 y 0,75% y tres repeticiones. Se aplicó dócima de Duncan para  $P \leq 0,05$  en los casos necesarios. Para los análisis se utilizó el paquete estadístico INFOSTAT, versión 2012 (Di Rienzo *et al.*, 2012).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 1 se muestra el estudio de la influencia del carbonato de calcio en el pH y la MS durante la fermentación en estado sólido de residuos poscosecha de *S. tuberosum* inoculado con un preparado microbiano con actividad ácido láctica, se observa interacción entre los factores en estudios ( $P < 0,0001$ ). El pH se incrementa a medida que aumenta el porcentaje de adición del  $\text{CaCO}_3$  suministrado para ambas temperaturas de incubación en 48 h, según los valores obtenidos en la cinética de fermentación, exceptuando a los 25°C en el nivel más alto de inclusión (0,75%) donde se presenta un descenso significativo que pudiera ser por un

efecto de temperatura. Yang *et al.* (2015), al realizar el análisis de la composición y estructura de carbonato de calcio, observaron que posee características únicas que le permiten mantener un pH más alto.

Los resultados experimentales indicaron que un valor de pH superior y la adición de nitrógeno podrían aumentar el rendimiento de la fermentación de ácido láctico por *Lactobacillus lactis*, logrando aumentar su biomasa, y plantean que el pH óptimo en general de BAL es 6,0 a 7,0. A un valor de pH bajo, dicho crecimiento sería inhibido debido a la mayor presencia de ácido láctico libre. Si se tiene en cuenta que el alimento fue inoculado con un preparado microbiano rico en BAL, permite inferir que al existir un pH adecuado nos permitirá un buen crecimiento microbiano reflejado en el importante porcentaje de proteína verdadera (72,76%). La estabilidad en el pH se asocia a un buen crecimiento bacteriano y por ende favorece la producción de proteína de origen bacteriano (Elías *et al.*, 1990; Ramos *et al.*, 2006; Becerra *et al.*, 2008), aunque estos autores utilizaron otros sustratos encontraron incremento en la PV, relacionándolo al crecimiento microbiano que se desarrollan durante el proceso de FES.

En general hay una incidencia positiva por la inclusión del  $\text{CaCO}_3$  en el comportamiento del pH, evitando un descenso rápido que pudiera ser limitante en el crecimiento y comportamiento de los microorganismos presentes, la estabilidad en el pH se puede atribuir al poder buferante del carbonato de calcio.

Con respecto a la MS se observa un incremento en los distintos niveles de inclusión del carbonato de calcio

**Tabla 1. Estudio de la influencia del  $\text{CaCO}_3$  en el pH durante la fermentación en estado sólido de residuos poscosecha de *S. tuberosum* inoculado con un preparado microbiano con actividad ácido láctica.**

Indicador	Tiempo (h)	Temperatura (°C)	Inclusiones de carbonato de calcio (%)				EE ± Sig.
			0	0,25	0,50	0,75	
pH	24	20	5,48 d	5,92 g	6,56 kl	6,66 m	0,010 $P < 0,0001$
		25	4,93 b	5,44 c	6,22 h	6,59 l	
	48	20	4,96 b	5,72 f	6,33 i	6,48 j	
		25	4,67 a	6,53 k	6,85 n	5,67 e	
MS (%)	24	20	17,49 b	17,24 a	18,49 d	20,72 e	0,010 $P < 0,0001$
		25	23,51 j	21,00 g	22,49 h	22,73 i	
	48	20	39,90 n	40,57 o	37,51 l	39,66 m	
		25	20,85 f	35,18 k	40,90 p	17,84 c	

Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Duncan ( $P \leq 0,05$ ).

