

## EVALUACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE COMPOSTA DE RESIDUOS AVÍCOLAS Y CACHAZA

### PHYSICOCHEMICAL EVALUATION OF WASTE COMPOST FROM POULTRY AND SUGARCANE FILTER MUD

Verónica Rosas-Martínez<sup>1</sup>, Daniel Arturo Rodríguez-Lagunes<sup>1</sup>, Régulo Carlos Llerena-Hernández<sup>1</sup>, Nelson Milanés-Ramos<sup>1</sup>, José Octavio Rico-Contreras<sup>2</sup>, Odón Castañeda-Castro<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Camino Peñuela-Amatlán de los Reyes S/N, Amatlán de los Reyes, Veracruz. C.P. 94945. (verodesorcia@gmail.com), (rllarena@uv.mx, darola63@hotmail.com), (nmilanes@yahoo.com). <sup>2</sup>Grupo Pecuario San Antonio, S.A. de C.V. km 335 Carretera federal Fortín-Córdoba S/N C.P. 94540, Colonia San Nicolás, Córdoba, Veracruz, México. (jrico@gporres.com.mx). <sup>3</sup>Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Químicas. Prolongación de Oriente 6 No. 1009. Orizaba, Veracruz. C.P. 94340 (odcastaneda@uv.mx).

#### RESUMEN

El compostaje es una alternativa sostenible de valorización de residuos y conversión en abono orgánico. Bajo la hipótesis de que mezclas de residuos tienen características físicas y químicas que modifican el aporte mineral a los cultivos. El objetivo de este estudio fue evaluar las características físico-químicas de tres compostas obtenidas por la mezcla de residuos avícolas y cachaza de la industria azucarera, como alternativa al uso de insumos minerales. Un experimento completamente al azar se estableció con tres tratamientos y tres repeticiones, cada unidad experimental consistió en una pila dinámica de 2 m de largo, 1 m de ancho y 1 m de alto; en Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. Temperatura, pH y humedad se registraron. Los elementos se cuantificaron por espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados se analizaron con un análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). La composta de pollinaza presentó las concentraciones mayores de nitrógeno, potasio, calcio, sodio, materia orgánica, carbono total, capacidad de intercambio catiónico y densidad aparente. La mezcla de pollinaza y cachaza tuvo las concentraciones mayores de fósforo y magnesio. La composta obtenida a partir de pollinaza presentó una calidad alta para su uso como abono orgánico, por tanto, puede utilizarse como sustrato de cultivos agrícolas.

**Palabras clave:** sector avícola, agroindustria azucarera, abonos orgánicos, contenido elemental.

#### ABSTRACT

Compost is a sustainable alternative of valorization of waste and conversion to organic fertilizer. Under the hypothesis that mixtures of residues have physical and chemical characteristics that modify the mineral supply to crops; the objective of this study was to evaluate the physicochemical characteristics of three composts obtained by mixing poultry waste and sugarcane filter mud from the sugar industry, as an alternative to the use of mineral inputs. A completely randomized experiment was established with three treatments and three replications; each experimental unit consisted of a dynamic pile 2 m long, 1 m wide and 1 m high, in Amatlán de los Reyes, Veracruz, Mexico. Temperature, pH and moisture were recorded. The elements were quantified by atomic absorption spectrophotometry. Results were analyzed with an analysis of variance and the Tukey ( $p \leq 0.05$ ) means comparison test. The poultry waste compost showed the highest concentrations of nitrogen, potassium, calcium, sodium, organic matter, total carbon, cationic exchange capacity and apparent density. The mixture of poultry waste and sugarcane filter mud had the highest concentrations of phosphorus and magnesium. The compost obtained from poultry waste showed a high quality for its use as organic fertilizer, therefore, it can be used as a substrate of agricultural crops.

**Key words:** poultry sector, sugar agroindustry, organic fertilizers, elemental content.

\* Autor para correspondencia ♦ Author for correspondence.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8275-2753>.

Recibido: marzo, 2020. Aprobado: mayo, 2021.

Publicado en *Agrociencia* 55: 291-302. 2021.

## INTRODUCCIÓN

El aumento en los procesos productivos agrícolas e industriales da como resultado generación de residuos de origen animal o vegetal, que conllevan impactos negativos al ambiente, el medio y la salud humana. Debido a ello se buscan alternativas de manejo sostenible para la reducción, reutilización o transformación de dichos residuos (López-Andrés *et al.*, 2018).

