

Effect of fibrous materials inclusion on the solid-state fermentation of post harvested wastes of *Solanum tuberosum*, inoculated with a microbial preparation

Efecto de la inclusión de materiales fibrosos en la fermentación en estado sólido de residuos poscosecha de *Solanum tuberosum*, inoculados con un preparado microbiano

L.M. Borrás¹, Elaine C. Valiño², A. Elías², J.J. Martínez¹, A.M. Sanabria¹ and Mónica L. Becerra¹

¹Pedagogical and Technological University of Colombia, GIBNA research group UPTC. Avenida Central del Norte, Tunja, Boyacá, Colombia

²Animal Science Institute of Cuba. Carretera Central, km 47 y medio, San José de las Lajas, Apartado Postal 24

L. M. Borrás: <https://orcid.org/0000-0002-3284-027X>

Elaine C. Valiño Cabrera: <https://orcid.org/0000-0003-4178-32>

J. J. Martínez: <http://orcid.org/0000-0002-4906-7121>

A. M. Sanabria: <https://orcid.org/0000-0002-8026-3163>

Mónica L. Becerra: <https://orcid.org/0000-0002-0275-9008>

Email: luis.borras@uptc.edu.cu

In order to evaluate the solid-state fermentation of post-harvested wastes of *S. tuberosum* (potato), inoculated with a microbial preparation, analysis of variance was carried out according to a completely randomized design with factorial arrangement (3 x 3) for the fermentative indicators crude protein, true protein, dry matter, neutral detergent fiber, acid detergent fiber, pH, organic acids, lactic acid, NH₃ and microbiological analysis. The factors were 15 and 25 % of inclusion of three fibrous plant material (wheat bran, alfalfa meal and rice meal) and three times of fermentation (0, 24 and 48 h) with three repetitions. The inclusion of 15 and 25 % of the different fibrous materials in the fermentations was performed under the same conditions, and showed interaction between the evaluated indicators and the fermentation time (P < 0.0001). The pH, dry matter, neutral detergent fiber and acid detergent fiber notably decreased in the three fibrous materials. There were lower values of lactic acid and ammonia (P < 0.0001) with dilution effect by the fiber. There were not pathogenic microorganisms, but there were significant values of acid lactic bacteria, at 48 h, in the mixture of alfalfa meal of 3.03 x 10⁷ and 7.67 x 10⁷ UFC/mL for 15 and 25 % of inclusion, respectively. The crude protein and true protein increased in 25 % with alfalfa and the dry matter reached at the end of the process 75.80 % for this treatment. It is concluded that the inclusion of fibrous materials in the solid-state fermentation of post harvested wastes of *S. tuberosum*, inoculated with a microbial preparation with acid lactic activity, have positive effect on their chemical and microbiological composition. It is recommended by the quality indicators of the final product, the use of 25 % of alfalfa meal, fermented at 20 °C during 48 h.

Key words: *potato, wheat bran, rice meal, alfalfa, lactic bacteria.*

The potato (*Solanum tuberosum* L.) is the fourth crop of food in the world, with 377 millions of ton after the corn, rice and wheat (FAO 2015). This cultivation generates many wastes of tubers, not suitable for human consumption, which polluted the environment. These wastes could be converted, with simple technology, into

Con el propósito de evaluar la fermentación en estado sólido de residuos poscosecha de *S. tuberosum* (papa), inoculados con un preparado microbiano, se realizó análisis de varianza según diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial (3 x 3) para los indicadores fermentativos proteína bruta, proteína verdadera, materia seca, fibra neutro detergente, fibra ácido detergente, pH, ácidos orgánicos, ácido láctico, NH₃ y análisis microbiológico. Los factores fueron 15 y 25 % de inclusión de tres materiales vegetales fibrosos (salvado de trigo, harina de alfalfa y harina de arroz) y tres tiempos de fermentación (0, 24 y 48 h) con tres repeticiones. La inclusión del 15 como del 25 % de los distintos materiales fibrosos en las fermentaciones se realizó en las mismas condiciones, y mostró interacción entre los indicadores evaluados y el tiempo de fermentación (P < 0.0001). El pH, materia seca, fibra neutro detergente y fibra ácido detergente disminuyeron notablemente en los tres materiales fibrosos. Se encontraron valores muy bajos de ácido láctico y amoníaco (P < 0.0001) con efecto dilutivo por la fibra. No hubo presencia de microorganismos patógenos, y sí valores significativos de bacterias ácido lácticas, a las 48 h, en la mezcla con harina de alfalfa de 3.03 x 10⁷ y 7.67 x 10⁷ UFC/mL para 15 y 25 % de inclusión, respectivamente. La proteína bruta y verdadera se incrementaron en 25 % con harina de alfalfa, y la materia seca alcanzó al término del proceso 75.80 % para este tratamiento. Se concluye que la inclusión de materiales fibrosos en la fermentación en estado sólido de residuos poscosecha de *S. tuberosum*, inoculados con un preparado microbiano con actividad ácido láctica, tiene efecto positivo en su composición química y microbiológica. Se recomienda por los indicadores de calidad del producto final, la utilización de 25 % de la harina de alfalfa, fermentado a 20 °C durante 48 h.

Palabras clave: *papa, salvado de trigo, harina de arroz, alfalfa, bacterias lácticas.*

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es la cuarta cosecha de alimento en el mundo, con 377 millones de toneladas después del maíz, arroz y trigo (FAO 2015). Este cultivo genera abundantes residuos del tubérculo, no aptos para el consumo humano, que contaminan el ambiente. Estos desechos se pudieran transformar con tecnologías

a good quality food for cattle, to low cost (Elías *et al.* 2008 and Borrás 2017).

In Colombia, the post-harvested wastes of potato are used as an alternative in animal feeding. They are added to the diet fresh, to low levels, that is a great amount is thrown away, conduct that caused environmental and health problems, due to the pest propagation in crops. However, the application of the solid-state fermentation (SSF) technology of these wastes, as a use alternative in animal nutrition, could fulfill two functions: improve the nutritional quality (Zhou *et al.* 2019) of the used foods and, specially reduce the environmental pollution that generates the final use of these wastes. In addition, the deep knowledge of the metabolism and the physiology of the acid lactic bacteria (ALB) in microbial preparations, as inoculants (Muck *et al.* 2018) previous to the fermentation of different fermentation substrates, allowed generate microbial mixtures more defined and reproducible in the quality of the final product (Bintsis 2018) and probiotic activity (FAO 2016).

Borrás (2017), in a study performed in the fermentation of potato wastes with a microbial preparation with lactic activity, suggested that these fermentations should be corrected with the inclusion of fibrous plant material that acted as drying and have more consistency, due to the high humidity they have, even after adding calcium carbonate (CaCO₃) as drying additive. In this way, they improve the organoleptic conditions, possible losses of nutrients by excessive lixiviation in the post-harvested wastes during the fermentation are avoided and it achieves their preservation in the time (Bartova *et al.* 2015).

The objective of this study was to evaluate the effect of the fibrous materials inclusion on the solid-state fermentation of post-harvested wastes of *S. tuberosum*, inoculated with a microbial preparation with lactic acid activity.

Materials and Methods

The experiment of solid-state fermentation (SSF) was carried out under the high tropic conditions (2860 m o.s.l.), in the laboratory of biochemical and animal nutrition from Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), located in the north central avenue, Tunja-Paipa road, in Tunja municipality, Boyacá department, Colombia. This region has an average temperature of 15 °C and annual average rainfalls of 553 mm.