a una temperatura de 20°C durante la fermentación, aunque el mayor valor alcanzado de 39,66% no dista de lo obtenido con la inoculación del preparado microbiano con 5% de salvado de trigo (38,13%), aún muy bajo para este tipo de aditivo microbiano. Sin embargo, a la temperatura de 25°C tuvo un comportamiento opuesto donde se observa que no hay tendencia definida en los valores de materia seca con los diferentes niveles de carbonato de calcio, encontrándose valores altos y bajos indistintamente. Este comportamiento de los indicadores químicos del alimento indica que la papa al ser cortada inicia rápidamente un proceso de lixiviación lo cual lleva a humedecer sensiblemente el alimento alterando las características organolépticas de este y su conservación esto se pudiera explicar por la hidrólisis de la urea realizado por los microorganismos presentes en la fermentación durante su proceso metabólico para la síntesis celular con la producción de amoníaco y este se pudiera volatilizar en dependencia del pH final del proceso y, posiblemente en menor escala, a la desaminación de péptidos y aminoácidos. Parte del agua producida durante la oxidación de las moléculas se pudiera evaporar por el calor metabólico que se genera durante el proceso de FES (Pandey *et al.*, 2001; Mitchell *et al.*, 2002).

En los resultados obtenidos el incremento proteico está muy ligado al comportamiento del pH lo cual se denota en la calidad del producto final. En la tabla 2 se expone el estudio realizado de las proteínas para determinar la influencia que ejerce el carbonato de calcio CaCO<sub>3</sub>, durante la fermentación en estado sólido de los residuos poscosecha de *S. tuberosum*

inoculado con un preparado microbiano con actividad láctica.

En la tabla 2 se muestran los dos indicadores de proteína donde se observan diferencias en todos los niveles de inclusión de carbonato con respecto al tiempo y a las temperaturas estudiadas ( $P < 0,0001$ ). Sin embargo, se mantienen los niveles de proteína bruta en comparación con los del preparado microbiano obteniendo el valor más alto con la inclusión del 0,50% de CaCO<sub>3</sub> a los 20°C, presentando una diferencia marcada con los tenores de proteína a los 25°C los cuales siempre estuvieron porcentualmente por debajo de la fermentación a los 20°C.

A las 48 h de fermentación se encontró comportamientos similares tendiendo al incremento en la proteína bruta con la adición de 0,50% de CaCO<sub>3</sub> a los 25°C, pero más bajo a lo esperado según los resultados del pH y la humedad del sistema. Sin embargo, la relación de PV y la PB (PV/PB×100), es la misma para las dos temperaturas (20 y 25°C) con un 72,76% por lo que en condiciones de fermentación sólida rústica o de campo es más factible utilizar temperaturas de 20°C.

La proteína verdadera mostró incremento de un 3,03% con respecto al preparado microbiano para la temperatura de 20°C en 24 h de fermentación y se mantienen estos valores con diferencias con respecto a los niveles de carbonato de calcio a las 48 h, por lo que este compuesto favoreció la síntesis microbiana

**Tabla 2. Estudio de la influencia del CaCO<sub>3</sub> en las proteínas durante la fermentación en estado sólido de residuos poscosecha de *S. tuberosum* inoculado con un preparado microbiano con actividad láctica.**

Indicador (%)	Tiempo (h)	Temperatura (°C)	Inclusiones de carbonato de calcio (%)				EE ± Sig.
			0	0,25	0,50	0,75	
Proteína bruta	24	20	18,48 h	18,84 i	19,02 j	17,72 f	0,050 $P < 0,0001$
		25	17,31 b	16,41 a	17,48 cd	17,35 bc	
	48	20	17,54 de	18,72 i	18,50 h	17,66 ef	
		25	17,58 def	18,20 g	19,09 j	17,74 f	
Proteína verdadera	24	20	12,94 f	13,28 g	13,83 i	12,72 e	0,050 $P < 0,0001$
		25	12,12 bc	11,57 a	12,72 e	12,45 d	
	48	20	12,21 bc	13,20 g	13,46 h	12,68 e	
		25	12,31 c	12,83 ef	13,89 i	12,73 e	

Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Duncan ( $P \leq 0,05$ ).

de la concentración en UFC/ml inicial del preparado microbial. Siebald *et al.* (2002) resaltan que aproximadamente el 50% de la proteína bruta corresponde a compuestos nitrogenados no proteicos, uno de los cuales es la solanidina, alcaloide, que puede estar presente libre o combinado en forma de glicoalcaloides denominados chaconina y solanina, ambos tóxicos para los animales. Estos compuestos son eliminados por la fermentación en estado sólido, pues en este estudio la mayoría de la proteína es de origen microbiano y no directamente del alimento.

