

## Silage of agricultural by-products for pigs feeding. Bibliography review

### Ensilaje de subproductos agrícolas para la alimentación porcina. Revisión bibliográfica

W. Caicedo<sup>1,2\*</sup>, María Vanessa Ruiz<sup>1</sup>, Jissela Estefanía Quilligana<sup>1</sup> and S. Aguiar<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias de la Tierra, Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Pastaza, Ecuador

<sup>2</sup>Granja Agropecuaria Caicedo, Puyo, Pastaza, Ecuador

\*Email: orlando.caicedo@yahoo.es

W. Caicedo: <https://orcid.org/0000-0002-2890-3274>

María Vanessa Ruiz: <https://orcid.org/0000-0002-3596-3603>

Jissela Estefanía Quilligana: <https://orcid.org/0000-0002-3901-3066>

S. Aguiar: <https://orcid.org/0000-0002-2961-6963>

The silages of agricultural wastes constitute a novel technique for the use of these resources for a long time. The silage process is carried out through a controlled fermentation, which guarantees a food of optimum nutritional quality, able to reduce imports of conventional raw matters and minimize the costs of pigs feeding. The beneficial microorganisms developed in this medium help to improve the chemical, microbiological and sensorial characteristics of the fermented raw matter. The pigs which intake fermented by-products have better intestinal health due to the competitive exclusion process of the beneficial microorganisms, with the consistent increase of dry matter intake, weight gain, feed conversion, final weight and carcass quality. For this reason, in the developing countries the technique of the agricultural wastes silage is implemented and are evaluated the chemical characteristics of this food and their effect on microbiological, blood, productive and reproductive indicators of pigs. The objective of this review was to assess the results of the use of agricultural by-products in pigs feeding. Results of the chemical components of the silage, digestibility and productive indicators are showed in pigs from post-weaning, growing and fattening categories.

**Key words:** *alternative food, pigs, fermentation, efficient microorganisms, agricultural resources*

#### INTRODUCTION

The pig requires that the diets use in their feeding were strictly balanced in nutrients for obtaining an optimum developing in these animals. In fact, the food is the most important supply which allows measuring the profitability of the production system: the conversion in meat depends on the type and food quality (Atsbeha *et al.* 2020).

The pig feeding represents between 70 and 80 % of the changeable costs in a production (Lezcano *et al.* 2015). The nutrition of breeds and improvements lines of pigs is mainly supported in the use of concentrate foods, based on soybean and cereals. The fast growing of population, the climatic conditions and the production of biofuel and, more recently, the appearance of new

Los ensilados de residuos agrícolas constituyen una técnica novedosa para el aprovechamiento de estos recursos durante un tiempo prolongado. El proceso de ensilado se realiza mediante la fermentación controlada, que garantiza un alimento de óptima calidad nutricional, capaz de reducir importaciones de materias primas convencionales y minimizar los costos de alimentación de los cerdos. Los microorganismos benéficos desarrollados en este medio ayudan a mejorar las características químicas, microbiológicas y sensoriales de la materia prima fermentada. Los cerdos que se alimentan con subproductos fermentados presentan mejor salud intestinal, debido a los procesos de exclusión competitiva de los microorganismos benéficos, con el consecuente aumento del consumo de materia seca, ganancia de peso, conversión alimentaria, peso final, y calidad de la canal. Por esta razón, en los países en vías de desarrollo se implementa la técnica del ensilado de residuos agrícolas y se evalúan las características químicas de este alimento y su efecto en indicadores microbiológicos, sanguíneos, productivos y reproductivos de cerdos. Esta reseña tiene como objetivo valorar los resultados del uso del ensilaje de subproductos agrícolas en la alimentación porcina. Se muestran resultados de los componentes químicos del ensilado, digestibilidad e indicadores productivos en cerdos de las categorías posdestete, crecimiento y ceba.

**Palabras clave:** *alimento alternativo, cerdos, fermentación, microorganismos eficientes, recursos agrícolas*

#### INTRODUCCIÓN

El cerdo requiere que las dietas que se utilizan en su alimentación estén estrictamente balanceadas en nutrientes para poder obtener un óptimo desarrollo en estos animales. De hecho, el alimento es el insumo de mayor importancia que permite medir la rentabilidad del sistema de producción: la conversión en carne depende del tipo y calidad del alimento (Atsbeha *et al.* 2020).

La alimentación del cerdo representa entre 70 y 80 % de los costos variables en una explotación (Lezcano *et al.* 2015). La nutrición de las razas y líneas mejoradas de ganado porcino se sustenta mayoritariamente en el uso de alimentos balanceados, basados en soya y cereales. El rápido crecimiento de la población, las condiciones climáticas y la producción de biocombustibles y, más

diseases as COVID-19 had caused that the conventional raw matters increased their price in the world (Caicedo *et al.* 2021).

The use of alternative foods for pigs has market at present, with the purpose of reducing the maintenance cost of these animals (Castro y Martínez 2015 and Lezcano *et al.* 2017). The agricultural wastes are considered an economic source of nutrients for pigs. However, for their efficient use in the animals' diet they should be processed, due to in natural state have secondary metabolites which can affect the availability and use of nutrients.

For the use of these agricultural resources for a long time it can resort to the fermentation technique, knew as silage with agricultural resources (Lezcano *et al.* 2017). The production of silage with local resources, as taro, sweet potato, banana, sugar cane, cassava, "chontaduro", potato and carrot, among others, is a good option for pigs feeding (Lezcano *et al.* 2017).

The importance of fermentation has been researched from thousands of years. At present, this biotechnological process has been taken to a great scale because their significant interest in the food industry for humans and animals, in the pharmaceutical and biochemical industry, among others (Bhargay *et al.* 2008, Borrás and Torres 2016 and Soccol *et al.* 2017).

The literature reports that through fermentation the growth of enzyme producer microorganisms and unicellular protein (UCP) can guarantee (Nasseri *et al.* 2011 AND Borrás *et al.* 2017). In some researchers has been showed that the lactic acid bacteria (LAB) developed in this medium allows the phenolic compounds release, which generates antioxidant activity and, in consequence improves the animal's health (Caicedo *et al.* 2020a).

For the previous mentioned, the objective of this study was to assess the results of the use of agricultural by-product silage in the different pig categories.

### **SOLID STATE FERMENTATION (SSF)**

The solid state fermentation consists on the development of microorganisms with the capacity of absorbing or maintaining the water in the substrate with the presence or absence of soluble nutrients, however, is important that the microorganisms were in mediums with diffusing nutrients in the semisolid interface (Borrás-Sandoval *et al.* 2017 and Sath *et al.* 2018). The SSF is an aerobic process in which live pure or mixed microorganisms in a substrate rich in nitrogen for the formation of enzymes, organic acids and microbial protein, under conditions of temperature, pH and humidity, however, there is not free water. The SSF is a protein and energetic source of low economic value with respect to the balanced foods (Borrás and Torres 2016).

### **LIQUID STATE FERMENTATION (LSF)**

In the liquid state fermentation (LSF) or submerged,

recientemente, la aparición de nuevas enfermedades como la COVID-19 han provocado que en el mundo las materias primas convencionales incrementen su precio (Caicedo *et al.* 2021).

El uso de alimentos alternativos destinados a cerdos gana espacio en la actualidad, con el propósito de reducir el costo de la manutención de estos animales (Castro y Martínez 2015 y Lezcano *et al.* 2017). Los residuos agrícolas se consideran una fuente económica de nutrientes para los cerdos. No obstante, para su uso eficiente en la dieta de los animales se deben procesar, debido a que en estado natural contienen metabolitos secundarios que pueden afectar la disponibilidad y el aprovechamiento de los nutrientes.

Para la utilización de estos recursos agrícolas por tiempo prolongado se puede recurrir a la técnica de fermentación, conocida como ensilado con recursos agrícolas (Lezcano *et al.* 2017). La producción de ensilado con recursos locales, como el taro, el camote, el banano, la caña de azúcar, la yuca, el chontaduro, la papa y la zanahoria, entre otros, es una buena opción para la alimentación de los cerdos (Lezcano *et al.* 2017).