Experimental procedure. A yogurt with the active strains *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* and *Lactobacillus delbrueckii* (commercial freeze-dried, Liofast Y452B, SACCO ®) was prepared, which was used as inoculum (2 %, v/v and concentration of 0.99 x 10⁸ UFC/mL) to obtain the microbial preparation, according to Borrás (2017) methodology. The preparation was mixed with the drying plant material, calcium

sencillas en alimento de buena calidad para el ganado, a costos muy bajos (Elías *et al.* 2008 y Borrás 2017).

En Colombia, los residuos poscosecha de la papa se utilizan como una alternativa en la alimentación animal. Se incorporan a las dietas en estado fresco, a bajos niveles, por lo que se desecha una buena cantidad, proceder que genera problemas ambientales y sanitarios, debido a la propagación de plagas en los cultivos. Sin embargo, la aplicación de la tecnología de fermentación en estado sólido (FES) de estos residuales, como alternativa de uso en la nutrición animal, pudiera cumplir dos funciones: mejorar la calidad nutricional (Zhou *et al.* 2019) de los alimentos utilizados y, especialmente, disminuir la contaminación ambiental que genera la disposición final de estos residuales. Además, el conocimiento profundo del metabolismo y la fisiología de las bacterias ácido lácticas (BAL) en preparados microbianos, como inoculantes (Muck *et al.* 2018) previos a la fermentación de distintos sustratos de fermentación, permitirá generar mezclas microbianas cada vez más definidas y reproducibles en la calidad del producto final (Bintsis 2018) y actividad probiótica (FAO 2016).

Borrás (2017), en un estudio realizado en fermentaciones de desechos de papa con un preparado microbiano con actividad láctica, sugirió que dichas fermentaciones deben ser corregidas con la inclusión de materiales vegetales fibrosos que actúen como secante y provean de más consistencia, debido a la alta humedad que conservan, aún después de añadirle carbonato de calcio (CaCO₃) como aditivo secante. De esta forma, mejoran las condiciones organolépticas, se evitan posibles pérdidas de nutrientes por excesiva lixiviación en los desechos poscosecha durante la fermentación, y se logra además su preservación en el tiempo (Bartova *et al.* 2015).

A partir de lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la inclusión de materiales fibrosos en la fermentación en estado sólido de residuos poscosecha de *S. tuberosum*, inoculados con un preparado microbiano con actividad ácido láctica.

Materiales y Métodos

El experimento de fermentación en estado sólido (FES) se realizó en las condiciones del trópico alto (2860 m s.n.m.), en el laboratorio de bioquímica y nutrición animal de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), ubicado en la avenida central del norte, vía Tunja-Paipa, en el municipio de Tunja, departamento de Boyacá, Colombia. Esta región posee una temperatura promedio de 15 °C y precipitación media anual de 553 mm.

Procedimiento experimental. Se elaboró un yogurt con las cepas activas de *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* y *Lactobacillus delbrueckii* (comercial liofilizado, Liofast Y452B, SACCO ®), el cual se utilizó como inóculo (2 %, v/v y concentración de 0.99 x 10⁸ UFC/mL) para la obtención del preparado microbiano, según metodología de Borrás (2017). El preparado (2 %) se mezcló con los materiales vegetales secantes, carbonato de calcio (0.5 %) y residuos poscosecha de la

carbonate at 15 and 25 %. The composition of them is described in table 1.

The ingredients were mixture until obtaining

papa, previamente limpios y troceados. Los materiales vegetales se añadieron al 15 y 25 %. La composición de los mismos se describe en la tabla 1.

Table 1. Composition of the fibrous plant material used in the solid-state fermentation of post harvested wastes of *S. tuberosum*

Indicators (%)	Fibrous plant material		
	Wheat bran	Alfalfa meal	Rice meal
DM	87.7	87.5	91.7
As	5.0	10.4	8.3
CP	15.1	16.0	13.0
CF	9.8	34.6	7.5
EE	3.5	1.98	17.2

Source: Laboratory of Nutrition and Animal Feeding (UPTC 2013)

a homogeneous paste. They were distributed in plastic bags, with 1 kg capacity. Later, the bags were incubated at 20 °C temperature in individual Memmert® incubators, for 48h. Each bag represented an experimental unit, with three repetitions each, according to each treatment. Samples were taken at 0, 24 and 48h of fermentation.

The content of the bags of each treatment was collected in its entirety and was homogenized. Then, 5g of sample were taken and placed in 100 mL Erlenmeyers and 45 mL of sterile distilled water was added, with three repetitions. The preparation was shaken for 30 minutes on an Adams® electric shaker. Later, the filtrate was obtained for pH measurement on an Okaton® automatic potentiometer, in order to carry out the microbiological analysis.

The total of solids left in the bags were dried and ground in a UDY®, hammer mill with a 1 mm sieve, for chemical quantification analysis. For the analysis of dry matter (DM) and crude protein (CP), it was proceeded according to the AOAC (2005). For true protein (TP) Berstein was followed, cited by Meir (1986), and for the neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF), van Soest *et al.* (1991).

The ammoniac (NH₃) was determined by Berthelot technique (Martínez *et al.* 2003). The quantification of short chain acids (SCFA) was performed by the method suggested by Dinkci *et al.* (2007). By means of high efficiency liquid chromatography HPLC the Gemini 5u C18 110A (PHENOMENEX) column was used, with UV light detector vis at 214 nm, at room temperature (15 °C), with mobile phase of (NH₄)₂ PO₄ 0.5 % W/V; Acetonitrile 0.4 % V/V. The pH was fitted at 2.24 with H₃PO₄ (filtered with 0.22 μm pore membrane and degassed by sonication and bubbling with hydrogen) and a flow rate of 0.5 mL/min was applied. It was quantified with the Claritychrom program, version 5.0.5.98.

The microbiological composition was determined

Los ingredientes se mezclaron hasta obtener una pasta homogénea. Se distribuyeron en bolsas plásticas, con capacidad de 1 kg. Posteriormente, se incubaron las bolsas a temperatura de 20 °C en incubadoras individuales, marca Memmert®, durante 48 h. Cada bolsa representó una unidad experimental, con tres repeticiones cada una, según cada tratamiento. Se tomaron muestras a las 0, 24 y 48 h de fermentación.

El contenido de las bolsas de cada tratamiento se recolectó en su totalidad y se homogenizó. Luego, se tomaron 5 g de muestra, que se colocaron en Erlenmeyer de 100 mL y se les adicionó 45 mL de agua destilada estéril, con tres repeticiones. La preparación se agitó durante 30 min. en un agitador eléctrico, marca Adams®. Luego, se obtuvo el filtrado para la medición del pH en un potenciómetro automático, marca Okaton®, con el propósito de realizar el análisis microbiológico.

El total de los sólidos que quedó en las bolsas se secó y molió en un molino de martillo, marca UDY®, con criba de 1 mm, para el análisis de cuantificación química. Para el análisis de materia seca (MS) y proteína bruta (PB) se procedió según la AOAC (2005). Para la proteína verdadera (PV) se siguió a Berstein, citado por Meir (1986), y para la fibra neutro detergente (FND) y fibra ácido detergente (FAD), a van Soest *et al.* (1991).

El amoniac (NH₃) se determinó por la técnica de Berthelot (Martínez *et al.* 2003). La cuantificación de ácidos de cadena corta (AGCC) se realizó por el método sugerido por Dinkci *et al.* (2007). Por medio de cromatografía líquida de alta eficiencia HPLC se utilizó la columna Gemini 5u C18 110A (PHENOMENEX), con detector de luz UV vis a 214 nm, a temperatura ambiente (15 °C), con fase móvil de (NH₄)₂ PO₄ 0.5 % P/V; Acetonitrilo 0.4% V/V. Se ajustó el pH a 2.24 con H₃PO₄ (filtrada con membrana de 0.22 μm de poro, desgasificada por sonicación y burbujeo con hidrógeno) y se aplicó un flujo de 0.5 mL/min. Se cuantificó con el programa Claritychrom, versión 5.0.5.98.