La producción de aves para consumo humano es un sector en constante crecimiento por estar vinculado con la demanda de la población. A nivel internacional, México ocupa el séptimo lugar en producción de pollo, detrás de países como Estados Unidos, Brasil, China, Unión Europea, India y Rusia (UNA, 2019). Mientras que, en México en el año 2019, se produjeron 3.55 millones toneladas (Mg), lo cual representa un 2.72% global, con un crecimiento de 2.4% respecto a 2018 (SIAP, 2019).

El aumento de la producción en el sector avícola genera residuos que incluyen estiércol o pollinaza, aves muertas y residuos de la planta de incubación (cascarones, líquido viscoso, embriones no eclosionados, pollitos muertos). La pollinaza de aves es el residuo que se produce en volúmenes mayores, debido a la producción intensiva y al tiempo que dura el ciclo de vida de un pollo. Unas cinco a siete semanas, en las cuales se generan 1.55 kg de estiércol por ave. Lo anterior se convierte en un problema grave por la acumulación y contaminación al ambiente (Rico-Contreras *et al.*, 2017). Por su contenido, la pollinaza emite a la atmósfera gases y olores, generados por la descomposición aeróbica y anaeróbica del material (Chen *et al.*, 2020); aunque el olor no representa riesgos a la salud es inaceptable por la población.

La agroindustria azucarera también genera residuos o subproductos que originan costos adicionales para su manejo y disposición final. Por cada Mg de caña de azúcar procesada (*Saccharum* spp.) se generan entre 25 a 30 kg de cachaza; un residuo orgánico que usualmente se elimina en el proceso de clarificación del jugo de caña de azúcar. Por la necesidad de disminuir la dependencia de agroinsumos químicos en el cultivo, la búsqueda de alternativas sostenibles como las compostas es una opción de agricultura alternativa, porque su incorporación en forma de abonos orgánicos promueve la biodiversidad del suelo. Además, con un manejo adecuado de residuos

## INTRODUCTION

The increase in the agricultural and industrial productive processes results in the generation of residues of animal or plant origin, which have negative impacts to the environment and human health. Therefore, alternatives of sustainable management are searched for the reduction, reutilization or transformation of these residues (López-Andrés *et al.*, 2018).

The production of poultry for human consumption is a sector in constant growth, as it is linked to the demand of the population. At the international level, Mexico occupies seventh place in poultry production, after countries such as the United States, Brazil, China, the European Union, India and Russia (UNA, 2019). In 2019, Mexico produced 3.55 million tons (Mg), which represents 2.72% of world production, with an increment of 2.4% respect to 2018 (SIAP, 2019).

The increase in production in the poultry sector generates residues that include manure or poultry waste, dead birds and residues from the incubation plant (eggshells, viscous liquid, unhatched embryos, dead chicks). Poultry manure is the residue produced in the highest volumes, due to intensive production and the duration time of the life cycle of the chicken, five to seven weeks, in which 1.55 kg of manure are generated per chicken. This becomes a serious problem because of accumulation and contamination of the environment (Rico-Contreras *et al.*, 2017). Due to its content, poultry waste emits gasses and odors to the atmosphere, generated by aerobic and anaerobic decomposition of the material (Chen *et al.*, 2020). Although the odor does not represent risks to health, it is unacceptable for the population.

Sugar industry also generates residues or byproducts that cause additional costs for their management and final disposal. For each Mg of sugarcane (*Saccharum* spp.) processed, 25 to 30 kg of filter mud are generated. This organic residue is usually eliminated in the process of clarification of the sugarcane juice. Due to the need to reduce the dependency of chemical agro-inputs in the crop, the search for sustainable alternatives such as compost is an alternative option for agriculture, because its incorporation in the form of organic fertilizers promotes soil biodiversity. Furthermore, with adequate management of organic residues, sugarcane

orgánicos, la cachaza se transforma por microorganismos que degradan y convierten la materia orgánica en un producto final estable con nutrientes disponibles para ser absorbidos por las plantas (Zhao *et al.*, 2016).

Con la hipótesis de que, en la combinación de estos materiales, al menos una de ellas tendrá las características físico-químicas convenientes para mejorar la absorción nutrimental; el objetivo de esta investigación fue evaluar las características físico-químicas de la composta obtenida a partir de la mezcla de residuos avícolas y cachaza de la industria azucarera para conocer su composición elemental como fuente alternativa de nutrientes para las plantas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Este estudio se realizó en la planta de compostaje del Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba, ubicado en Carretera Federal Córdoba-Veracruz, km. 348.5, en la congregación Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México.