La importancia de la fermentación se ha documentado desde hace miles de años. En la actualidad, este proceso biotecnológico se ha llevado a gran escala por su interés significativo en la industria de alimentos para humanos y animales, en la farmacéutica y bioquímica, entre otras (Bhargay *et al.* 2008, Borrás y Torres 2016 y Soccol *et al.* 2017).

La literatura informa que mediante la fermentación se puede garantizar el crecimiento de microorganismos productores de enzimas y de proteína unicelular (PUC) (Nasseri *et al.* 2011 y Borrás *et al.* 2017). En varias investigaciones se ha demostrado que las bacterias ácido lácticas (BAL) desarrolladas en este medio permiten la liberación de compuestos fenólicos, lo que genera actividad antioxidante y, en consecuencia, mejora la salud de los animales (Caicedo *et al.* 2020a).

Por lo antes expuesto, el objetivo de este trabajo fue valorar los resultados del uso del ensilaje de subproductos agrícolas en las diferentes categorías porcinas.

### **FERMENTACIÓN EN ESTADO SÓLIDO (FES)**

La fermentación en estado sólido consiste en el desarrollo de microorganismos con la capacidad de absorber o mantener el agua en el sustrato ya sea con la presencia o ausencia de nutrientes solubles, sin embargo, es importante que los microorganismos se encuentren en medios con nutrientes difusibles en la interface semisólida (Borrás-Sandoval *et al.* 2017 y Sath *et al.* 2018). La FES es un proceso anaerobio en el que habitan microorganismos puros o mixtos en un sustrato rico en nitrógeno para la formación de enzimas, ácidos orgánicos y proteína microbiana, en condiciones de temperatura, pH y humedad, sin embargo, no hay presencia de agua libre. La FES es una fuente proteica y energética de menor valor económico con respecto a

the substrate is liquefied or lie down in water. It is mainly use in industrial processes due to its high yield, low cost and low contamination (Sadh *et al.* 2018). Sagar (2019) state that the LSF is a biological conversion technique of complex substrates to simples ones, where take part microorganisms (fungi, yeasts and bacteria) that during the fermentative process release additional compounds, named secondary metabolites, as antibiotics, enzymes and growing factors, and also fermentation products as carbon dioxide and alcohol.

The LSF is a biotechnological process in which the agricultural products are used for their processing. It constitutes a feasible alternative for animal feeding which make possible the use of this resource for a long time (Caicedo *et al.* 2019a and Saavedra *et al.* 2020). This biotechnological process allows an appropriate control of the lactic acid, pH and ammoniac to achieve a fermented product with good nutritional, microbiological and organoleptic characteristics, without danger of transmitting diseases to the animals (Wang *et al.* 2016).

#### **PRODUCTS AND BY-PRODUCTS FROM THE AGRO-INDUSTRY FOR OBTAINING INOCULA DESTINED TO SSF AND LSF PRODUCTION OF AGRICULTURAL RECOURSES**

*Natural yogurt.* Is the coagulated product which is obtained by means of the lactic fermentation of milk or by the mixture of dairy products through *Lactobacillus bulgaricus* and *Streptococos themophilus*. It didn't have fruit, sugar and sweetener. Each species of bacteria stimulates the growing of the other one and its metabolism, which give it a creamy texture and a slightly acid taste to the final product. The yogurt constitutes a highly nutritive food, which control the intestinal flora, restore the hepatic functions and is of rapid digestibility (Vera 2011).

*Sugar cane juice and filter cake mud.* The sugar cane juice is obtained from the sugar cane milling. It has high sugars content, depending of the variety, maturity and quality of the sugar cane. The sugar cane juice has soluble solids, as sucrose, glucose and fructose. It also has non sugars compounds, as wax, fats, organic acids, pectin and colorings. The microorganisms that are found during the sugar cane juice fermentation constitute the yeasts *Saccharomyces cerevisiae*, *Cryptococcus laurentii*, *Candida utilis*, *C. guilliermondii* and *Phodotorula mucilaginoso* (Armijos 2016).

The filter cake mud is also a waste from the sugar cane, resulting of the fabrication process of the brown sugar leaf and the natural sugar. It is rich in phosphorus, nitrogen, calcium and organic matter, with minimum amount of potassium (Lagos-Burbano and Castro-Rincón 2019).

*Whey.* It is a by-product which obtained from

los alimentos balanceados (Borras y Torres 2016).

#### **FERMENTACIÓN EN ESTADO LÍQUIDO (FEL)**

En la fermentación en estado líquido (FEL) o sumergida, el sustrato se licua o se dispone en una fuente de agua. Se emplea principalmente en procesos industriales por su alto rendimiento, bajo costo y baja contaminación (Sadh *et al.* 2018). Sagar (2019) manifiesta que la FEL es una técnica de conversión biológica de sustratos compuestos a simples, donde participan microorganismos (hongos, levaduras y bacterias) que durante el proceso fermentativo liberan compuestos adicionales, llamados metabolitos secundarios, como antibióticos, enzimas y factores de crecimiento, también productos de fermentación como dióxido de carbono y alcohol.

La FEL es un proceso biotecnológico en el que se aprovechan los productos agrícolas para su procesamiento. Constituye una alternativa asequible para la alimentación animal que posibilita la utilización de este recurso por un tiempo prolongado (Caicedo *et al.* 2019a y Saavedra *et al.* 2020). Este proceso biotecnológico permite un apropiado control del ácido láctico, pH y amoniaco para lograr un producto fermentado con buenas características nutricionales, microbiológicas y organolépticas, sin peligro de transmitir enfermedades a los animales (Wang *et al.* 2016).

#### **PRODUCTOS Y SUBPRODUCTOS DE LA AGROINDUSTRIA PARA LA OBTENCIÓN DE INÓCULOS DESTINADOS A LA PRODUCCIÓN DE FES Y FEL DE RECURSOS AGRÍCOLAS**

*Yogur natural.* Es el producto coagulado que se obtiene por medio de la fermentación láctica de la leche o por la mezcla de derivados lácticos a través de *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococos themophilus*. No contiene fruta, azúcar ni endulzante. Cada especie de bacterias estimula el crecimiento de la otra y su metabolismo, lo que otorga una textura cremosa y un ligero sabor ácido al producto final. El yogur constituye un alimento altamente nutritivo, que regula la flora intestinal, restaura las funciones hepáticas y es de rápida digestibilidad (Vera 2011).

*Guarapo y cachaza.* El guarapo es el jugo que se extrae de la molienda de la caña de azúcar. Posee alto contenido de azúcares, en dependencia de la variedad, maduración y calidad de la caña. El guarapo contiene sólidos solubles, como la sacarosa, glucosa y fructosa. También presenta compuestos no azúcares, como ceras, grasas, ácidos orgánicos, pectinas y colorantes. Los microorganismos que se encuentran durante la fermentación del guarapo constituyen las levaduras *Saccharomyces cerevisiae*, *Cryptococcus laurentii*, *Candida utilis*, *C. guilliermondii* y *Phodotorula mucilaginoso* (Armijos 2016).

La cachaza es también un residuo de la caña de azúcar, resultante del proceso de la fabricación de la panela y el azúcar crudo. Es rica en fósforo, nitrógeno, calcio y materia orgánica, con mínima cantidad de

the separation of the casein and dairy fat during the cheese production. It has at about 55 % of the nutrients present in the milk. Among their components are highlighted the lactose, proteins of high biological value (lactoglobulins and albumins), lipids, minerals and vitamins. The beneficial microorganisms *Lactobacillus acidophilus*, *L. casie*, *L. reuteri* and *Bifidobacterium* are found in the whey (Guerrero-Haber *et al.* 2011 and Poveda 2013). According to Haberkorn (2018), this by-product of the dairy industry is considered a prebiotic and probiotic of excellent quality, improves the metabolic functioning of the animal, in addition to providing texture, color and taste of the food. This waste has great potential to be used in pig feeding due to its high nutritional value and high palatability.