Se determinó la composición microbiológica a las muestras de 0, 24 y 48 h de fermentación, en un

to the samples of 0, 24 and 48h of fermentation, in a certified laboratory for the microbiological control, located in Boyacá, Colombia. For aerobic mesophiles (forming colony units per milliliter, UFC/mL) (AOAC 966.23.C: 2001), total and fecal coliforms, most probable number (MPN) (ICMSF NMP: 2000), spores of *Clostridium sulfite reductor* (UFC/mL), (ISO 15213: 2003), fungi and yeasts (UFC/mL) (ISO 7954: 1987), *Salmonella* (AS 5013.10: 2009), lactic acid bacteria (LAB) (NTC 5034: 2002).

Analysis of variance was carried out according to a completely randomized design, with factorial arrangement (3x3), for the indicators CP, TP, DM, NDF, ADF, pH, organic acids, lactic acid and NH₃. The factors, for 15 and 25 % of inclusion, were the fibrous plant material (wheat bran, alfalfa meal and rice meal) and the fermentation time (0, 24 and 48 h).

The Duncan (1955) test for $P < 0.05$ was applied in the necessary cases. The statistical package used for the analysis was INFOSAT, version 2012 (Di Rienzo *et al.* 2012). For the microbial counting, the data did not follow the normal distribution, which is why they were transformed according to logX.

Results and Discussion

The indicators in study for the dynamic of SSF of post-harvested wastes of *S. tuberosum*, inoculated with the microbial preparation, showed interaction between the evaluated fibrous materials and the fermentation time (tables 2, 3 and 4).

With the three evaluated plant materials, the fermentation pH decreased. At 48h, and with the inclusion of wheat bran, the lower value was obtained (4.73). In this case, the indicator was not stabilized, even when 0.50 % of LAB populations were added (Borras 2017). The inclusion of 15 % of alfalfa meal and rice meal favors, this indicator, maintaining values in the ranges for the microbial growth ($P < 0.0001$). These results could be due to, probably, to the chemical composition of the fiber of each material.

The ammonia concentration slightly increase in the fermentation with the inclusion of the three fibrous materials, and the highest value was obtained for the alfalfa meal (7.07 meq/L). According to Aranda *et al.* (2012), during the SSF process, the microorganisms requires nitrogen sources as the urea, and soluble carbohydrates as molasses, for turn by means of metabolic reactions the non protein nitrogen into protein nitrogen, maximizing the efficient use of NH₃ in the amino acids synthesis. In addition, when the pH is low, the NH₃ produced during the fermentation is retained in the substrate, it is concentrated and their use is limited by some microorganisms that are in the product for the formation of their cell protoplasm. Zhang y Wang (2013) showed that in the fermentation of food wastes, the CaCO₃ maintains the necessary stability to obtain good yield and microbial growth.

laboratorio certificado para el control microbiológico, ubicado en Boyacá, Colombia. Para aerobios mesófilos (unidades formadoras de colonia por mililitro, UFC/mL) (AOAC 966.23.C: 2001), coliformes totales y fecales, número más probable (NMP) (ICMSF NMP: 2000), esporas de *Clostridium sulfite reductor* (UFC/mL), (ISO 15213:2003), hongos y levaduras (UFC/mL) (ISO 7954:1987), *Salmonella* (AS 5013.10:2009), bacterias ácido lácticas (BAL) (NTC 5034: 2002).

Se realizó análisis de varianza según diseño completamente aleatorizado, con arreglo factorial (3 x 3), para los indicadores PB, PV, MS, FDN, FDA, pH, ácidos orgánicos, ácido láctico y NH₃. Los factores, para 15 y 25 % de inclusión, fueron los materiales vegetales fibrosos (salvado de trigo, harina de alfalfa y harina de arroz) y el tiempo de fermentación (0, 24 y 48 h).

Se aplicó la dócima de Duncan (1955) para $P < 0.05$ en los casos necesarios. El paquete estadístico utilizado para los análisis fue INFOSAT, versión 2012 (Di Rienzo *et al.* 2012). Para los conteos microbianos, los datos no siguieron la distribución normal, por lo que se transformaron según logX.

Resultados y Discusión

Los indicadores en estudio para la dinámica de FES de los residuos poscosecha de *S. tuberosum*, inoculados con el preparado microbiano, mostraron interacción entre los materiales fibrosos evaluados y el tiempo de fermentación (tablas 2, 3 y 4).

Con los tres materiales vegetales evaluados disminuyó el pH de la fermentación. A las 48 h, y con la inclusión de salvado de trigo, se obtuvo el valor más bajo (4.73). En este caso no se estabilizó el indicador, aun cuando se añadió 0.50 % de las poblaciones de BAL (Borras 2017). La inclusión de 15 % de harina de alfalfa y de arroz favoreció, al parecer, este indicador, manteniendo valores en los rangos para el crecimiento microbiano ($P < 0.0001$). Estos resultados se pueden deber, probablemente, a la composición química de las fibras de cada material.

La concentración de amoníaco aumentó ligeramente en la fermentación con la inclusión de los tres materiales fibrosos, y el mayor valor se obtuvo para la harina de alfalfa (7.07 meq/L). Según Aranda *et al.* (2012), durante el proceso de FES, los microorganismos requieren fuentes de nitrógeno como la urea, y de carbohidratos solubles como la miel, para convertir mediante reacciones metabólicas el nitrógeno no proteico en nitrógeno proteico, maximizando el uso eficiente del NH₃ en la síntesis de aminoácidos. Además, cuando se tiene bajo pH, el NH₃ producido durante la fermentación se retiene en el sustrato, por lo que se concentra y su utilización es limitada por parte de los algunos microorganismos que prevalecen en el producto para la formación de su protoplasma celular. Zhang y Wang (2013) manifestaron que en la fermentación de residuos de alimentos, el CaCO₃ logra mantener la estabilidad necesaria para obtener buen rendimiento y crecimiento microbiano. Por tanto,

Therefore, the adding of this additive in 0.50 % achieved to maintain the stability in the organic acid production.

The results of the organic acids study showed absent of the acetic acid, butyric acid, isovaleric acid, isobutyric acid, and slightly production of lactic acid with corn meal, which can indicate that the addition of 15% of fiber of the different plant materials affects the fermentative yield of the LAB, with the decrease of the lactic acid, even when CaCO₃ was added in 0.50 % for the pH stability. However, at 48h, with the addition of rice meal was higher (8.23 mmol/L). According to Pejin *et al.* (2015), the calcium carbonate have significant effect on the lactic acid production by *L. lactis* as neutralizing agent, providing a favorable microenvironment to the cell. In addition, Martínez *et al.* (2003) reported that the minerals particles as calcium can benefits the growth and the microorganisms activity, and to absorb part of the organic matter. This could be use by the bacteria to synthesize and turn into energy, activating many enzymatic reactions or maintaining the normal physiological state of microorganisms, which was not observed for these indicators, probably by a dilution or disintegrative effect with the added fiber.

la adición de este aditivo en 0.50 % logró mantener la estabilidad en la producción de ácidos orgánicos.

Los resultados del estudio de los ácidos orgánicos muestran ausencia del ácido acético, butírico, isovalérico, isobutírico, y ligera producción de ácido láctico con harina de maíz, lo que puede indicar que la adición de 15 % de fibra de los diferentes materiales vegetales afecta el rendimiento fermentativo de las BAL, con la disminución del ácido láctico, aun cuando se adicionó CaCO₃ en 0.50 % para la estabilidad del pH. Sin embargo, a las 48 h, con la adición de harina de arroz fue más alta (8.23 mmol/L). Según Pejin *et al.* (2015), el carbonato de calcio tiene efecto significativo en la producción del ácido láctico por *L. lactis* como agente neutralizante, lo que le proporciona un microambiente favorable a la célula. Además, Martínez *et al.* (2003) informaron que las partículas minerales como el calcio pueden beneficiar el crecimiento y la actividad de los microorganismos, y absorber parte de la materia orgánica. Esto podría ser utilizado por las bacterias para sintetizar y transformar en energía, activando muchas reacciones enzimáticas o manteniendo el estado normal fisiológico de los microorganismos, lo que no se observó para estos indicadores, probablemente por un efecto dilutivo o disgregativo con la fibra añadida.