### Colecta de residuos orgánicos

La empresa Grupo Pecuario San Antonio S.A. de C. V. proporcionó los residuos avícolas, pollinaza y residuos de la incubadora: cascarones, líquido viscoso, embriones y pollitos muertos. En tanto que el Ingenio Central El Potrero S. A. de C. V. suministró la cachaza, durante la zafra 2017-2018.

### Preparación de las mezclas de composta

El compostaje se realizó siguiendo la metodología descrita por Román *et al.* (2013). A partir de los residuos orgánicos seleccionados se prepararon tres mezclas, las cuales constituyeron los tratamientos bajo estudio: pollinaza al 100% (T1); pollinaza con cachaza al 1:1 P/V (T2); y residuos de la incubadora (cascarones, embriones, líquido viscoso y pollitos muertos) con cachaza al 3:1 P/V (T3). Después, se formó una pila dinámica con dimensiones (alto x ancho x largo) de 1 x 1 x 2 m, con un peso total de 1 Mg cada una, cubiertas con plástico transparente. Los tratamientos se evaluaron con un diseño completamente al azar dentro del área de compostaje, con tres réplicas por tratamiento.

Durante el proceso de compostaje se realizó aireación por medio de volteos manuales cada 8 d. La temperatura se registró cada 3 d con un termómetro digital (Traceable modelo 4371, Control Products, Estado Unidos). El pH se midió cada 8 d con potenciómetro (Medidor de pH y temperatura Milwaukee Modelo Mi150, Estados Unidos), en disolución agua:suelo en

filter mud is transformed by microorganisms degrading and converting the organic matter into a stable final product with available nutrients that can be absorbed by plants (Zhao *et al.*, 2016).

Our hypothesis was that in combinations of these materials, at least one of them will have the adequate physicochemical characteristics for improving nutrimental absorption. The objective of this study was to evaluate the physicochemical characteristics of the compost from the mixture of poultry residue and sugarcane filter mud to know their elemental composition as an alternative source of nutrients for plants.

## MATERIALS AND METHODS

This study was established at the compost plant of Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba, located at Carretera Federal Córdoba-Veracruz, km. 348.5, in the village Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz, Mexico.

### Collection of organic residues

The firm Grupo Pecuario San Antonio S.A. de C.V. provided the poultry residues, poultry manure and residue from incubators: eggshells, viscous liquid, embryos and dead chicks. The Ingenio Central El Potrero S. A. de C.V. supplied the sugarcane filter mud during the harvest 2017-2018.

### Preparation of the compost mixtures

Compost mixtures were made following the methodology by Román *et al.* (2013). From the organic residues selected, three mixtures were prepared which formed the treatments under study: 100% poultry waste (T1); poultry waste with sugarcane filter mud at 1:1 P/V (T2); and residues of the incubator (eggshells, embryos, viscous liquid and dead chicks) with sugarcane filter mud at 3:1 P/V (T3). Next, a dynamic compost pile was formed with dimensions (height x width x length) of 1 x 1 x 2 m, with a total weight of 1 Mg each one, covered with transparent plastic. Treatments were evaluated with a completely randomized design in the compost area, with three replications per treatment.

During the compost process, aeration was made by manual overturning every 8 d. Temperature was registered every 3 d with a digital thermometer (Traceable model 4371, Control Product, United States). The pH was measured every 8 d with a potentiometer (for pH and temperature, Milwaukee Model Mi150, United States), in a water:soil 1:2 solution. In order to do this, 10 g of compost were taken, to which 20 mL of distilled water were added, then left to rest for 30 minutes (min) to

relación 1:2. Para ello, se tomaron 10 g de composta, se agregaron 20 mL de agua destilada, y se dejó reposar por 30 minutos para el registro de la lectura. La humedad se midió cada 8 d por el método de gravimetría; se pesaron 25 g de muestra que se sometió a un proceso de secado a 70 °C en un horno (Modelo 3488M Imperial V Lib-line, IL, Estados Unidos) por 72 h. Las variables temperatura, pH y humedad se registraron hasta el momento en que las compostas entraron a proceso de enfriamiento o maduración.

#### **Materia orgánica (MO)**

Para cuantificar la MO, se homogenizaron 0.5 g de composta, después se agregó 10 mL de dicromato de potasio 1 N y se agregó ácido sulfúrico concentrado; se dejó reposar por 30 min y se hizo una disolución a 200 mL con agua destilada. Ácido fosfórico al 85% se añadió y 1 mL del indicador difenilamina sulfonato de bario. Por último, se valoró por retroceso con sulfato ferroso hasta obtener un color verde brillante.