#### MICROORGANISMS USED IN THE PRODUCTION PROCESSES OF SSF AND LSF FROM AGRICULTURAL RESOURCES

*Homofermentative and heterofermentative bacteria.* They are classified as homofermentative and heterofermentative and are essential to form a consistent and successful fermentation. They are used as probiotics by suppressing the growth of pathogenic microorganisms (Ramírez-López and Vélez-Ruiz 2016). They constitute the lactic acid bacteria (LAB), are anaerobic, non-motile, lack cytochromes and do not reduce the nitrate to nitrite. Being acid tolerant, they are at pH as low as 2-3 and as high as 9.6. However, the optimum pH is 4-4.5, so they are resistant in environments where organic acids are produced, unlike other bacteria that are susceptible to this medium.

Mainly, the LAB feed on sugars such as glucose and lactose, vitamins, amino acids, among others (García *et al.* 2020). The homofermentative bacteria only produce lactic acid, while heterofermentative the lactic acid and other products, such as acetic acid and ethanol. The group of homofermentative bacteria is made up of *Lactococcus*, *Pediococcus*, *Enterococcus*, *Vagococcus* and *Streptococcus*, while the group of heterofermentative bacteria includes *Oenococcus*, *Weicella*, *Carnobacterium*, *Lactosphaera*, *Leuconostoc* and some *Lactobacillus* (Ramírez *et al.* 2011).

*Yeasts.* They are the organisms most used in fermentation techniques, due to their great capacity to produce unicellular protein (UCP). They can reach protein values higher than foods traditionally intake for animal feeding, such as fishmeal, soybean, and cereals (Reyes-Sánchez *et al.* 2018). Yeasts produce organic acids, pentoses and methyl pentose, sugar alcohols, polysaccharides and even i-inositol for protein synthesis (Moyano 2014). Among the main fermentative yeasts are *Pichia guilliermondii* LEV, *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida albicans*, *C. tropicalis*, *C. krusei*, *C. parsilosis*, *C. pintolopessi*

potasio (Lagos-Burbano y Castro-Rincón 2019).

*Suero de leche.* Es un subproducto que se obtiene de la separación de la caseína y la grasa láctea durante la elaboración del queso. Contiene cerca de 55 % de los nutrientes presentes en la leche. Entre sus componentes se destacan la lactosa, proteínas de alto valor biológico (lactoglobulinas y albúminas), lípidos, minerales y vitaminas. En el suero de leche se encuentran los microorganismos benéficos *Lactobacillus acidophilus*, *L. casie*, *L. reuteri* y *Bifidobacterium* (Guerrero-Haber *et al.* 2011 y Poveda 2013). Según refiere Haberkorn (2018), este subproducto de la industria láctea se considera un prebiótico y probiótico de excelente calidad, mejorador del funcionamiento metabólico del animal, además de que proporciona textura, color y sabor del alimento. Este residuo posee un gran potencial para ser utilizado en la alimentación de cerdos por su alto valor nutricional y alta palatabilidad.

#### MICROORGANISMOS UTILIZADOS EN LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE FES Y FEL DE RECURSOS AGRÍCOLAS

*Bacterias homofermentativas y heterofermentativas.* Se clasifican como homofermentativas y heterofermentativas y resultan indispensables para formar una consistente y exitosa fermentación. Se utilizan como probióticos al suprimir el crecimiento de microorganismos patógenos (Ramírez-López y Vélez-Ruiz 2016). Constituyen las denominadas bacterias ácido lácticas (BAL), son anaeróbicas, no móviles, carecen de citocromos y no reducen el nitrato a nitrito. Por ser ácido tolerantes, se hallan a pH tan bajos como 2-3 y tan altos como 9.6. Sin embargo, el pH óptimo es de 4-4.5, por lo que son resistentes en ambientes donde se producen los ácidos orgánicos a diferencia de otras bacterias que son susceptibles a este medio.

Principalmente, las BAL se alimentan de azúcares como glucosa y lactosa, vitaminas, aminoácidos, entre otros (García *et al.* 2020). Las bacterias homofermentativas solo producen ácido láctico, mientras que las bacterias heterofermentativas dan lugar al ácido láctico y a otros productos, como el ácido acético y el etanol. El grupo de bacterias homofermentativas está compuesto por *Lactococcus*, *Pediococcus*, *Enterococcus*, *Vagococcus* y *Streptococcus*, en tanto que en el grupo de bacterias heterofermentativas se encuentran *Oenococcus*, *Weicella*, *Carnobacterium*, *Lactosphaera*, *Leuconostoc* y algunos *Lactobacillus* (Ramírez *et al.* 2011).

*Levaduras.* Son los organismos más utilizados en las técnicas de fermentación, por su gran capacidad de producción de proteína unicelular (PUC). Pueden alcanzar valores de proteína superiores a los alimentos que se consumen tradicionalmente para la alimentación animal, como la harina de pescado, soja y cereales (Reyes-Sánchez *et al.* 2018). Las levaduras producen ácidos orgánicos, pentosas y metil pentosa, alcohol de azúcares, polisacáridos e incluso el i-inositol para la síntesis proteica (Moyano 2014). Entre las principales levaduras fermentativas se encuentran *Pichia guilliermondii* LEV, *Saccharomyces*

and *C. lipolytica*.

*Filamentous fungi*. The micellar structure of the fungi allows them to have a capacity for adherence and penetration on substrates. It also represents advantages for carbon synthesis, since they have complete organisms for the absorption of polysaccharides. Fungi grow at room temperature, easily adapt to substrates, have the capacity to degrade lignosaccharides, and are organisms with the potential to produce enzymes and biomass (Rodríguez *et al.* 2017). Fungi used in fermentation processes include the genera *Trichoderma*, *Alternaria* and, in some cases, *Penicillium* and *Aspergillus* and *Pleurotus trametes* (De Oliveira *et al.* 2018).

#### CHEMICAL CHARACTERISTICS OF SSF AND LSF FROM AGRICULTURAL RESOURCES USED IN PIG FEEDING

For the preparation of SSF and LSF, local raw materials are used that have low costs and are available throughout the year. Energetic agricultural wastes combined with water, molasses, whey, vinasse, and sources of inoculums of yeasts, lactic bacteria, and filamentous fungi are used as substrates for the production of SSF and LSF, since they stabilize the pH, reduce or eliminate secondary metabolites, produce microbial protein and preserve food for a long time (Rendón *et al.* 2013, Lezcano *et al.* 2014, Caicedo *et al.* 2015 and García *et al.* 2020).

The pH is one of the most important factors to take into account in the SSF and LSF processes and is closely related to the final quality of the food. The initial inoculation with preservative microorganisms produces acidity in the medium to inhibit the growth of putrefactive and pathogenic microorganisms that alter the nutritional value of the food (García *et al.* 2015). Caicedo *et al.* (2016) evaluated the safety effect of the LSF of taro tubers and reported pH values between 3.8 and 4, 96 h post-processing, as a result of the rapid acidification of the medium. These authors also reported the absence of putrefactive and pathogenic microorganisms, such as molds, coliforms, *Salmonella spp.*, and *Escherichia coli*.

Caicedo *et al.* (2015) also studied the chemical composition of four LSF variants of taro tubers, preserved between 0 and 180 d with natural yogurt, whey and molasses. There was not affectation in the nutritional composition of the fermented food and the contents of DM, CP, CF, NFE, ashes and GE were similar to those reported in taro tubers in their natural state. Likewise, with LSF of sweet potato tubers, treated with *Saccharomyces* cream and concentrated vinasse, Lezcano *et al.* (2015) obtained a chemical composition similar to the natural raw matter. In other researches carried out by García *et al.* (2020) with LSF of cassava, sweet potato or banana (40 %) and both, sugar cane B molasses (20 %), concentrated vinasse (10 %) and

*cerevisiae*, *Candida albicans*, *C. tropicalis*, *C. krusei*, *C. parviosis*, *C. pintolopessi* y *C. lipolytica*.