Table 2. Effect of the inclusion of 15 % of fibrous plant material on the pH, NH₃ and lactic acid of solid fermentation of post-harvested wastes of *Solanum tuberosum*, inoculated with a microbial preparation

Indicators	Time, h	Fibrous plant material (15 %)			SE ± Sign
		Wheat bran	Alfalfa meal	Rice meal	
pH	0	6.77 ^h	6.18 ^g	6.78 ^h	0.014
	24	5.38 ^d	5.72 ^e	5.82 ^f	P<0.0001
	48	4.73 ^a	5.17 ^c	5.04 ^b	
NH ₃ (meq/L)	0	2.15 ^a	3.46 ^c	2.90 ^b	0.004
	24	4.55 ^e	6.63 ^g	4.53 ^d	P<0.0001
	48	6.79 ^h	7.07 ⁱ	5.87 ^f	
Lactic acid (mmol/L)	0	0.002 ^a	0.002 ^a	0.002 ^a	0.003
	24	0.002 ^a	0.002 ^a	1.02 ^c	P<0.0001
	48	0.002 ^a	0.67 ^b	8.23 ^d	

a, b, c, d, e, f, g, h, i Means with different letters show differences to P < 0.05, according to Duncan (1955)

Table 3 shows the effect of the inclusion of 15 % of the fibrous plant material on the protein content and fiber content during the solid fermentation of post-harvested wastes of *S. tuberosum*, inoculated with the microbial preparation. The results showed interaction between the evaluated indicators and the fermentation time (P < 0.0001).

In the composition of raw matter used as fibrous plant material, the CP of the wheat bran, alfalfa meal and rice meal was 15, 16 and 13 %, respectively. A notable increase occurs when they are mixture with the microbial preparation as biological accelerator with respect to the fermentation time (P < 0.0001), according

En la tabla 3 se muestra el efecto de inclusión de 15 % del material vegetal fibroso en el contenido de proteína y fibra durante la fermentación sólida de residuos poscosecha de *S. tuberosum*, inoculados con el preparado microbiano. Los resultados mostraron interacción entre los indicadores evaluados y el tiempo de fermentación (P < 0.0001).

En la composición de las materias primas utilizadas como material vegetal fibroso, la PB del salvado de trigo, harina de alfalfa y harina de arroz fue 15, 16 y 13 %, respectivamente. Ocurre un notable incremento cuando se mezclan con el preparado microbiano como acelerador biológico con respecto al tiempo de fermentación

Table 3. Effect of the inclusion of 15% of the fibrous plant material in the chemical composition during the solid fermentation of post-harvested wastes of *S. tuberosum*, inoculated with the microbial preparation.

Indicators, %	Time, h	Fibrous plant material (15 %)			SE ± Sign
		Wheat bran	Alfalfa meal	Rice meal	
CP	0	23.65 ^c	19.75 ^a	23.73 ^c	0.416
	24	31.74 ^c	19.01 ^a	21.05 ^b	P<0.0001
	48	29.36 ^d	21.90 ^b	24.38 ^c	
TP	0	17.44 ^c	13.55 ^c	16.43 ^d	0.158
	24	17.61 ^c	11.63 ^a	11.60 ^a	P<0.0001
	48	16.57 ^d	12.93 ^b	13.89 ^c	
DM	0	73.40 ^g	77.86 ⁱ	76.78 ^h	0.011
	24	66.67 ^d	68.47 ^f	61.98 ^a	P<0.0001
	48	63.13 ^b	65.63 ^c	67.07 ^e	
NDF	0	48.61 ^c	53.93 ^e	63.34 ⁱ	±0.013
	24	46.94 ^b	49.44 ^d	62.66 ^h	P<0.0001
	48	61.11 ^g	35.76 ^a	57.32 ^f	
ADF	0	18.96 ^g	26.26 ⁱ	5.74 ^b	±0.015
	24	23.02 ^h	15.24 ^f	4.84 ^a	P<0.0001
	48	14.98 ^e	11.96 ^d	6.95 ^c	
Cell content	0	51.39 ^c	46.07 ^b	36.66 ^a	0.010
	24	53.06 ^c	50.56 ^b	37.34 ^a	P<0.0001
	48	38.89 ^a	64.24 ^c	42.68 ^b	
Hemicellulose	0	29.65 ^b	27.67 ^a	57.60 ^c	0.020
	24	23.92 ^a	34.20 ^b	57.82 ^c	P<0.0001
	48	46.13 ^b	23.80 ^a	50.37 ^c	

a, b, c, d, e, f, g, h, i Means with different letters showed differences to P < 0.05, according to Duncan (1955)

to that published by Borrás (2015). In addition, there was a marked effect on the wheat bran at 24h, with difference of 16.74 percentage units with respect to the protein of the origin material. For the alfalfa meal and rice meal, these differences were 8.57 and 12.79 percentage units. However, the relation (TP/CP x 100) shows that for this percent of inclusion this indicator is high in the alfalfa meal (61.55 %). It is followed by the wheat bran (55.48 %), and then the rice meal (53.48 %) at 24 h. These results showed that the fermentation indicators (pH and organic acids) favor this relation with increase of the biomass in all cases with respect to the control (8.84 %) of the fermentation with the microbial preparation according Borrás (2017) to previous studies.

Ramos (2006), when using different substrates by SSF with low protein content, as rice meal, corn, sorghum and dehydrated citric pulp and energetic sources, increased the CP values, from 17.5 to 22.9 %, and the TP from 10.6 to 13.3 %. This author stated that this type of food could compete with commercial, when increasing their nutritive value.

Respect to the dry matter, the inclusion of 15 % of plant material favored this indicator in all cases, with significant interaction during the fermentation time

(P < 0.0001), según lo publicado por Borrás (2015). Además, se observó un efecto marcado en el salvado de trigo a las 24 h, con diferencia de 16,74 unidades porcentuales con respecto a la proteína del material de origen. Para la harina de alfalfa y harina de arroz, estas diferencias fueron de 8.57 y 12.79 unidades porcentuales. Sin embargo, la relación (PV/PB x 100) indica que para este por ciento de inclusión es mayor este indicador en la harina de alfalfa (61.55 %). Le sigue el salvado de trigo (55.48 %), y luego la harina de arroz (53.48 %) a las 24 h. Estos resultados señalan que los indicadores de la fermentación (pH y ácidos orgánicos) favorecieron esta relación con incremento de la biomasa en todos los casos con respecto al control (8.84 %) de la fermentación con el preparado microbiano, según estudios previos de Borrás (2017).

Ramos (2006), al emplear diferentes sustratos por FES con bajo contenido de proteína, como harina de arroz, maíz, sorgo, pulpa de cítrico deshidratada y fuentes energéticas, logró incrementar los valores de PB, de 17.5 a 22.9 %, y la PV de 10.6 a 13.3 %. Este autor afirmó que este tipo de alimento pudiera competir con alimentos comerciales, al aumentar su valor nutritivo.