Han *et al.* (2013) comprobaron que la adición de  $\text{CaCO}_3$  en fermentaciones con bacterias incrementan su crecimiento, además los niveles de proteínas transportadoras de azúcar y de las proteínas involucradas en la síntesis, reparación, recombinación y replicación del DNA y Tian *et al.* (2015) obtuvieron resultados con la inclusión de  $\text{CaCO}_3$  en la fermentación del bagazo de caña de azúcar por *Clostridium thermocellum*,

degradación de este sustrato y un efecto estimulador en la producción de biohidrógeno.

El comportamiento de los AGCC (Tab. 3) se presenta ausencia de ácido acético y el propiónico solo se expresa en la concentración más baja de carbonato de calcio, mientras que el láctico presenta un comportamiento creciente evidenciado en las dos temperaturas evaluadas siendo más evidente en las concentraciones mayores (0,5 y 0,75%) de carbonato.

En la tabla 4 se puede observar los resultados del análisis microbiológico realizado a las diferentes muestras. Se aprecia el buen comportamiento del crecimiento de las bacterias ácido lácticas, lo cual se puede explicar por el inóculo empleado en las diferentes temperaturas de incubación de 20 y 25°C. En la misma se aprecia el buen crecimiento de hongos y especialmente de levaduras, deseables en el proceso fermentativo, y lo más importante persiste la ausencia de patógenos como *Salmonella* y *Clostridium*.

**Tabla 3. Comportamiento del  $\text{NH}_3$  y AGCC, de la fermentación de los residuales poscosecha de *Solanum tuberosum* con el preparado microbial e inclusión de  $\text{CaCO}_3$ .**

T°	Indicador	CaCO <sub>3</sub>	Tiempo de fermentación (h)			EE ± Sig.
			0	24	48	
20	Ácido láctico (mmol L <sup>-1</sup> )	0,25	16,86 b	0,002 a	39,36 e	0,004 P<0,0001
		0,50		26,02 c	52,33 f	
		0,75		35,25 d	56,86 g	
25	Ácido láctico (mmol L <sup>-1</sup> )	0,25	16,86 a	42,43 c	52,90 f	0,003 P<0,0001
		0,50		49,00 e	48,33 d	
		0,75		31,31 b	56,86 g	
20	Ácido propiónico (mmol L <sup>-1</sup> )	0,25	14,33 b	0,002 a	0,002 a	0,0007 P<0,0001
		0,50		0,002 a	0,002 a	
		0,75		0,002 a	0,002 a	
25	Ácido propiónico (mmol L <sup>-1</sup> )	0,25	14,33 c	11,29 b	0,002 a	0,0006 P<0,0001
		0,50		0,002 a	0,002 a	
		0,75		0,002 a	0,002 a	
20	$\text{NH}_3$ (meq L <sup>-1</sup> )	0,25	1,79 a	3,74 b	5,35 f	0,02 P<0,0001
		0,50		3,76 b	5,24 e	
		0,75		4,96 d	3,82 c	
25	$\text{NH}_3$ (meq L <sup>-1</sup> )	0,25	1,79 a	4,53 d	4,37 c	0,02 P<0,0001
		0,50		4,80 e	6,14 f	
		0,75		6,55 g	4,17 b	

Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Duncan ( $P \leq 0,05$ ).

**Tabla 4. Análisis microbiológico de la fermentación de los residuales poscosecha de *Solanum tuberosum* con el preparado microbial e inclusión de CaCO<sub>3</sub>.**