#### **Carbono Orgánico (CO)**

La determinación de CO consistió en la oxidación de la muestra con dicromato de potasio y ácido sulfúrico concentrado; con un factor de oxidación de 1.72 y se tituló con dicromato en intervalos de temperaturas de 125 a 150 °C.

#### **Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)**

Para la determinación de la CIC se usó el método de reposo con acetato de amonio 1 N pH 7.0. Para ello se pesaron 10 g de composta seca, se le agregó acetato de amonio 1 N, en seguida se filtró para obtener una solución transparente, para después lavarla con cloruro de amonio y alcohol etílico. El cloruro de sodio y el ácido sulfúrico se utilizaron respectivamente como indicador y reactivo para la titulación.

#### **Densidad Aparente (DA)**

La determinación de la DA consistió en pesar 20 cm de hilo; después se ató un agregado de suelo de aproximadamente 3 a 4 g, se registró el peso y se sumergió en la parafina a punto de solidificar, se dejó enfriar y nuevamente se registró el peso, en seguida se colocó el agregado en una probeta con agua para determinar el volumen desplazado.

#### **Contenido elemental**

La concentración de nitrógeno (N) se realizó por el método micro-Kjeldahl, mientras los elementos fósforo (P), potasio (K),

record data. Moisture was measured every 8 d by the method of gravimetry: 25 g of sample were measured and dried at 70 °C in an oven (Model 3488M Imperial V Lib-line, IL, United States) for 72 h. The variables temperature, pH and moisture were recorded until the time when composts started the process of cooling and ripening.

#### **Organic matter (MO)**

To quantify the MO, 0.5 g of compost were homogenized, then 10 mL of 1 N potassium dichromate were added along with concentrated sulfuric acid. It was left to rest for 30 min; and a solution to 200 mL with distilled water was made. Phosphoric acid at 85% was added along with 1 mL of the indicator barium diphenylamine sulfonate. Finally, a back titration was made with ferrous sulfate until a bright green color was obtained.

#### **Organic Carbon (CO)**

The determination of CO consisted of the oxidation of the sample with potassium dichromate and concentrated sulfuric acid; with an oxidation factor of 1.72, and was titrated with dichromate in temperature intervals of 125 to 150 °C.

#### **Cationic Exchange Capacity (CIC)**

For the determination of CIC, the method of repose in ammonium acetate 1 N pH 7.0 was used. To this end 10 g of dry compost were weighed, 1 N ammonium acetate was added; then it was filtered to obtain a transparent solution, and washed with ammonium chloride and ethylic alcohol. The sodium chloride and the sulfuric acid were used respectively as indicator and reagent for the titration.

#### **Apparent Density (DA)**

The determination of DA consisted of weighing 20 cm of thread; then a soil aggregate of approximately 3 to 4 g was tied, the weight was recorded, and it was submerged in paraffin at the solidifying point. Next, it was left to cool, and the weight was again recorded, then the aggregate was placed in a test tube with water to determine the displaced volume.

#### **Elemental content**

The concentration of nitrogen (N) was made by the micro-Kjeldahl method, while the elements phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg) and sodium (Na) through quantification by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES model 725, Agilent; Mulgrave, Australia) (Alcántar and Sandoval, 1999).

calcio (Ca), magnesio (Mg) y sodio (Na) a través de cuantificación por espectrofotometría de emisión óptica de inducción por plasma acoplado (ICP-OES modelo 725, Agilent; Mulgrave, Australia) (Alcántar y Sandoval, 1999).

#### Análisis estadístico

Las variables físico-químicas evaluadas se sometieron a ANDEVA y prueba de comparación de medias por Tukey ( $p \leq 0.05$ ) con el paquete estadístico SPSS v. 25 (IBM, 2017).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Temperatura

Las compostas evaluadas presentaron comportamiento diferente durante el proceso de compostaje. El T1 (composta de pollinaza) y el T2 (composta de pollinaza y cachaza) presentaron una temperatura inicial de 35.8 y 32.3 °C respectivamente, comparados con el T3 (composta de residuos de la incubadora y cachaza) con 38.4 °C. En los tres tratamientos, la temperatura mostró la oscilación característica del proceso de compostaje. Los primeros 30 d se registraron valores mesófilos que oscilaron de 20 a 40 °C. Después, las temperaturas de 40 a 66 °C indicaron que los tratamientos estaban en la etapa termófila. Luego, en el día 58 se observó un descenso en la temperatura (la temperatura de la composta, al estabilizarse, disminuye hasta alcanzar la temperatura ambiente). Este decremento indicó que, en el proceso de degradación, T2 y T3 alcanzaron la etapa de maduración y enfriamiento. No obstante, el proceso de estabilización del T1 se prolongó por más tiempo, esto debido a la composición del material (Figura 1).