*Hongos filamentosos*. La estructura micelar de los hongos les permite tener una capacidad de adherencia y penetración sobre sustratos. También representa ventajas para las síntesis de carbono, ya que tienen organismos completos para la absorción de polisacáridos. Los hongos crecen a temperatura ambiente, se adaptan fácilmente a los sustratos, poseen capacidad de degradación de lignosacáridos, y son organismos con potencial de producción de enzimas y biomasa (Rodríguez *et al.* 2017). Los hongos que se utilizan en los procesos de fermentación incluyen los géneros *Trichoderma*, *Alternaria* y, en algunos casos, *Penicillium* y *Aspergillus* y *Pleurotus trametes* (De Oliveira *et al.* 2018).

#### CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LA FES Y FEL A PARTIR DE RECURSOS AGRÍCOLAS UTILIZADOS EN LA ALIMENTACIÓN DE PORCINOS

Para la elaboración de FES y FEL se emplean materias primas locales que presentan bajos costos y que se encuentren disponibles todo el año. Los residuos agrícolas energéticos combinados con agua, melaza, suero de leche, vinaza, y fuentes de inóculos de levaduras, bacterias lácticas y hongos filamentosos se utilizan como sustratos para la producción de FES y FEL, ya que estabilizan el pH, reducen o eliminan los metabolitos secundarios, producen proteína microbiana y conservan el alimento por tiempo prolongado (Rendón *et al.* 2013, Lezcano *et al.* 2014, Caicedo *et al.* 2015 y García *et al.* 2020).

El pH es uno de los factores más relevantes a tener en cuenta en los procesos de FES y FEL y se relaciona estrechamente con la calidad final del alimento. La inoculación inicial con microorganismos conservadores produce acidez en el medio para inhibir el crecimiento de microorganismos putrefactivos y patógenos que alteran el valor nutritivo del alimento (García *et al.* 2015). Caicedo *et al.* (2016) evaluaron el efecto de inocuidad del FEL de tubérculos de taro e informaron valores de pH entre 3.8 y 4, a las 96 h poselaboración, producto de la rápida acidificación del medio. Estos autores refirieron, además, ausencia de microorganismos putrefactivos y patógenos, como mohos, coliformes, *Salmonella spp.* y *Escherichia coli*.

Caicedo *et al.* (2015) también estudiaron la composición química de cuatro variantes de FEL de tubérculos de taro, conservados entre 0 y 180 d con yogur natural, suero de leche y melaza. No registraron afectación en la composición nutricional del alimento fermentado y los contenidos de MS, PB, FB, ELN, cenizas y EB fueron similares a los informados en tubérculos de taro en estado natural. Asimismo, con FEL de tubérculos de camote, tratados con crema de *Saccharomyces* y vinaza concentrada, Lezcano *et al.* (2015) obtuvieron una composición química similar a la materia prima natural. En otras investigaciones desarrolladas por García *et al.* (2020) con FEL de yuca, camote o plátano (40 %) y ambos, miel B de caña de azúcar

*Saccharomyces cerevisiae* yeast cream (30 %), when evaluating them at the 0 and 168 h, a slight reduction in DM was observed in all the fermentations with respect to the raw matter in natural state. This was attributed to the production of carbon dioxide, a co-product of fermentation in the silos. However, they achieved linear increases as a function of fermentation time for CP and true protein, caused by the increase in the colony-forming units (CFU) of lactic acid bacteria and yeast, respectively.

In foods processed by SSF for pigs, there has been shown an increase in DM contents, due to the inclusion of drying material such as wheat and rice powder (Caicedo *et al.* 2019b), CP associated with the unicellular protein of the medium (Gunawan *et al.* 2015, Caicedo *et al.* 2019c and Caicedo *et al.* 2020b) and ashes due to the inclusion of mineral salts, phosphates and carbonates in the different formulations (Fonseca-López *et al.* 2018).

The production of SSF and LSF of agricultural origin constitutes a novel and easy to apply process on a small, medium and large scale, for its use in the pig production system in its different production stages (Lezcano *et al.* 2014, García *et al.* 2015 and Caicedo *et al.* 2019c). In general, it has been possible to verify that alternative foods processed by LSF and SSF have a good nutritional composition and constitute a source of nutrients at a lower cost compared to conventional foods. The chemical characteristics of agricultural resources fermented by LSF and SSF used in pig's diet are shown in table 1.

(20 %), vinaza concentrada (10 %) y crema de levadura *Saccharomyces cerevisiae* (30 %), al evaluarlas a las 0 y 168 h, se dejó ver una ligera reducción de la MS en todos los fermentados con respecto a la materia prima en estado natural. Esto se atribuyó a la producción de dióxido de carbono, coproducto de la fermentación en los silos. Sin embargo, lograron incrementos lineales en función del tiempo de fermentación para la PB y proteína verdadera, ocasionados por el aumento de las unidades formadoras de colonias (UFC) de bacterias ácido lácticas y levaduras, respectivamente.

En alimentos procesados por FES para cerdos, se ha evidenciado aumento en los contenidos de MS, debido a la inclusión de material secante como el polvillo de trigo y arroz (Caicedo *et al.* 2019b), PB asociada con la proteína unicelular del medio (Gunawan *et al.* 2015, Caicedo *et al.* 2019c y Caicedo *et al.* 2020b) y cenizas por la inclusión de sales minerales, fosfatos y carbonatos en las diferentes formulaciones (Fonseca-López *et al.* 2018).

La producción de FES y FEL de origen agrícola constituye un proceso novedoso y fácil de aplicar en pequeña, mediana y gran escala, para su utilización en el sistema de producción de porcinos en sus diferentes etapas de producción (Lezcano *et al.* 2014, García *et al.* 2015 y Caicedo *et al.* 2019c). De forma general, se ha podido constatar que los alimentos alternativos procesados por FEL y FES presentan buena composición nutricional y constituyen una fuente de nutrientes a menor coste en comparación de los alimentos convencionales. Las características químicas de recursos agrícolas fermentados por FEL y FES utilizados en la dieta de cerdos se muestran en la tabla 1.

Table 1. Chemical characteristics of fermented agricultural resources and used in pigs feeding

Agricultural resource	Used technique	Inoculum source	Nutrients							References
			DM, %	CP, %	CF, %	SE, %	NFE, %	Ashes, %	GE, kJ g DM <sup>-1</sup>	
Cassava root ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz)	SSF	-	42.00	0.95	1.05	00.42	-	0.85	-	Loc <i>et al.</i> (1997)
"Chontaduro" fruit ( <i>Bactris gasipaes</i> Kunth)	SSF	Natural yogurt	39.60	6.89	3.76	11.10	73.60	4.69	19.49	Caicedo <i>et al.</i> (2019d)
Orito banana fruit ( <i>Musa acuminata</i> AA)	LSF	Natural yogurt	21.18	7.88	0.65	01.60	80.28	2.61	-	Caicedo <i>et al.</i> (2020c)
Cassava root ( <i>Manihot esculenta</i> Crantz)	LSF	Natural yogurt	32.90	0.91	3.54	00.50	91.43	3.58	15.06	Reina-Rivas <i>et al.</i> (2022)

#### DIGESTIBILITY IN COMMERCIAL PIGS FED WITH SSF AND LSF FROM AGRICULTURAL RESOURCES

Digestibility studies are very important to assess the nutritional potential of foods for their efficient use by animals. The inclusion of SSF and LSF in pigs diet in permissible limits does not have rejections, and do not affect the digestibility values of the main

#### DIGESTIBILIDAD EN CERDOS COMERCIALES ALIMENTADOS CON FES Y FEL DE RECURSOS AGRÍCOLAS

Los estudios de digestibilidad son de mucha importancia para valorar el potencial nutritivo que tienen los alimentos para su aprovechamiento eficiente por los animales. La inclusión de FES y FEL en la dieta de cerdos en límites permisibles no presentan rechazos, ni afectan los valores

nutrients studied with these animals (Araujo *et al.* 2016 and Caicedo *et al.* 2019b). In fact, the by-products processed by these biotechnologies have greater digestibility compared to foods in their natural state. This is due to the incorporation and colonization of beneficial microorganisms that takes place in the gastrointestinal tract (GIT) of pigs (Rendón *et al.* 2013). These microorganisms compete with the pathogenic flora and synthesize different enzymes and vitamins that help to improve the use of nutrients in foods.