En cuanto a la materia seca, la inclusión de 15 % de los materiales vegetales favoreció este indicador en todos los casos, con interacción significativa durante

($P < 0.0001$), and when showed the drying action of the evaluated materials. At 48h of fermentation, there was decrease of the indicator for the wheat bran and the alfalfa meal, of 10.27 and 12.23 percentage units, with respect to 0h, respectively; while with the rice meal there was a concentration effect. The decrease of the DM it could due to the hydrolysis of the urea contained in the microbial preparation mixture and, possible, in low scale, to the desamination of peptides and amino acids with ammonia production. However, these values were lower. According to Rodríguez (2004), the ammonia could volatilize, depending on the final pH of the process, by the microorganisms in the ecosystem during the metabolic process for the cell synthesis, oxidizing to fatty acids, CO_2 and H_2O .

In the fermented alfalfa meal, the NDF decreased in 18.17 percentage units, while in the rice meal the decrease was 6.02 %. However, in the wheat bran this indicator was concentrated in 12.5 percentage units, probably due to the own material composition. It is possible that the decrease in the fiber, when adding the fibrous material is related with a disintegration effect (Ramos *et al.* 2007), and the microorganisms used in the microbial preparation, produced concentrations of lactic acid and other acids that acts in the fiber. A similar effect was found for the ADF, where there was decrease with the inclusion of wheat bran (3.98 %) and alfalfa meal (14.3 %), not in the same way for the rice meal. For the indicators cell content and hemicelluloses, there were variations according to the fibrous material and the time, without a precise performance.

Table 4 shows the effect of the inclusion of 15 % of the fibrous plant material on the microbial concentrations during the solid fermentation of post-harvested wastes of *S. tuberosum*, inoculated with the microbial preparation. In the samples analysis there was not potential pathogens (Salmonella and Clostridium), or coliforms, and there was growth of yeasts and lactic bacteria. These lats show a very important growth at 48h, one hundred times more in alfalfa meal and wheat bran, in contrast to rice meal. This showed the effectiveness of the used inoculum, and the plant material used limited a little their growth. This result coincides with those found in the evaluated chemical indicators.

In the SSF dynamic of the post-harvested wastes of *S. tuberosum*, inoculated with the microbial preparation, the inclusion of 25 % of the different fibrous materials showed interaction between the evaluated indicators and the fermentation time ($P < 0.0001$) (tables 5, 6 and 7).

The fermentative indicators pH, concentration of NH_3 and organic acids (table 5) had a similar performance to those observed with the inclusion of 15 % of the fibrous material, except for the lactic acid. This indicator increased with the time, and was high

el tiempo de fermentación ($P < 0.0001$), y al mostrar la acción secante de los materiales evaluados. A las 48 h de fermentación, hubo disminución del indicador para el salvado de trigo y la harina de alfalfa, de 10.27 y 12.23 unidades porcentuales, con respecto a las 0 h, respectivamente; mientras que con harina de arroz se observó un efecto de concentración. La disminución de la MS se pudo deber a la hidrólisis de la urea contenida en la mezcla del preparado microbial y, posiblemente, en menor escala, a la desaminación de péptidos y aminoácidos con la producción de amoníaco. Sin embargo, estos valores fueron bajos. Según Rodríguez (2004), el amoníaco se pudiera volatilizar, en dependencia del pH final del proceso, por parte de los microorganismos presentes en el ecosistema durante el proceso metabólico para la síntesis celular, oxidándolos a ácidos grasos, CO_2 y H_2O .

En la harina de alfalfa fermentada, la FDN disminuyó en 18.17 unidades porcentuales, mientras que en la harina de arroz la reducción fue de 6.02 %. Sin embargo, en el salvado de trigo este indicador se concentró en 12.5 unidades porcentuales, probablemente debido a la composición propia del material. Es posible que la disminución en la fibra, al adicionar el material fibroso esté relacionada con un efecto de disgregación (Ramos *et al.* 2007), y que los microorganismos utilizados en el preparado microbiano, producen concentraciones de ácido láctico y otros ácidos que actúan en la fibra. Un efecto similar se encontró para la FAD, donde hubo reducción con la inclusión de salvado de trigo (3.98 %) y harina de alfalfa (14.3 %), no siendo así para la harina de arroz. Para los indicadores contenido celular y hemicelulosa, se encontraron variaciones según los materiales fibrosos y el tiempo, sin un comportamiento preciso.

En la tabla 4 se muestra el efecto de inclusión de 15 % del material vegetal fibroso en las concentraciones microbianas durante la fermentación sólida de residuos poscosecha de *S. tuberosum*, inoculados con el preparado microbiano. En el análisis de las muestras no se encontraron patógenos potenciales (Salmonella y Clostridium), ni coliformes, y sí hubo crecimiento de levaduras y bacterias lácticas. Estas últimas muestran un crecimiento muy importante a las 48 h, cien veces más en harina de alfalfa y salvado de trigo, a diferencia de la harina de arroz. Esto demuestra la eficacia del inóculo utilizado, y que los materiales vegetales usados limitaron muy poco su crecimiento. Este resultado coincide con lo hallado en los indicadores químicos evaluados.

En la dinámica de FES de los residuos poscosecha de *S. tuberosum*, inoculados con el preparado microbiano, la inclusión de 25 % de los distintos materiales fibrosos mostró interacción entre los indicadores evaluados y el tiempo de fermentación ($P < 0.0001$) (tablas 5, 6 y 7).

Los indicadores fermentativos pH, concentración de NH_3 y ácidos orgánicos (tabla 5) tuvieron un comportamiento similar al observado con la inclusión de 15 % de los materiales fibrosos, excepto para el ácido láctico. Este indicador se incrementó con el tiempo, y fue

Table 4. Microbiological analysis of the fermentation of post-harvested wastes of *S. tuberosum* with microbial preparation and inclusion of 15 % of fibrous material

Indicator log UFC/mL (UFC/mL)	Incubation time	Fibrous plant material (15 %)			SE± sign
		Wheat bran	Alfalfa meal	Rice meal	
Aerobic mesophilic	0	5.12 ^c (1.3x10 ⁵)	5.07 ^b (1.2x10 ⁵)	5.22 ^d (1.7x10 ⁵)	0.02 P<0.0001
	24	7.99 ^g (9.7x10 ⁷)	7.65 ^f (4.4x10 ⁷)	5.01 ^a (1.0x10 ⁵)	
	48	8.06 ^h (1.0x10 ⁸)	7.67 ^f (4.7x10 ⁷)	6.97 ^e (9.3x10 ⁶)	
Yeasts	0	4.44 ^e (2.7x10 ⁴)	4.04 ^{cd} (1.1x10 ⁴)	3.98 ^c (1.0x10 ³)	0.02 P<0.0001
	24	3.78 ^b (6.0x10 ³)	4.06 ^d (1.2x10 ⁴)	3.78 ^b (6.0x10 ³)	
	48	3.48 ^a (3.0x10 ³)	5.56 ^f (3.6x10 ⁵)	5.81 ^g (6.5x10 ⁵)	
Lactic Acid bacteria	0	5.70 ^c (5.0x10 ⁵)	5.04 ^a (1.0x10 ⁵)	5.31 ^b (2.0x10 ⁵)	0.01 P<0.0001
	24	7.41 ^f (2.6x10 ⁷)	7.05 ^e (1.1x10 ⁷)	5.30 ^b (2.0x10 ⁵)	
	48	7.99 ^h (9.9x10 ⁷)	7.48 ^f (3.0x10 ⁷)	6.59 ^d (3.9x10 ⁶)	

a, b, c, d, e, f, g, h, i, j, k Means with different letters show differences to $P < 0.05$, according to Duncan (1955)

Data were transformed according to $\log_{10}(X)$ because they do not follow a normal distribution
() Mean of the colony forming units per milliliters (UFC•mL⁻¹)

Table 5. Effect of the inclusion of 25% of the fibrous plant material in the pH, NH₃ and lactic acid in the solid fermentation of post-harvested wastes of *S. tuberosum*, inoculated with microbial preparation

Indicators	Time (h)	Fibrous plant material (25%)			SE ± Sign
		Wheat bran	Alfalfa meal	Rice meal	
pH	0	6.85 ^h	6.33 ^f	6.63 ^g	0.045 P<0.0001
	24	6.12 ^e	6.30 ^f	5.87 ^d	
	48	4.91 ^a	5.22 ^b	5.63 ^c	
NH ₃ meq.L ⁻¹	0	2.96 ^a	3.74 ^c	3.05 ^b	0.003 P<0.0001
	24	4.57 ^d	6.34 ^h	5.14 ^e	
	48	5.59 ^f	6.73 ⁱ	5.81 ^g	
Lactic acid mmol.L ⁻¹	0	0.002 ^a	0.002 ^a	0.002 ^a	0.003 P<0.0001
	24	0.002 ^a	0.002 ^a	0.002 ^a	
	48	10.02 ^a	11.01 ^c	9.13 ^b	

a, b, c, d, e, f, g, h, i Means with different letters show differences to $P < 0.05$, according to Duncan (1955)

when alfalfa meal was used (11.01 mmol/L).