Las amplitudes de temperatura registradas durante el proceso de compostaje fueron similares a las registradas por Riera *et al.* (2014) en la fase termófila. Cuando el establecimiento de actividad microbiana se inicia, comienza también la eliminación de los posibles patógenos presentes en el material; así como de semillas de plantas no deseadas (Jiang *et al.*, 2015). Al mismo tiempo, durante este estudio se alcanzaron temperaturas superiores a 60 °C, mismas que coinciden con lo hallado por Román *et al.* (2013) quienes mencionaron que las temperaturas se elevan de 60 a 70 °C en esta etapa.

### Statistical analysis

The physicochemical variables evaluated were subjected to ANOVA and the Tukey ( $p \leq 0.05$ ) means comparison test with SPSS v. 25 (IBM, 2017).

## RESULTS AND DISCUSSION

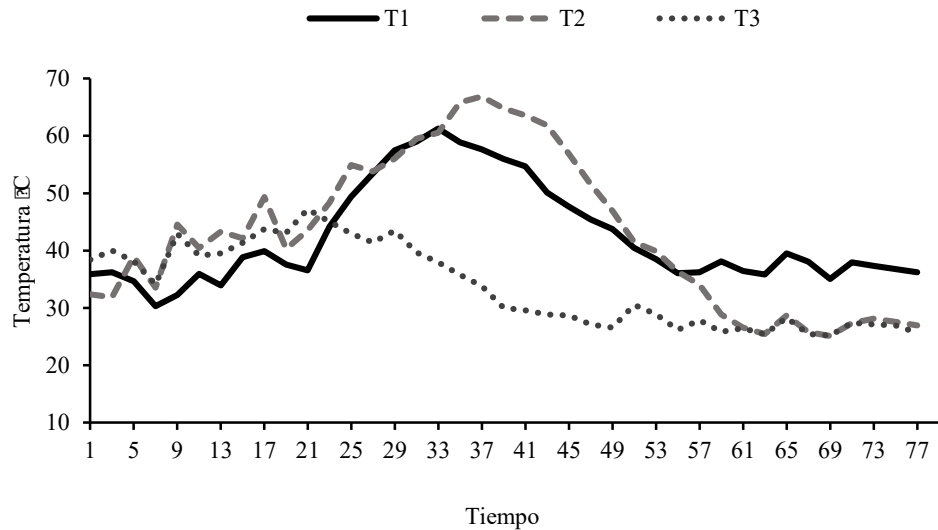
### Temperature

The evaluated composts exhibited different behavior during the compost process. T1 (poultry waste compost) and T2 (poultry waste and sugarcane filter mud compost) showed an initial temperature of 35.8 and 32.3 °C, respectively, compared with T3 (compost of incubator residue and sugarcane filter mud) with 38.4 °C. In the three treatments, the temperature showed the characteristic oscillation of the compost process. The first 30 d mesophilic values were registered oscillating from 20 to 40 °C. Later, the temperatures of 40 to 66 °C indicated that the treatments were in the thermophilic stage. Then, at 58 d a decrease in temperature was observed (compost temperature, at the stabilization stage, decreases until levelling the ambient temperature). This decrease indicated that in the decomposition process, T2 and T3 reached the stage of ripening and cooling. However, the stabilization process of T1 was extended for more time, due to the composition of the material (Figure 1).

Temperature intervals registered during the compost process were similar to those observed by Riera *et al.* (2014) in the thermophilic stage. When the establishment of microbial activity initiates, it also the elimination starts of the possible pathogens in the material; as well as seeds of undesired plants (Jiang *et al.*, 2015). At the same time, temperatures above 60 °C were reached during this study, which coincides with what was found by Román *et al.* (2013) who reported temperatures that increased from 60 to 70 °C in this stage.