Studies concerning nutrient digestibility in commercial pigs fed with fermented agricultural by-products are scarce to date. They focus on growing pigs. However, existing reports show high percentages of inclusion in the diet, which shows that in improved pigs it is feasible to use alternative fermented foods as a partial substitute for conventional food.

Araujo *et al.* (2016) included 25 % LSF of cassava treated with natural yogurt in the diet of growing pigs and obtained high use rates of DM (90.01 %), CP (66.43 %) and GE (91.48 %). In another study, Da Rocha (2016) incorporated 100 % of cassava root LSF in growing pigs and achieved good use of DM (86.87 %) and GE (90.56 %).

In more recent studies on digestibility, Caicedo *et al.* (2019c, 2019d) achieved good use of nutrients in commercial growing pigs, by including in the diet 40 % of SSF from orito banana, DM (91.33 %), CP (92.20 %), CF (70.07 %), NFE (91.23 %), GE (90.27 %) and peach fruit DM (90.23 %), CP (92.24 %), CF (75.06 %), NFE (91.24 %) and GE (90.38 %). They concluded that it is feasible to partially replace the conventional food (corn and soybean) by alternative fermented food without affecting the use of the main nutrients.

The high values of use of fermented agricultural residues are associated with the bioavailability of nutrients and with the intestinal health of pigs.

#### **PRODUCTIVE INDICATORS IN COMMERCIAL PIGS FED WITH SSF AND LSF FROM AGRICULTURAL RESOURCES**

In the productive indicators of pigs (food intake, weight gain, feed conversion, final weight and carcass yield) directly influenced the type of nutrient and their availability (Recinos *et al.* 2017). According to Nazef *et al.* (2008), the probiotics in the foods produced by SSF and LSF provide a eubiotic environment in the GIT of animals. Marín *et al.* (2007), when using biopreparations in pigs diet, obtained high indexes of weight increase and weight gain, low diarrhea incidences and, in consequence, high productivity. The probiotics reduce the intestinal pH, which inhibit the growth of pathogen microorganisms as *Escherichia coli*, *Salmonella spp.* y *Clostridium spp.* The benefit microbiota located in the small intestine guarantees the optimum absorption of

de digestibilidad de los principales nutrientes estudiados con estos animales (Araujo *et al.* 2016 y Caicedo *et al.* 2019b). De hecho, los subproductos procesados por estas biotecnologías tienen mayor digestibilidad en comparación con alimentos en estado natural. Esto se debe a la incorporación y colonización de microorganismos benéficos que tiene lugar en el tracto gastrointestinal (TGI) de los cerdos (Rendón *et al.* 2013). Dichos microorganismos compiten con la flora patógena y sintetizan diferentes enzimas y vitaminas que ayudan a mejorar el aprovechamiento de los nutrientes en los alimentos.

Los estudios concernientes a digestibilidad de nutrientes en cerdos comerciales alimentados con subproductos agrícolas fermentados son escasos hasta el momento. Se centran en cerdos de crecimiento. Sin embargo, en los reportes existentes se evidencian altos porcentos de inclusión en la dieta, lo que indica que en cerdos mejorados es viable emplear alimentos alternativos fermentados como sustituto parcial del alimento convencional.

Araujo *et al.* (2016) incluyeron en la dieta de cerdos en crecimiento 25 % de FEL de yuca tratada con yogur natural y obtuvieron altos índices de aprovechamiento de la MS (90.01 %), PB (66.43 %) y EB (91.48 %). En otro estudio, Da Rocha (2016) incorporó 100 % de FEL de raíz de yuca en cerdos de crecimiento y logró buen aprovechamiento de la MS (86.87 %) y EB (90.56 %).

En trabajos más recientes sobre digestibilidad, Caicedo *et al.* (2019c, 2019d) lograron buen aprovechamiento de nutrientes en cerdos comerciales de crecimiento, al incluir en la dieta 40 % de FES de banano orito MS (91.33 %), PB (92.20 %), FB (70.07 %), ELN (91.23 %), EB (90.27 %) y fruta de chontaduro MS (90.23 %), PB (92.24 %), FB (75.06 %), ELN (91.24 %) y EB (90.38 %). Concluyeron que es factible reemplazar parcialmente el alimento convencional (maíz y soya) por alimento alternativo fermentado sin presentar afectación en el aprovechamiento de los principales nutrientes.

Los altos valores de aprovechamiento de los residuos agrícolas fermentados se asocian con la biodisponibilidad de nutrientes y con la salud intestinal de los cerdos.

#### **INDICADORES PRODUCTIVOS EN CERDOS COMERCIALES ALIMENTADOS CON FES Y FEL DE RECURSOS AGRÍCOLAS**

En los indicadores productivos de los cerdos (consumo de alimento, ganancia de peso, conversión alimentaria, peso final y rendimiento de la canal) influyen directamente el tipo de nutriente y su disponibilidad (Recinos *et al.* 2017). Según manifiestan Nazef *et al.* (2008), los probióticos presentes en los alimentos producidos por FES y FEL proporcionan un ambiente eubiótico en el TGI de los animales. Marín *et al.* (2007), al emplear biopreparados en la dieta de cerdos, obtuvieron altos índices de incremento de peso y ganancia de peso,

nutrients (Giang *et al.* 2011).

The studies of productive performance in commercial pigs fed with SSF and LSF from agricultural resources refers satisfactory results. In growing and fattening pigs has been taken into account researchers which showed useful results with inclusion in the diet of 50 % LSF of cassava (Almaguel *et al.* 2011), 40 % SSF of cassava roots and corn kernel wastes (Cabrera *et al.* 2012), without affecting the DM intake, weigh gain, feed conversion and final weight of pigs with respect to the animals which exclusively received a control diet (corn, soybean).

It has been also informed studies of substitution of raw matters in the diet of commercial pigs. In growing pigs fed with LSF of cassava roots, Lezcano *et al.* (2014) successfully replace 100 % of corn in the diet, without showing affectation in weight gain and final weight of the treated animals.

In other studies, with post-weaning pigs, Caicedo and Flores (2020) included in the diet 2 and 4 % LSF of orito banana and LSF of taro (Caicedo *et al.* 2020c) and obtained better DM intake with respect to the control diet. This increase was due to the sensorial characteristics of the fermented foods. In rearing pigs there are scientific evidences which has successfully included SSF of tuber with taro foliage (30 %) (Caicedo *et al.* 2020d) and SSF of cassava roots (50 %) (Dias and Dos Santos 2021) without negative effect on DM intake and in the final weight of animals during the experimentation.

The productive results of the pigs fed with ferments are successful so the used diets fulfill with the nutritional requirements in each category (Sakomura and Rostagno 2007 and Rostagno *et al.* 2011). The fermented foods also have functional properties that improve the immunity, the intestinal health and the use of nutrients in the animals. The results of the productive indexes of pigs fed with agricultural silages are showed in table 2.

menor incidencia de diarreas y, en consecuencia, alta productividad. Los probióticos reducen el pH intestinal, con lo cual inhiben el crecimiento de microorganismos patógenos como *Escherichia coli*, *Salmonella spp.* y *Clostridium spp.* La microbiota benéfica situada en el intestino delgado garantiza la óptima absorción de nutrientes (Giang *et al.* 2011).

Los estudios de comportamiento productivo en cerdos comerciales alimentados con FES y FEL de recursos agrícolas refieren resultados muy satisfactorios. En cerdos de crecimiento y ceba se han llevado a cabo investigaciones que muestran resultados provechosos con inclusión en la dieta de 50 % de FEL de yuca (Almaguel *et al.* 2011), 40 % de FES de raíz de yuca y residuos de granos de maíz (Cabrera *et al.* 2012), sin presentar afectación en el consumo de MS, ganancia de peso, conversión alimentaria y peso final de los cerdos con respecto a los animales que recibieron exclusivamente una dieta control (maíz, soya).