Table 6 shows that the inclusion of 25 % of the fibrous plant materials favors the fermentative process with wheat bran and rice meal, in accordance with the CP values. However, in all cases there was TP decrease in the time, probably due to the dilution effect of the plant fibrous inclusion, and to a proteolytic and desaminative activity produced by the microorganisms that were established during SSF process. At the same time, this is shown in the increase of ammonia concentration (table 5), even with low values, as well as in the case of the

mayor cuando se utilizó harina de alfalfa (11.01 mmol/L).

En la tabla 6 se muestra que la inclusión de 25 % de los materiales vegetales fibrosos favorece el proceso fermentativo con salvado de trigo y harina de arroz, de acuerdo con los valores de PB. Sin embargo, en todos los casos hubo disminución de la PV en el tiempo, probablemente debido al efecto dilutivo de la inclusión de la fibra vegetal, y a una actividad proteolítica y desaminativa producida por los microorganismos que se establecieron durante el proceso de FES. A su vez, esto se refleja en el aumento de la concentración de amoníaco

Table 6. Effect of the inclusion of 25 % of the fibrous plant material on the performance of chemical indicators during the solid fermentation of the post-harvested wastes of *S. tuberosum*, inoculated with the microbial preparation.

Indicators, %	Time, h	Fibrous plant material (25 %)			SE ± Sign.
		Wheat bran	Alfalfa meal	Rice meal	
CP	0	27.24 ^e	22.73 ^a	24.57 ^c	0.296
	24	26.42 ^{de}	23.51 ^{ab}	24.36 ^{bc}	P<0.0001
	48	29.97 ^f	23.18 ^a	25.79 ^d	
TP	0	20.37 ^f	16.32 ^d	17.29 ^e	0.152
	24	16.65 ^d	14.47 ^b	14.42 ^b	P<0.0001
	48	17.38 ^e	15.73 ^c	13.81 ^a	
DM	0	82.60 ⁱ	80.86 ^h	79.28 ^g	0.012
	24	69.96 ^d	70.70 ^e	64.61 ^b	P<0.0001
	48	65.38 ^c	75.80 ^f	62.52 ^a	
NDF	0	62.71 ⁱ	59.61 ^g	53.98 ^e	0.013
	24	52.63 ^d	58.42 ^f	50.54 ^c	P<0.0001
	48	50.34 ^b	50.16 ^a	62.40 ^h	
ADF	0	16.13 ^e	41.89 ⁱ	8.91 ^c	0.014
	24	16.96 ^f	25.97 ^h	8.33 ^b	P<0.0001
	48	10.13 ^d	23.44 ^g	7.46 ^a	
Cell content	0	37.29 ^a	40.39 ^b	46.02 ^c	0.010
	24	47.37 ^b	41.58 ^a	49.46 ^c	P<0.0001
	48	49.84 ^c	49.66 ^b	37.60 ^a	
Hemicellulose	0	46.58 ^c	17.72 ^a	45.07 ^b	0.020.
	24	26.66 ^a	41.46 ^b	42.21 ^c	P<0.0001
	48	40.21 ^b	26.72 ^a	54.94 ^c	

produced lactic acid.

The relation true protein with respect to crude protein, at 48h, is high for the alfalfa meal (67.86 %) and the wheat bran (57.99 %) and, in low amount, for the rice meal (53.54 %). However, in the characteristics of the final fermentation with alfalfa meal there was high consistency, which is expressed in the dry matter (75.80 %), besides the pleasant odor and of other organoleptic characteristics that there were not in the rest and there were only qualitatively recorded.

Nkosi *et al.* (2015) evaluated the quality of a silage made with potato wastes, and inoculated with LAB, that was supplied to male sheep fed with alfalfa hay. These authors observed increase in protein, fiber decrease and increase in the animals digestibility. In addition, the drying material used improves the dry matter content of the silage. This performance is similar to those occurred in this study with the incorporation of the different raw matters, which acts as drying materials in the food, and considerably improves the DM content at 48h.

In this study, at 48h, there were differences in the DM of 17.22, 5.06 and 16.76 percentage units in wheat bran, alfalfa meal and rice meal, respectively, with relation to the fermentation beginning. This shows that the wheat bran and rice meal have higher involvement in the

(tabla 5), aún con valores bajos, así como en el caso del ácido láctico producido.

La relación proteína verdadera con respecto a la proteína bruta, a las 48 h, es alta para la harina de alfalfa (67.86 %) y el salvado de trigo (57.99 %) y, en menor cuantía, para la harina de arroz (53.54 %). Sin embargo, en las características de la fermentación final con harina de alfalfa hubo mayor consistencia, lo que se expresa en la materia seca (75.80 %), además del olor agradable y de otras características organolépticas que no se presentaron en el resto, y solo se registraron cualitativamente.

Nkosi *et al.* (2015) evaluaron la calidad de un ensilaje elaborado con desechos de papa, e inoculados con BAL, que se suministró a carneros alimentados con heno de alfalfa. Estos autores observaron aumento de la cantidad de proteína, reducción de la fibra y aumento de la digestibilidad en los animales. Además, el material secante utilizado mejoró el contenido de materia seca del ensilaje. Este comportamiento es similar a lo ocurrido en el presente trabajo con la incorporación de las diferentes materias primas, que actuaron como materiales secantes dentro del alimento, y mejoraron sensiblemente el contenido de la MS a las 48 h.

En este estudio, a las 48 h, se encontraron diferencias en la MS de 17.22, 5.06 y 16.76 unidades porcentuales en salvado de trigo, harina de alfalfa y salvado de

proteolysis and desamination process by the microbiota present in the fiber and the one that is added with the microbial preparation. In the alfalfa meal, this effect is lower with higher consistency, due to the high relation found of crude protein and true protein.

The previous explained could be associated to those expressed in many studies, where it refers that in the SSF processes the nutritional quality (Zhou *et al.* 2019 and Van *et al.* 2019) varies according to the post-harvested wastes used. This could be related with the potato crop technologies, soil (Motalebifard *et al.* 2013) and climate (Ngobese *et al.* 2017), among others.

The performance of the cell content and hemicellulose was similar to those observed with the inclusion of 15% of the fibrous materials. However, the NDF performance was different. In this moment, decrease for the wheat bran and the alfalfa meal, while it was focused with rice meal. The ADF, comparing with the initial values, showed marked decrease, but this effect was lower in the rice meal. This coincides with Ramos (2006) and Elías and Herrera (2008) studies, when using corn meal, sweet potato tubers and cassava tubers, as disgregators elements, with those who achieved decrease until 10 % of the fibrous component.