### Oscillation of the pH

The pH registered variations in the compost samples of the three treatments during the process. T1 (poultry waste compost) showed a neutral value



**Figura 1. Variación de temperatura durante el proceso de compostaje de residuos avícolas y cachaza de la industria azucarera. T1: composta de pollinaza, T2: composta de pollinaza y cachaza, T3: composta de residuos de la incubadora y cachaza.**  
**Figure 1. Variation of temperature during the compost process of poultry residues and sugarcane filter mud from sugar industry. T1: poultry residue compost, T2: compost of poultry residue and sugarcane filter mud, T3: compost of incubator residues and sugarcane filter mud.**

### Oscilación del pH

El pH registró variaciones en las muestras de composta de los tres tratamientos durante el proceso. El T1 (composta de pollinaza) presentó al inicio un valor neutro de pH de 7.12, en el día 28 este valor bajó a 6.8 y finalizó con un pH estable de 7.70. Por tanto, el T2 (composta de pollinaza y cachaza) mostró un valor inicial de 7.16, a los 21 d presentó una disminución a 6.33 y en días posteriores al proceso registró un valor neutro de 7.18. En tanto que el T3 (composta de residuos de la incubadora y cachaza) presentó un pH mínimo de 6.21 y un máximo de 7.38, pero en la recta final el pH mostró una completa disminución finalizando el proceso con un pH ácido de 6.4 (Figura 2).

Los valores de pH registrados en los tres tratamientos oscilaron entre 6.21 y 7.70 y de acuerdo con la NMX-FF-109-SCFI-2008 son valores aceptables ya que se encuentran dentro del intervalo óptimo. Sin embargo, durante el proceso de compostaje se presentaron variaciones en pH; disminuyó y se incrementó de nuevo hasta alcanzar neutralidad; esto coincide con Román *et al.* (2013). Los cambios en pH se considera que son resultado de la composición química, del contenido de estiércol y la actividad microbiana (Haroon *et al.*, 2018).

of pH of 77.12 at the start, on day 28. This value decreased to 6.8 but ended at a stable pH of 7.70. Therefore, for T2 (compost of poultry waste and sugarcane filter mud) there was an initial value of 7.16, it decreased to 6.33 at 21 d, and a neutral value of 7.18 was established a few days after the process. On the other hand, T3 (compost of incubator residues and sugarcane filter mud) showed a minimum pH of 6.21 and a maximum of 7.38; but at the end the pH showed a complete decrement; thus, ending the process with an acid 6.4 pH (Figure 2).

### Moisture

Moisture attained values of 40 to 60%, for T1 (poultry waste compost) the percentage of moisture remained stable throughout the process. In contrast, T2 (compost of poultry waste and sugarcane filter mud) presented a slight decrease on day 56. Similarly, T3 (compost of incubator residues and sugarcane filter mud) at day 28 started a decrease in moisture until 49 d; and later it increased more than 50% (Figure 3).

Moisture is an important factor, due to organisms utilize water for metabolic processes. Therefore, moisture variations observed in the compost piles could be attributed to the application of water to

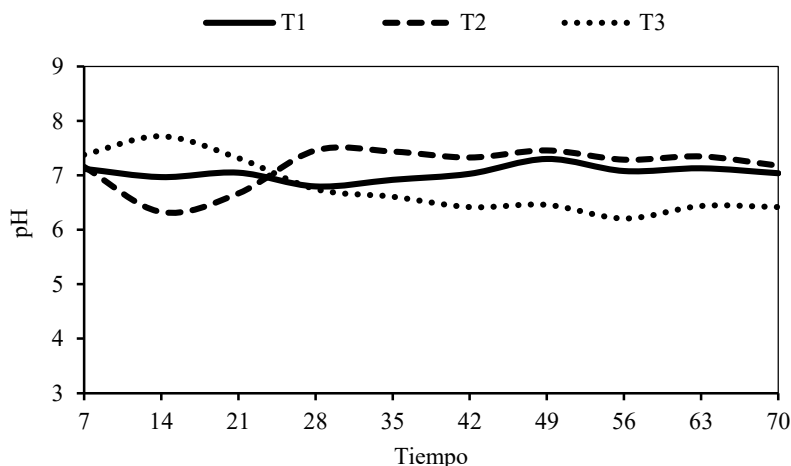


Figura 2. Variación de pH durante el proceso de compostaje en los tres tratamientos. T1: composta de pollinaza, T2: composta de pollinaza y cachaza, T3: composta de residuos de la incubadora y cachaza.

Figure 2. Variation of pH during the compost process in the three treatments. T1: poultry waste compost, T2: compost of poultry waste and sugarcane filter mud, T3: compost of incubator residues and sugarcane filter mud.