También se han informado estudios de sustitución de materias primas en la dieta de cerdos comerciales. En cerdos de crecimiento alimentados con FEL de raíz de yuca, Lezcano *et al.* (2014) reemplazaron de forma exitosa 100 % del maíz en la dieta, sin mostrar afectación en la ganancia de peso y el peso final de los animales tratados.

En otros estudios con cerdos de posdestete, Caicedo y Flores (2020) incluyeron en la dieta 2 y 4 % de FEL de banano orito y FEL de taro (Caicedo *et al.* 2020c) y obtuvieron mejor consumo de MS con respecto a la dieta control. Este aumento se debió a las características sensoriales que poseen los alimentos fermentados. En cerdos de recría existen evidencias científicas que han logrado incluir con éxito FES de tubérculos con follaje de taro (30 %) (Caicedo *et al.* 2020d) y FES de raíz de yuca (50 %) (Dias y Dos Santos 2021) sin presentar efecto negativo en el consumo de MS ni en el peso final de los animales durante la experimentación.

Los resultados productivos de los cerdos alimentados con fermentados son exitosos ya que las dietas utilizadas cumplieron con los requerimientos nutricionales en cada categoría (Sakomura y Rostagno 2007 y Rostagno *et al.* 2011). También los alimentos fermentados tienen propiedades funcionales que mejoran la inmunidad, la salud intestinal y la utilización de nutrientes en los animales. Los resultados de los índices productivos de cerdos alimentados con ensilados de origen agrícola se presentan en la tabla 2.



Table 2. Productive indicators in pigs fed with silages from agricultural resources

Ensilaged agricultural resource and inoculum source	Used technique	Category	Inclusion level or corn substitution, %	Indicators			References		
				Initial weight, kg	DM intake, kg	Weight gain day, kg		Feed conversion kg/kg	Final weight, kg
Sweet potato tubers ( <i>Saccharomyces</i> cream and concentrated vinasse)	LSF	Growing-fattening	Corn substitution (66)	30.83	-	0.544	3.76	104.7	Lezcano <i>et al.</i> (2015)
Orito banana fruit (natural yogurt)	SSF	Growing	Inclusion (40)	24.93	1.510	0.850	1.78	60.62	Caicedo <i>et al.</i> (2021)
Cassava root (natural yogurt)	LSF	Growing-fattening	Inclusion (40)	25.50	2.454	0.890	2.75	100.52	Reina-Rivas <i>et al.</i> (2022)

## CONCLUSIONS

The use of silage from agricultural resources as alternative food for pigs is a relatively a new field and emerged as an option to improve the nutritional value of the raw matters of easily decomposition and to make good use of them for a long time. The results of researchers with silages, in terms of the chemical composition, digestibility and productive performance in pigs are satisfactory. In several researchers has been achieve high inclusion levels of corn (20 to 50 %) or with the hole replacement in the diet (100 %), which allow to reduce imports of conventional raw matters (corn and soybean). The by-products sources most researched to produce SSF and LSF as pig's food constitutes the energy foods (cassava, sweet potato, taro, orito banana, "chontaduro", potato, banana and sugar cane). These have been treated with whey, natural yogurt, *Saccharomyces* cream, concentrated vinasse and molasses. The future researchers with SSF and LSF of agricultural wastes for their use in pig's production have great potential in the determination and use of the fibrous fraction, energies, minerals, amino acids and antioxidants for their incorporation in tables of local raw matters.

### Conflict of interest

The authors declare that there are not conflicts of interests in this research.

### Author's contribution

W. Caicedo: conceptualization, investigation, methodology, supervision, writing and original draft

María Vanessa Ruiz: writing and original draft

Jissela Estefanía Quilligana: writing and original draft

S. Aguiar: formal analysis.

## CONCLUSIONES

El uso de ensilado de recursos agrícolas como alimento alternativo para cerdos es un campo relativamente nuevo y surge como una opción para mejorar el valor nutricional de las materias primas de fácil descomposición y aprovecharlas por tiempo prolongado. Los resultados de investigaciones con ensilados, en cuanto a la composición química, digestibilidad y comportamiento productivo en cerdos, son satisfactorios. En varias investigaciones se han logrado altos niveles de inclusión de maíz (20 a 50 %) o con el reemplazo completo en la dieta (100 %), lo que ha permitido reducir importaciones de materia prima convencional (maíz y soya). Las fuentes de subproductos más investigadas para producir FES y FEL como alimento de cerdos constituyen los alimentos energéticos (yuca, camote, taro, banano orito, chontaduro, papa, plátano y caña). Estos se han tratado con suero de leche, yogurt natural, crema de *Saccharomyces*, vinaza concentrada, mieles y melazas. Las futuras investigaciones con FES y FEL de residuos agrícolas para su uso en la producción porcina tienen gran potencial en la determinación y el aprovechamiento de la fracción fibrosa, energías, minerales, aminoácidos y antioxidantes para su incorporación en tablas de materias primas locales.

### Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflictos de intereses en la presente investigación.

### Contribución de los autores

W. Caicedo: conceptualización, investigación, metodología, supervisión, redacción y borrador original.

María Vanessa Ruiz: redacción y borrador original.

Jissela Estefanía Quilligana: redacción y borrador original.

S. Aguiar: análisis formal.

## REFERENCES

- Almaguel, R.E., Piloto, J.L., Cruz, E., Mederos, C.M. & Ly, J. 2011. "Use of hand-made cassava silage as energy source in diets of fattening pigs". *Livestock Research for Rural Development*, 23(1), Article #1, ISSN: 2521-9952. Available: <http://www.lrrd.org/lrrd23/1/alma23001.htm>.
- Araújo, D., Amorim, A., Saleh, M., Curcelli, F., Perdigon, P., Bicudo, S. & Berto, D. 2016. "Nutritional evaluation of integral cassava root silages for growing pigs". *Animal Nutrition*, 2(3): 149-153, ISSN: 2405-6545. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S240565451630018X>.
- Armijos, M. 2016. Caracterización de microorganismos con capacidad fermentativa en el proceso de elaboración del guarapo. Engineering Thesis. Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito, Ecuador, 108 p.
- Atsbeha, D., Flaten, O., Olsen, H., Kjos, N., Kidane, A., Skugor, A., Prestløy, E. & Øverland, M. 2020. "Technical and economic performance of alternative feeds in dairy and pig production". *Livestock Science*, 240: 104123, ISSN: 1871-1413. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104123>.
- Bhargay, S., Panda, B., Ali, M. & Javed, S. 2008. "Solid state fermentation: An Overview". *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, 22(1): 49-70, ISSN: 0352-9568.
- Borras, L. & Torres, G. 2016. "Producción de alimentos para animales a través de fermentación en estado sólido - FES". *Revista ORINOQUIA*, 20(2): 47-54, ISSN: 0121-3709. <https://www.redalyc.org/pdf/896/89650870010.pdf>.
- Borrás-Sandoval, L., Valiño, E. & Elías, A. 2017. "Evaluación del efecto de la inclusión de materiales fibrosos en la fermentación en estado sólido de residuos poscosecha de papa (*Solanum tuberosum*) inoculado con preparado microbiano". *Revista Electrónica de Veterinaria*, 18(8): 1-16, ISSN: 1695-7504. <https://www.redalyc.org/pdf/636/63652581011.pdf>.
- Cabrera, L.R., Lezcano, P. & Castro, M. 2012. "Uso de ensilado de raíces de yuca y residuos de granos de maíz en la ceiba de cerdos". *Revista Computadorizada de Producción Porcina*, 19(3): 196-200, ISSN: 1026-9053.