Table 7 shows the microbiological analysis of foods with inclusion of 25 % of fibrous material. There was not pathogens microorganisms and, the same with 15%, there was important increase of the LAB, especially when the alfalfa meal was used as drying material, which shows superior conditions when improves the humidity content in the food. This performance

arroz, respectivamente, en relación con el inicio de la fermentación. Esto indica que en salvado de trigo y harina de arroz tienen mayor implicación en los procesos de proteólisis y desaminación por la microbiota presente en la fibra y la que se adiciona con el preparado microbiano. En la harina de alfalfa, este efecto es menor con mayor consistencia, debido a la alta relación de proteína bruta y verdadera encontrada.

Lo antes expuesto pudiera estar asociado a lo planteado en numerosos estudios, donde se refiere que en los procesos de FES la calidad nutricional (Zhou *et al.* 2019 y Van *et al.* 2019) varía según los desechos poscosecha utilizados. Esto puede estar relacionado con las tecnologías de cultivo de la papa, suelo (Motalebifard *et al.* 2013) y clima (Ngobese *et al.* 2017), entre otros.

El comportamiento del contenido celular y de la hemicelulosa fue similar a lo observado con la inclusión de 15 % de los materiales fibrosos. En cambio, el comportamiento de la FDN fue diferente. En esta ocasión, disminuyó para el salvado de trigo y la harina de alfalfa, mientras que se concentró con harina de arroz. La FDA, en comparación con los valores iniciales, mostró descenso marcado, pero este efecto fue menor en la harina de arroz. Esto coincide con los trabajos de Ramos (2006) y Elías y Herrera (2008), al utilizar harina de maíz, tubérculo de boniato y yuca, como elementos disgregadores, con los que lograron reducción de hasta 50 % del componente fibroso.

En la tabla 7 se muestra el análisis microbiológico de los alimentos con inclusión del 25 % de material fibroso. No hubo presencia de microorganismos patógenos y, al igual que con 15 %, se observó incremento importante

Table 7 Microbiological analysis of the fermentation of post-harvested wastes of *S. tuberosum* with the microbial preparation and inclusion of 25% of fibrous material

Microorganism Log 10 UFC/mL (UFC/mL)	Time, h	Fibrous plant material 25 %			SE ± Sign.
		Wheat bran	Alfalfa meal	Rice meal	
Aerobic mesophilic	0	4.96 ^a (9.0x10 ⁴)	5.17 ^c (1.4x10 ⁵)	5.11 ^b (1.3x10 ⁵)	0.020 P<0.0001
	24	5.00 ^a (1.0x10 ⁵)	7.92 ^g (8.3x10 ⁷)	7.79 ^f (6.2x10 ⁷)	
	48	7.25 ^e (1.8x10 ⁷)	7.95 ^g (8.9x10 ⁷)	6.91 ^d (8.2x10 ⁶)	
Yeasts	0	4.27 ^c (1.9x10 ⁴)	3.90 ^c (8.0x10 ³)	3.60 ^b (4.0x10 ³)	0.020 P<0.0001
	24	3.99 ^d (9.9x10 ³)	4.29 ^e (2.0x10 ⁴)	1.98 ^a (1.0x10 ²)	
	48	5.60 ^g (4.0x10 ⁵)	5.68 ^h (4.8x10 ⁵)	5.37 ^f (2.4x10 ⁵)	
LAB	0	5.31 ^c (2.0x10 ⁵)	5.00 ^a (1.0x10 ⁵)	5.26 ^c (1.9x10 ⁵)	0.020 P<0.0001
	24	5.15 ^b (1.4x10 ⁵)	7.57 ^g (3.7x10 ⁷)	6.71 ^d (5.2x10 ⁶)	
	48	6.90 ^f (8.0x10 ⁶)	7.88 ^h (7.7x10 ⁷)	6.85 ^e (7.1x10 ⁶)	

Means with a common letter are not significant different (P < 0.05)

*Data were transformed according to log₁₀ (X) because they do not follow a normal distribution () means of the colony forming units per milliliters (cfu•mL⁻¹)

was showed in the other indicators. Thomas *et al.* (2013) showed the importance of inoculated with LAB in the elaboration of potato silage. These authors could improve the fermentative indicators and the characteristics of the final food for animal feeding, especially in ruminants.

The LAB could control the initial period of the fermentation, with the elimination of enterobacteria, clostridia and other microorganisms, with the consequent decrease of the proteolysis and dry matter loss in the fermentation with the excretion of exopolysaccharides. In the active fermentation period could expected a faster action, and lower values that could preserve the protein during the silage, and to contribute to the food digestibility (Muck *et al.* 2018). In this sense the aspects of more importance are the adequate selection of the strain or mixtures of them (Pardo and Ferrer 2019), the culture medium and the fermentative conditions that allow to obtain high viability level during the process (FAO 2016).

By the previous reasons, the maintaining of the stability and cell viability during the whole process is of great importance for the successful production of biopreparations, when fibrous materials that contributes to the odor, taste, texture and nutritional value of fermented food are mixed.

The results allowed to conclude that the inclusion of fibrous materials in the solid-state fermentation of post harvested wastes of *S. tuberosum*, inoculated with a microbial preparation, have positive effect on their chemical and microbiological composition. It is recommended, by the quality indicators of the final product, the use of 25 % OF alfalfa meal, fermented at 20 °C, during 48h.

de las BAL, especialmente cuando se utilizó la harina de alfalfa como material secante, lo que demuestra condiciones superiores al mejorar el contenido de humedad en el alimento. Este comportamiento se replicó en los demás indicadores. Thomas *et al.* (2013) mostraron la importancia de inocular con BAL en la elaboración del ensilaje de papa. Estos autores lograron mejorar los indicadores fermentativos y las características del alimento final para la alimentación animal, especialmente en rumiantes.

Las BAL pudieran controlar el período inicial de la fermentación, con la supresión de enterobacterias, clostridias y otros microorganismos, con la consiguiente reducción de la proteólisis y la pérdida de materia seca en la fermentación con la excreción de exopolisacáridos. En el período de fermentación activa se pudiera esperar una acción más rápida, y valores más bajos podrían preservar la proteína durante el ensilaje, y contribuir a la digestibilidad del alimento (Muck *et al.* 2018). En este sentido, los aspectos de mayor importancia son la selección adecuada de la cepa o mezclas de estas (Pardo y Ferrer 2019), el medio de cultivo y las condiciones fermentativas que permitan obtener alto nivel de viabilidad durante el proceso (FAO 2016).

Por las razones anteriores, el mantenimiento de la estabilidad y viabilidad celular durante todo el proceso es de gran importancia para la producción exitosa de biopreparados, cuando se mezclan materiales fibrosos que contribuyen al aroma, sabor, textura y valor nutricional de alimentos fermentados.

Los resultados permiten concluir que la inclusión de materiales fibrosos en la fermentación en estado sólido de residuos poscosecha de *S. tuberosum*, inoculados con un preparado microbiano, tiene efecto positivo en su composición química y microbiológica. Se recomienda, por los indicadores de calidad del producto final, la utilización de 25 % de la harina de alfalfa, fermentado a 20 °C, durante 48 h.