### Humedad

La humedad registró valores del 40 a 60%, para el T1 (composta de pollinaza) el porcentaje de humedad permaneció estable durante todo el proceso. En contraste el T2 (composta de pollinaza y cachaza) presentó una ligera disminución en el día 56. Así mismo, el T3 (composta de residuos de la incubadora y cachaza) en el día 28 presentó una disminución en la humedad hasta el día 49 y después se incrementó a más del 50% (Figura 3).

La humedad es un factor importante debido a que los organismos utilizan el agua para realizar los procesos metabólicos; por ello las variaciones de humedad registradas en las pilas de composta podrían atribuirse a la aplicación de riego a las pilas. Los resultados en humedad de la composta se situaron dentro de los niveles óptimos (40 a 60%) y coincidieron con lo documentado por Riera *et al.* (2014) quienes mencionaron que un contenido de humedad bajo evita el proceso de fermentación, mientras que contenidos superiores a 75% detienen el proceso de compostaje.

### Características de las compostas

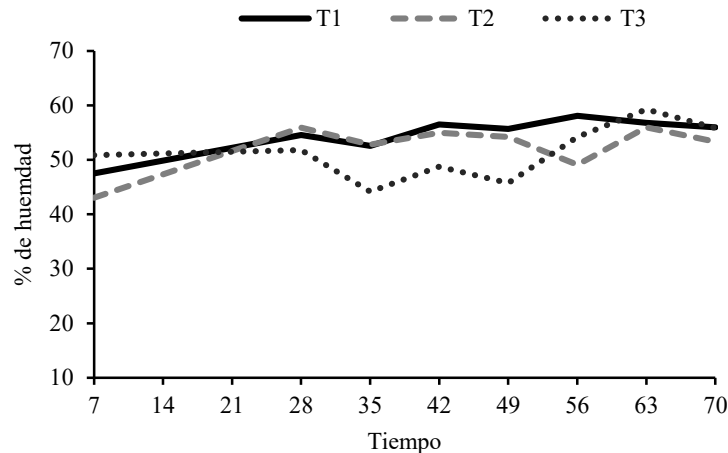
Los resultados finales registrados para las muestras de composta presentaron un pH alcalino de 7.7 en el T1 (composta de pollinaza); en el T2 (composta de pollinaza y cachaza) un pH neutro de 7.2. En el

the piles. Results in compost moisture content were within the optimum levels (40 to 60%) and coincided with what was documented by Riera *et al.* (2014). Those authors mentioned that a low moisture content prevents fermentation, while those above 75% detain the compost process.

### Characteristics of the composts

The ending results recorded for the compost samples showed an alkaline pH of 7.7 for T1 (poultry waste compost), in T2 (compost of poultry waste and sugarcane filter mud) a neutral pH of 7.2. In the case of T3 (compost of incubator residues and sugarcane filter mud) an acid pH of 5.9 was recorded. Therefore, the properties of the residues affected the decomposition and their properties (Figure 4A). T1 (poultry waste compost) presented the highest content of organic matter (MO), 13.77% (Figure 4 B). The cationic exchange capacity (CIC) was favored and reached 49 mEq 100 g<sup>-1</sup> (Figure 4D). Organic carbon (CO) content was 7.9% (Figure 4 C), and the apparent density showed a value of 690 kg m<sup>-3</sup> (Figure 4 E).

The pH provides information respect to the fermentation type that is present in the process and varies according to the type of organic residue used. The final values of pH were between 7.04 and 7.85; they are considered optimal values that can improve



**Figura 3. Humedad relativa de las pilas dinámicas durante el proceso compostaje. T1: composta de pollinaza, T2: composta de pollinaza y cachaza, T3: composta de residuos de la incubadora y cachaza.**

**Figure 3. Relative moisture content in dynamic piles during the compost process. T1: poultry waste compost, T2: compost of poultry waste and sugarcane filter mud, T3: compost of incubator residues and sugarcane filter mud.**

caso del T3 (composta de residuos de la incubadora y cachaza) se registró un pH ácido de 5.9. Por lo tanto, las propiedades de los residuos afectaron la descomposición y sus propiedades (Figura 4 A). El T1 (composta de pollinaza) presentó el contenido de materia orgánica (MO) más alto, 13.77% (Figura 4 B). La capacidad de intercambio catiónico (CIC) se favoreció y alcanzó 49 mEq 100 g<sup>-1</sup> (Figura 4 D). El carbono orgánico (CO) presentó un 7.9% (Figura 4 C) y la densidad aparente registró un valor de 690 kg m<sup>-3</sup> (Figura 4 E).