- Caicedo, W., Ferreira, F.N., Pérez, M., Flores, A. & Ferreira, W.M. 2020b. "Composición química y comportamiento productivo de cerdas gestantes alimentadas con ensilado de banano orito (*Musa acuminata* AA) con caña panelera (POJ93)". *Livestock Research for Rural Development*, 32(1), Article #9, ISSN: 2521-9952. Available: <http://www.lrrd.org/lrrd32/1/orlan32009.html>.
- Caicedo, W., Ferreira, F.N. A., Pérez, M., Flores, A. & Ferreira, W.M. 2020c. "Comportamiento productivo de cerdas postdestete alimentados con una dieta suplementada con fruta de banano orito (*Musa acuminata* AA) fermentado con yogur". *Livestock Research for Rural Development*, 32(2), Article #33, ISSN: 2521-9952. Available: <http://www.lrrd.org/lrrd32/2/orlan32033.html>.
- Caicedo, W., Ferreira, F.N.A., Viáfara, D., Guamán, A., Sócola, C., Pérez, M., Díaz, L. & Ferreira, W.M. 2019c. "Nutritive value and digestibility in growing pigs of baby banana (*Musa acuminata* AA) fermented in solid state". *Livestock Research for Rural Development*, 31(11), Article #170, ISSN: 2521-9952. Available: <http://www.lrrd.org/lrrd31/11/orlan31170.html>.
- Caicedo, W., Ferreira, F. N., Viáfara, D., Guamán, A., Socola, C. & Moyano, J.C. 2019d. "Chemical composition and fecal digestibility of fermented peach palm fruit (*Bactris gasipaes* Kunth) in growing pigs". *Livestock Research for Rural Development*, 31(9), Article #140, ISSN: 2521-9952. Available: <http://www.lrrd.org/lrrd31/9/orlando31140.html>.
- Caicedo, W. & Flores, A. 2020. "Características nutritivas de un ensilado líquido de banano orito (*Musa acuminata* AA) con tubérculos de taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) y su efecto en cerdos de posdestete". *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 31(1): e17545, ISSN: 1609-9117. <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v31i1.17545>.
- Caicedo, W., Moya, C., Caicedo, M., Caicedo, L. & Ferreira, F.N.A. 2021. "Productive performance of commercial pigs fed with baby banana silage (*Musa acuminata* AA)". *Livestock Research for Rural Development*, 33(4), Article #56, ISSN: 2521-9952. Available: <http://www.lrrd.org/lrrd33/4/3356orland.html>.
- Caicedo, W., Moya, C., Tapuy, A., Caicedo, M. & Pérez, M. 2019b. "Composición química y digestibilidad aparente de tubérculos de taro procesados por fermentación en estado sólido (FES) en cerdos de crecimiento". *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 30(2): 580-589, ISSN: 1609-9117. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1609-91172019000200006&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1609-91172019000200006&script=sci_arttext).
- Caicedo, W., Moyano, C., Valle, S., Díaz, L. & Caicedo, M. 2019a. "Calidad fermentativa de ensilajes líquidos de chontaduro (*Bactris gasipaes*) tratados con yogur natural, suero de leche y melaza". *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 30(1): 167-177, ISSN: 1609-9117. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1609-91172019000100017](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1609-91172019000100017).
- Caicedo, 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): 59-64, ISSN: 2079-3480. <http://www.cjasience.com/index.php/CJAS/article/view/548/512>.
- Caicedo, W., Rodríguez, R., Lezcano, P., Ly, J., Valle, S., Flores, L. & Ferreira, F.N.A. 2016. "Physicochemical and biological indicators in silages of taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott) tubers for animal feeding". *Cuban Journal of Agricultural Science*, 50(1): 121-129, ISSN: 2079-3480. <http://cjasience.com/index.php/CJAS/article/view/603/635>.
- Caicedo, W., Viáfara, D., Pérez, M., Ferreira, F.N.A., Asitimbay, M., Gavilanes, Z., Valle, S. & Ferreira, W.M. 2020d. "Chemical composition and productive performance of silage of taro tubers and foliage (*Colocasia esculenta* L. Schott) in rearing pigs". *Cuban Journal of Agricultural Science*, 54(3): 355-363, ISSN: 2079-3480. <https://www.cjasience.com/index.php/CJAS/article/view/970/1183>.
- Caicedo, W., Viáfara, D., Pérez, M., Ferreira, F.N.A., Pico, K., Cachago, K., Valle, S. & Ferreira, W.M. 2020a. "Increase of protein and antioxidant activity of orito banana silage. Technical note". *Cuban Journal of Agricultural Science*, 51(3): 337-341, ISSN: 2079-3480. <https://www.cjasience.com/index.php/CJAS/article/view/980/1240>.
- Castro, M. & Martínez, M. 2015. "Pig feeding with nontraditional products: fifty years of research at the Instituto de Ciencia Animal". *Cuban Journal of Agricultural Science*, 49(2): 189-196, ISSN: 2079-3480. <http://scielo.sld.cu/pdf/cjas/v49n2/cjas08215.pdf>.
- Da Rocha L.F. 2016. Desenvolvimento e valor nutritivo de fermentados de mandioca utilizando soro de leite ou vinhaça e iogurte natural para suínos em crescimento. MSc Thesis, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, 52 p.
- De Oliveira, R., Santos, L., Almeida, L., Do Val, F., Rodrigues, A. & Lopes, P. 2018. "Filamentous fungi producing enzymes under fermentation in cassava liquid waste". *Acta Scientiarum*, 40: e41512, ISSN: 1807-863X. <https://doi.org/10.4025/actasciobiols.v40i1.41512>.
- Días, A.H. & Dos Santos, S.L. 2021. "Utilização do fermentado de mandioca na alimentação de suínos na fase inicial". *Brazilian Journal of Development*, 7(12): 119729-119742, ISSN: 2525-8761. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n12-640>.
- Fonseca-López, D., Saavedra-Montañéz, G. & Rodríguez-Molano, C.E. 2018. "Elaboración de un alimento para ganado bovino a base de zanahoria (*Daucus carota* L) mediante fermentación en estado sólido como una alternativa ecoeficiente". *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(1): 175-182, ISSN: 2011-2173. <http://www.scielo.org.co/pdf/rceh/v12n1/2011-2173-rceh-12-01-175.pdf>.
- García, Y. Sosa, D., Boucourt, R. & Scull, I. 2015. "Chemical characterization of an ensiled food for pigs. Technical note". *Cuban Journal of Agricultural Science*, 49(1): 91-92, ISSN: 2079-3480. <http://scielo.sld.cu/pdf/cjas/v49n1/cjas15115.pdf>.
- García, Y., Sosa, D., González, L. & Dustet, J.C. 2020. "Chemical, physical and microbiological characterization of fermented feed for use in animal production". *Livestock Research for Rural Development*, 32(7), Article #105, ISSN: 2521-9952. Available: <http://www.lrrd.org/lrrd32/7/Yaneis32105.html>.
- Giang, H., Vietl, T., Ogle, B., & Lindberg, J. 2011. "Effects of supplementation of probiotics on the performance, nutrient digestibility and faecal microflora in growing-finishing pigs". *Asian-Australian Journal of Animal Science*, 24(5): 655-661, ISSN: 1976-5517. <https://koreascience.kr/article/JAKO201118861579036.page>.
- Guerrero-Haber, J.R., Ramírez-Perú, A.L. & Puente-Vidal, W. 2011. "Caracterización del suero de queso blanco del combinado