Indicador	Tiempo (h)	Temperatura (°C)	Inclusiones de carbonato de calcio (%)			
			0	0,25	0,50	0,75
Aerobios mesófilos (UFC/g)	0	15	21 × 10 <sup>4</sup>	25x10 <sup>4</sup>	20x10 <sup>4</sup>	11x10 <sup>4</sup>
		20		19x10 <sup>6</sup>	80x10 <sup>6</sup>	11x10 <sup>6</sup>
	25	12x10 <sup>6</sup>		70x10 <sup>5</sup>	62x10 <sup>6</sup>	
	48	20		11x10 <sup>7</sup>	89x10 <sup>6</sup>	12x10 <sup>6</sup>
		25		59x10 <sup>5</sup>	83x10 <sup>5</sup>	88x10 <sup>6</sup>
Coliformes totales (NMP)	0	15	> 1 100	> 1 100	> 1 100	> 1 100
		20				
	25					
	24	20				
		25				
48	20					
	25					
Coliformes fecales (NMP)	0	15	1 100	> 1 100	> 1 100	> 1 100
		20		> 1 100	> 1 100	> 1 100
	25	> 1 100		> 1 100	> 1 100	
	24	20		> 1 100	> 1 100	> 1 100
		25		> 1 100	> 1 100	> 1 100
48	20	> 1 100	> 1 100	> 1 100		
	25	> 1 100	> 1 100	> 1 100		
Esporas <i>Clostridium</i> Sulfito reductor (UFC/g)	0	15	< 10	< 10	< 10	< 10
		20				
	25					
	24	20				
		25				
48	20					
	25					
Hongos (UFC/g)	0	15	< 10	17x10 <sup>1</sup>	10	20
		20		70	30	10
	25	20		10	30	
	24	20		11x10 <sup>3</sup>	13x10 <sup>3</sup>	20x10 <sup>2</sup>
		25		78x10 <sup>3</sup>	50x10 <sup>2</sup>	60x10 <sup>2</sup>
48	20	11x10 <sup>3</sup>	11x10 <sup>3</sup>	19x10 <sup>3</sup>		
	25	46x10 <sup>2</sup>	46x10 <sup>2</sup>	98x10 <sup>1</sup>		
Levaduras (UFC/g)	0	15	25 × 10 <sup>3</sup>	14x10 <sup>2</sup>	49x10 <sup>1</sup>	41x10 <sup>2</sup>
		20		20x10 <sup>4</sup>	43x10 <sup>4</sup>	41x10 <sup>4</sup>
	25	55x10 <sup>4</sup>		56x10 <sup>3</sup>	45x10 <sup>4</sup>	
	24	20		11x10 <sup>3</sup>	11x10 <sup>3</sup>	19x10 <sup>3</sup>
		25		46x10 <sup>2</sup>	46x10 <sup>2</sup>	98x10 <sup>1</sup>
48	20	14x10 <sup>2</sup>	49x10 <sup>1</sup>	41x10 <sup>2</sup>		
	25	20x10 <sup>4</sup>	43x10 <sup>4</sup>	41x10 <sup>4</sup>		
<i>Salmonella</i>	0	15	*	*	*	*
		20				
	25					
	24	20				
		25				
48	20					
	25					
Bacterias ácido lácticas (UFC/g)	0	15	75 × 10 <sup>4</sup>	20x10 <sup>4</sup>	12x10 <sup>5</sup>	12x10 <sup>5</sup>
		20		80x10 <sup>6</sup>	32x10 <sup>6</sup>	10x10 <sup>6</sup>
	25	10x10 <sup>6</sup>		97x10 <sup>6</sup>	81x10 <sup>6</sup>	
	24	20		91x10 <sup>6</sup>	38x10 <sup>6</sup>	15x10 <sup>6</sup>
		25		10x10 <sup>6</sup>	17x10 <sup>7</sup>	95x10 <sup>5</sup>
48	20	10x10 <sup>6</sup>	17x10 <sup>7</sup>	95x10 <sup>5</sup>		
	25	10x10 <sup>6</sup>	17x10 <sup>7</sup>	95x10 <sup>5</sup>		

\* Ausente

## CONCLUSIONES

La mejor inclusión del  $\text{CaCO}_3$  en la fermentación de los residuales poscosecha de *Solanum tuberosum* con el preparado microbiano fue de 0,50% a los 20°C, el cual permitió un crecimiento adecuado de los microorganismos BAL reflejado en el incremento de la proteína verdadera. Lo cual indica, además, que para las fermentaciones a nivel de campo se definió que la mejor temperatura es de 20°C según los indicadores de calidad de la fermentación.