References

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2005. Official Methods of Analysis 18th Ed. Ed. Association of Officiating Analytical Chemists. Washington D.C., U.S.A, ISBN: 978-093-5584-752.
- Aranda, E., Georgana, L., Ramos, J. & Salgado, S. 2012. "Elaboration of a feed based on the solid state fermentation of sugarcane and with different levels of zeolites". Cuban Journal of Agricultural Science, 46(2): 159-163, ISSN: 2079-3480.
- Bajagai, Y.S., Klieve, A.V., Dart, P.J. & Bryden, W.L. 2016. Probiotics in animal nutrition – Production, impact and regulation. Makkar, H.P.S (ed.). FAO Animal Production and Health Paper No. 179, Rome, Italy, ISBN: 978-92-5-109333-7.
- Bartova, V., Jan-Barta, J., Brabcova, A., Zdrahal, Z. & Horackova, V. 2015. "Amino acid composition and nutritional value of four cultivated South American potato species". Journal of Food Composition and Analysis, 40: 78–85, ISSN: 0889-1575, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.12.006>.
- Bintsis, T. 2018. "Lactic acid bacteria as starter cultures: An update in their metabolism and genetics". AIMS Microbiology, 4(4): 665–684, ISSN: 2471-1888, DOI: <https://doi.org/10.3934/microbiol.2018.4.665>.
- Borras, L.M. 2017. Obtención de un alimento por fermentación en estado sólido de residuos de poscosecha de *Solanum tuberosum* para la suplementación de rumiantes. PhD Thesis. Instituto de Ciencia Animal, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, p. 100.
- Borrás, L., Valiño, E.C., Elías, A., Martínez, J.J., Sanabria, A.M. & Becerra, M.L. 2020. "Inclusión de carbonato de calcio (CaCO₃) en la fermentación en estado sólido de residuos de poscosecha de *Solanum tuberosum* con un preparado microbial". Cuban Journal of Agricultural Science, 54 (4):535-545, ISSN: 2079-3480.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., González, L., Tablada, M. & Robledo, C.W. 2012. InfoStat version 2012 [Windows]. Grupo InfoStat, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Available: <http://www.infostat.com.ar>.
- Díaz, B., Elías, A. & Valiño E. 2014. "Consorcios microbianos con actividad ácido-láctica promisorios aislados desde inoculantes bacterianos nativos para ensilajes". Revista Ciencia y Agricultura, 11(1): 17-25, ISSN: 0122-8420, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.12.006>.

- org/10.19053/01228420.3484.
- Dinkci, N., Akalin, A., Gonc, S. & Una, L. G. 2007. "Isocratic Reverse-Phase HPLC for Determination of Organic Acids in Kargı Tulum Cheese". *Chromatographia*, 66: 45-49, ISSN: 1612-1112, DOI: <https://doi.org/10.1365/s10337-007-0234-6>.
- Duncan, D.B. 1955. "Multiple Range and Multiple F Tests". *Biometrics*, 11(1): 1-42, ISSN: 0006-341X, DOI: <https://doi.org/10.2307/3001478>.
- Elías, A. & Herrera, F.R. 2008. Producción de alimentos para animales a través de procesos biotecnológicos sencillos con el empleo de microorganismos beneficiosos activados (MEBA). Instituto de Ciencia Animal, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, p. 8-13.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) 2015. Situación de la lechería en América Latina y el Caribe en el 2011. Boletín, FAO Animal Production and Health. FEPALE 6-9.
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2016. Probiotics in animal nutrition. Production, impact and regulation by Yadav S. Bajagai, Athol V. Klieve, Peter J. Dart and Wayne L. Bryden. Editor Harinder P.S. Makkar. FAO Animal Production and Health Paper No. 179. Rome.
- Martínez, F., Balciunas, E., Salgado, J., González, J., Converti, A. & Oliveira, R. 2003. "Lactic acid properties, applications and production: A review". *Trends in Food Science & Technology*, 30(1): 70–83, ISSN: 0924-2244, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.11.007>.
- Motalebifard, R., Najafi, N., Oustan, S., Nyshabouri, M. & Valizadeh, M. 2013. "The combined effects of phosphorus and zinc on evapotranspiration, leaf water potential, water use efficiency and tuber attributes of potato under water deficit conditions". *Scientia Horticulturae*, 162: 31–38, ISSN: 0304-4238, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.07.043>.
- Muck, R.E., Nadeau, E.M.G., McAllister, T.A., Contreras-Govea, F.E., Santos, M.C. & Kung, L. 2018. "Silage review: Recent advances and future uses of silage additives". *Journal of Dairy Science*, 101(5): 3980–4000, ISSN: 0022-0302, DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13839>.
- Ngobese, N.Z., Workneh, T.S., Alimi, B.A. & Tesfay, S. 2017. "Nutrient composition and starch characteristics of eight European potato cultivars cultivated in South Africa". *Journal of Food Composition and Analysis*, 55: 1–11, ISSN: 0889-1575, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.11.002>.
- Nkosi, B., Meeske, R., Langaa, T., Motianga, M., Mutavhatsindia, T., Thomasa, R., Groenewald, I. & Baloyid, J. 2015. "The influence of ensiling potato hash waste with enzyme/bacterial inoculant mixtures on the fermentation characteristics, aerobic stability and nutrient digestion of their resultant silages by rams". *Small Ruminant Research*, 127: 28–35, ISSN: 0921-4488, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2015.04.013>.
- Okubo, M., Sato, K., Matsuda, S., Masuko, T. & Souma, K. 2018. "Data on chemical compositions and fermentation quality of silages made from low-market value vegetables supplemented with potato protein concentrate a byproduct of starch production". *Data in Brief*, 21: 11829–1832, ISSN: 2352-3409, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.11.043>.
- Pardo, I. & Ferrer, S. 2019. Chapter 7 - Yeast-Bacteria Coinoculation. In: *Red Wine Technology*. Morata, A, (ed.). 1st Ed. Ed. Academic Press. Madrid, Spain, p. 99-114, ISBN: 978-0-12-814399-5, DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814399-5.00007-4>.
- Pejin, J., Radosavljevic, M., Mojović, L., Kocić-Tanackov, S. & Djukić-Voković, A. 2015. "The influence of calcium-carbonate and yeast extract addition on lactic acid fermentation of brewer's spent grain hydrolysate". *Food Research International*, 73: 31-37, ISSN: 0963-9969, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.12.023>.
- Ramos, J., Elías, A., Herrera, F., Aranda, E. & Mendoza, G. 2007. "Processes for the production of an energetic-proteinic animal feed. Effect of final molasses levels on the solid-state fermentation of Saccha-sorghum and Saccha-polishing". *Cuban Journal of Agricultural Science*, 41(2): 131-135, ISSN: 2079-3480.
- Rodríguez, Z. 2004. Uso del boniato (*Ipomea batata* Lam.) en la tecnología de fermentación en estado sólido de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*). PhD Thesis. Instituto de Ciencia Animal, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, p.100.
- Thomas, R., Nkosi, D., Umesiobi, O., Meeske, R., Kanengoni, T. & Langa, T. 2013. "Evaluation of potato hash two silage inoculants bacteria and their effects on the growth of fattening pigs". *South African Journal of Animal Science*, 40(5): 488-490, ISSN: 2221-4062.
- Van, D.J., Hanzalovaa, K., Allah, M.S., Abela, C., Seiberta, T., Giavaliscob, P. & Wahla, V. 2019. "Limited nitrogen availability has cultivar-dependent effects on potato tuber yield and tuber quality traits". *Food Chemistry*, 288: 170–177, ISSN: 0308-8146, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.02.113>.
- Van Soest, P.J., Robertson, J.B. & Lewis, B.A. 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, DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(91\)78551-2](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(91)78551-2).
- Zhang, J. & Wang, Q. 2013. "Buffering and nutrient effects of white mud from ammonia soda process on thermophilic hydrogen fermentation from food waste". *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(31): 13564-13571, ISSN: 0360-3199, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.08.047>.
- Zhou, L., Mu, T., Ma, M., Zhang, M., Sun, Q. & Xu, Y. 2019. "Nutritional evaluation of different cultivars of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) from China by grey relational analysis (GRA) and its application in potato steamed bread making". *Journal of Integrative Agriculture*, 18(1): 231–245, ISSN: 2095-3119, DOI: [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)62137-9](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)62137-9).