- lácteo Santiago". *Tecnología Química*, 31(3): 93-100, ISSN: 0041-8420. <https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543774010.pdf>.
- Gunawan, S., Widjaja, T., Zullaikah, S., Ernawati, L., Istianah, N., Apamarta, H.W. & Prasetyoko, D. 2015. "Effect of fermenting cassava with *Lactobacillus plantarum*, *Saccharomyces cerevisiae*, and *Rhizopus oryzae* on the chemical composition of their flour". *International Food Research Journal*, 22(3): 1280-1287, ISSN: 2231-7546. <https://scholar.its.ac.id/en/publications/effect-of-fermenting-cassava-with-lactobacillus-plantarum-sacchar>.
- Haberkorn, N. 2018. Alimentación de porcinos con suero de leche para la reducción de costos alimenticios. Bachelor's degree Thesis. Universidad Empresarial Siglo 21, Córdoba, Argentina, 68 p.
- Lagos-Burbano, E. & Castro-Rincón, E. 2019. "Caña de azúcar y subproductos de la agroindustria azucarera en la alimentación de rumiantes". *Agronomía Mesoamericana*, 30(3): 917-934, ISSN: 2215-3608. [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1659-13212019000300917&script=sci\\_abstract&tlang=es](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S1659-13212019000300917&script=sci_abstract&tlang=es).
- Lezcano, P., Berto, D., Bicudo, S., Curcelli, F., Gonzáles, P. & Valdivie, M. 2014. "Yuca ensilada como fuente de energía para cerdos en crecimiento". *Avances en Investigación Agropecuaria*, 18(3): 41-48, ISSN: 0188-7890. <https://www.redalyc.org/pdf/837/83732353004.pdf>.
- Lezcano, P., Martínez, M., Vázquez, A. & Pérez, O. 2017. "Main methods of processing and preserving alternative feeds in tropical areas. Cuban experience". *Cuban Journal of Agricultural Science*, 51(1): 1-10, ISSN: 2079-3480. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193057227001.pdf>.
- Lezcano, P., Vázquez, A., Bolaños, A., Piloto, J., Martínez, M. & Rodríguez, Y. 2015. "Silage of alternative feeds of Cuban origin, a technical, economical and environmental option for the production of pork meat". *Cuban Journal of Agricultural Science*, 49(1): 65-69, ISSN: 2079-3480. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2079-34802015000100011](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2079-34802015000100011).
- Loc, N.T., Ogle, B. & Preston, T.R. 1997. "Cassava root silage for crossbred pigs under village conditions in Central Vietnam". *Livestock Research for Rural Development*, 9(2), Article #14, ISSN: 2521-9952. Available: <http://www.lrrd.org/lrrd9/2/loc922.htm>.
- Marín A., García, A., Marrero, L., Manso, M.J. & González, M. 2007. "Estudio del efecto en lechones lactantes del probiótico de la biomasa proteica obtenida por la tecnología de cultivo de *Lactobacilli* y levaduras en miel "B". *Livestock Research for Rural Development*, 19(12), Article #195, ISSN: 2521-9952. Available: <http://www.lrrd.org/lrrd19/12/card19195.htm>.
- Moyano, M. 2014. Fermentación en estado sólido (FES) de la papa (*Solanum tuberosum*), como alternativa tecnológica para la alimentación animal. MSc Thesis, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), Tunja, Colombia, 87 p.
- Nasseri, A., Rasoul-Amini, S., Morowvat, M., & Ghasemi, Y. 2011. "Single cell protein: Production and process". *American Journal of Food Technology*, 6(2): 103-116, ISSN: 1557-4571. <https://doi.org/10.3923/ajft.2011.103.116>.
- Nazef, L., Belguesmia, Y., Tani, A., Prévost, H. & Drider, D. 2008. "Identification of lactic acid bacteria from poultry feces: Evidence on anti-campylobacter and anti-listeria activities". *Poultry Science*, 87(2): 329-334, ISSN: 0032-5791. <https://doi.org/10.3382/ps.2007-00282>.
- Poveda, E. 2013. "Suero lácteo, generalidades y potencial uso como fuente de calcio de alta biodisponibilidad". *Revista chilena de nutrición*, 4(4): 397-403, ISSN: 0717-7518. <https://www.scielo.cl/pdf/rchnut/v40n4/art11.pdf>.
- Ramírez, J., Ulloa, P., Velázquez, M., Ulloa, J. & Arce, F. 2011. "Bacterias lácticas: importancia en alimento y su efecto en la salud". *Revista Fuente*, 7(2): 1-13, ISSN: 2007-0713. <http://fuente.uan.edu.mx/publicaciones/03-07/1.pdf>.
- Ramírez-López, C. & Vélez-Ruiz, J.F. 2016. "Aislamiento, Caracterización y Selección de Bacterias Lácticas Autóctonas de Leche y Queso Fresco Artesanal de Cabra". *Información Tecnológica* 27(6): 115-128, ISSN: 0718-0764. [https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642016000600012&script=sci\\_abstract](https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642016000600012&script=sci_abstract).
- Recinos, C., Aranda, E., Osorio, M., González, R., Díaz, P. & Hinojoza, J. 2017. "Evaluación de parámetros productivos y reproductivos en un hato de doble propósito en Tabasco México". *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 8(1): 83-91, ISSN: 2448-6698. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11242017000100083](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242017000100083).
- Reina-Rivas, J.J., Azum-Gonzales, J.L., Barcia, J.X. & Mendieta, J.D. 2022. "Uso de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) ensilada como alternativa en la ceiba de cerdos". *Revista Colombiana Ciencia Animal*, 14(1): e870, ISSN: 2027-4297. <https://doi.org/10.24188/recia.v14.n1.2022.870>.
- Rendón, A., Ojito, Y., Arteaga, F., Laurencio, M. & Millán, G. 2013. "Efecto probiótico de *Lactobacillus salivarius* C65 en indicadores productivos y de salud de cerdos lactantes". *Cuban Journal of Agricultural Science*, 47(4): 401-407, ISSN: 2079-3480. <https://www.redalyc.org/pdf/1930/193029815013.pdf>.
- Reyes-Sánchez, N., Mendieta-Araica, B., Rodríguez, R., y Caldera, N. 2018. "Fermentación en estado sólido de caña de azúcar y harina de hojas de Moringa oleifera para alimentación animal. *Revista Científica La Caldera*, 18(30): 1-6, ISSN: 1998-8850. <https://doi.org/10.5377/calera.v18i30.7732>.
- Rodríguez, S., Crescencia, M., Aguilera, I., y Serrat, M. 2017. "Determinación de biomasa fúngica y su utilidad en procesos biotecnológicos". *Afinidad*, 74(577): 60-67, ISSN: 0001-9704. <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/320783/411265>.
- Rostagno, H.S., Teixeira, L.F., Donzele, L.J., Gomes, P.C., Oliverira, R., Lopes, D.C., Ferreira, A.S., Toledo, S.L. & Euclides, R.F. 2011. Tablas Brasileñas para aves y cerdos. Composición de Alimentos y Requerimientos Nutricionales. 3rd Ed. Ed. Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa. Brasil, p. 167.
- Sadh, P.K., Kumar, S., Chawla, P. & Duhan, J.S. 2018. "Fermentation: A Boon for Production of Bioactive Compounds by Processing of Food Industries Wastes (By-Products)". *Molecules*, 23: 2560, ISSN: 1420-3049. <https://doi.org/10.3390/molecules23102560>.
- Saavedra, G., Borrás, L. & Cala, D. 2020. "Ensilaje líquido de residuos de durazno (*Prunus persica*) como alternativa para la alimentación animal". *Ciencia en Desarrollo*, 11(1): 33-42, ISSN: 0121-7488. <https://doi.org/10.19053/01217488.v11>.

n1.2020.8960.

- Sagar, A. 2019. Submerged Fermentation. Microbe Notes. Available: <https://microbenotes.com/submerged-fermentation/#submerged-fermentation>.
- Sakomura, N. & Rostagno, H. 2007. Métodos de pesquisa em nutrição de monogástricos. 2nd Ed. Ed. Universidade Estadual Paulista-Campus de Jaboticabal, Sao Paulo, Brasil, p. 283.
- Soccol, C., Scopel, E., Junior, L., Karp, S., Woiciechowski A. & Porto de Souza L. 2017. "Recent developments and innovations in solid state fermentation". Biotechnology Research and Innovation, 1(1): 52-71, ISSN: 2452-0721. <https://doi.org/10.1016/j.biori.2017.01.002>.
- Vera, M. 2011. Elaboración y aplicación gastronómica del yogurt. Bachelor's degree Thesis, Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador, 242 p.
- Wang, C., Muhammad, A., Liu, Z., Huang, B. & Cao, B. 2016. "Effects of ensiling time on banana Pseudo-Stem silage chemical composition, fermentation and *in sacco* rumen degradation". The Journal of Animal and Plant Science, 26(2): 339-46, ISSN: 1018-7081. <http://www.thejaps.org.pk/docs/v-26-02/06.pdf>.

**Received: February 22, 2023**

**Accepted: July 5, 2023**