En el proceso fermentativo se observó un aumento en la MS, aun así el producto final es muy húmedo, según los indicadores de calidad para este tipo de alimento.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración al Grupo de Investigación en Bioquímica y Nutrición Animal (GIBNA) de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC. 2005. Official methods of analysis 17<sup>th</sup> ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, VA, USA.
- Becerra, A. 2008. Aprovechamiento de subproductos de manzana mediante la producción de proteína microbiana con fermentación en estado sólido para la alimentación animal. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de Chihuahua, México.
- Borras, L.M., E.C. Valiño y C.E. Rodríguez. 2017. Preparado microbiano con actividad ácido láctica como acelerante biológico en los procesos de fermentación para alimento animal. *Rev. Cien. Agri.* 14(1), 7-13.
- Di Rienzo, A., F. Casanoves, G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada y W. Robledo. 2012. Grupo InfoStat. FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. En <http://www.infostat.com.ar>; consulta: enero de 2017.
- Dinkci, N., A. Akalin, S. Gonc y G. Unal. 2007. Isocratic Reverse-Phase HPLC for determination of organic acids in Kargı Tulum Cheese. *Chromatographia (Suppl.)* 1, 45-49. Doi: 10.1365/s10337-007-0234-6
- Elías, A., O. Lezcano, P. Lezcano, J. Cordero y L. Quintana. 1990. Reseña descriptiva sobre el desarrollo de una tecnología de enriquecimiento proteínico en la caña de azúcar mediante fermentación sólida (Saccharina). *Rev. Cubana Cienc. Agric.* 24(1), 3-12.
- Han, B., V. Ujor, B. Lai, V. Gopalan y C. Ezeji. 2013. Use of proteomic analysis to elucidate the role of calcium in acetone-butanol-ethanol fermentation by *Clostridium beijerinckii* NCIMB 8052. *Appl. Environ. Microbiol.* 79(1), 282-293. Doi: 10.1128/AEM.02969-12
- Martínez, F., E. Balciunas, J. Salgado, J. Gonzáles, A. Conventi y R. Oliveira. 2003. Lactic acid properties, applications and production: A review. *Trends Food Sci. Technol.* 30, 70-83. Doi: 10.1016/j.tifs.2012.11.007
- Meir, H. 1986. *Laborpräkeltüre Tierernährung und Futtermittelkunde für Tierproduktion.* Verlag DDR, Berlin, República Democrática Alemana.
- Mitchell, D.A., M. Berovic y N. Krieger. 2002. Overview of solid state bioprocessing. *Biotechnol. Annu. Rev.* 8, 183-200. Doi: 10.1016/S1387-2656(02)08009-2
- Montoya, N., I. Pino y H. Correa. 2004. Evaluación de la suplementación con papa (*Solanum tuberosum*) durante la lactancia en vacas Holstein. *Rev. Col. Cienc. Pec.* 17(3), 241-249.
- Mundo Pecuario. 2010. Composición nutricional de la papa. En: [http://www.mundopecuario.com/tema60/nutrientes\\_para\\_monogastricos/papa\\_harina-262.html](http://www.mundopecuario.com/tema60/nutrientes_para_monogastricos/papa_harina-262.html); consulta: noviembre de 2014.
- Pandey, A., C.R. Soccol, J.A. Rodríguez-León y P. Nigam. 2001. Solid-state fermentation in biotechnology. Fundamentals and applications. Asiatech Publishers, New Delhi, India.
- Pertuz, S. 2012. Composición química y valor nutricional del tubérculo. En: <http://www.fedepapa.com/wp-content/uploads/pdf/memorias/podernutricional.pdf>; consulta: abril de 2017.
- Ramos, J., A. Elías y F. Herrera. 2006. Procesos para la producción de un alimento energético - proteico para animales. Efecto de cuatro fuentes energéticas en la fermentación en estado sólido (FES) de la caña de azúcar. *Rev. Cubana Cien. Agric.* 40(1), 51-58.
- Siebold, E., L. Goic y M. Matzner. 2002. Alimentación de rumiantes con papa de desecho. En: Boletín Técnico No. 88. Centro Regional de Investigaciones Remehue, Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Osorno, Chile.
- Tian, Q., L. Liang y M.J. Dunca. 2015. Enhanced biohydrogen production from sugarcane bagasse by *Clostridium thermocellum* supplemented with  $\text{CaCO}_3$ . *Bioresource Technol.* 197, 422-428. Doi: 10.1016/j.biortech.2015.08.111
- Yang, P.-B., Y. Tian, Q. Wang y W. Conga. 2015. Effect of different types of calcium carbonate on the lactic acid fermentation performance of *Lactobacillus lactis*. *Biochem. Eng. J.* 98, 38-46. Doi: 10.1016/j.bej.2015.02.023