El pH brinda información respecto al tipo de fermentación que está presente en el proceso y varía de acuerdo con el tipo de residuo orgánico utilizado. Los valores finales de pH encontrados se situaron entre 7.04 y 7.85; se consideran valores óptimos que pueden mejorar la calidad del suelo, en el intervalo establecido por la norma mexicana NMX-AA-180-SCFI-2018. Ésta refiere que las compostas terminadas se encuentran en el intervalo de 6.7 a 8.5.

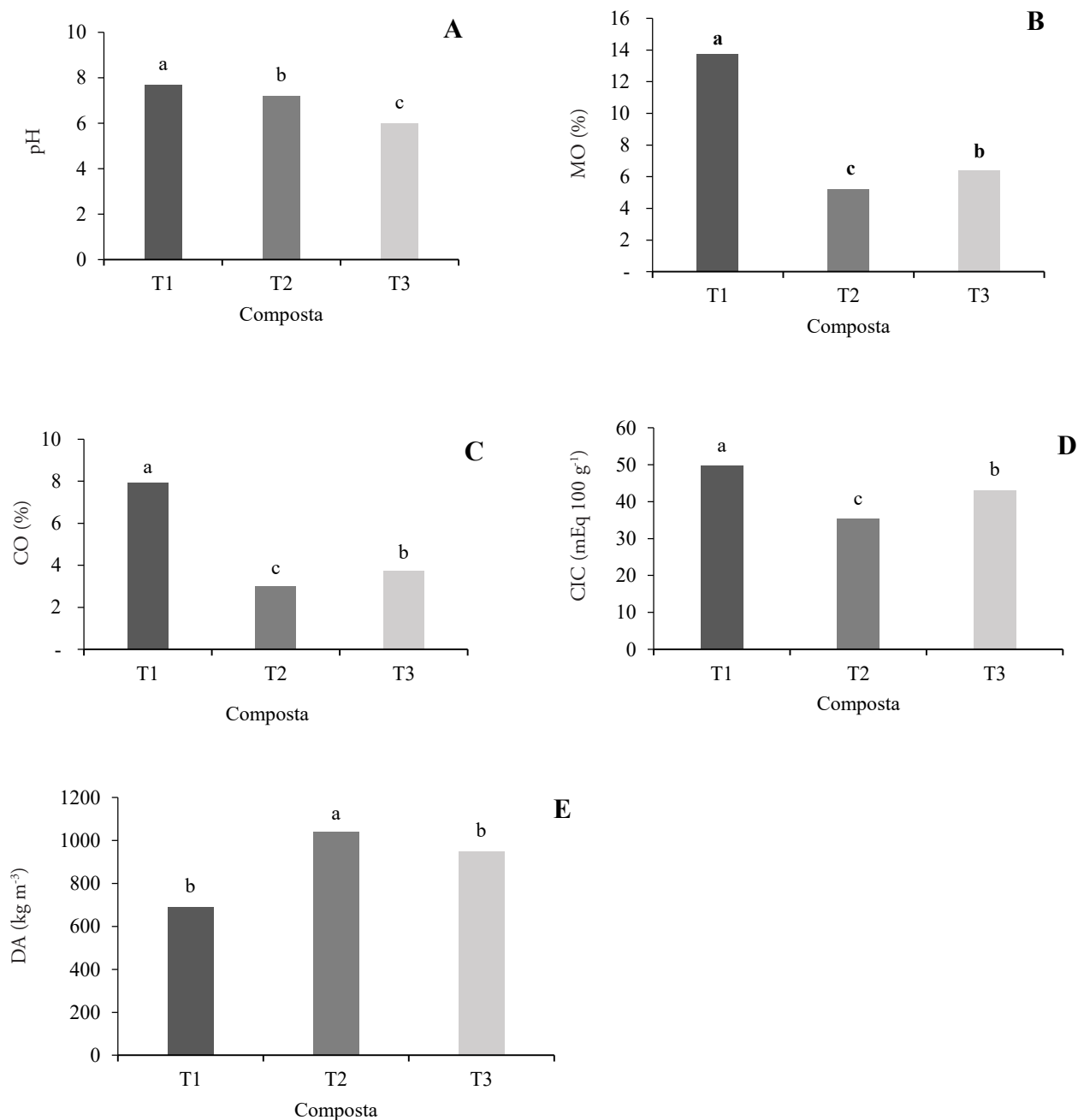
En diferentes cultivos, el uso de composta ha mostrado grandes beneficios, por ejemplo, el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) respondió favorablemente a la aplicación de composta con fertilizantes químicos y resultó ser una buena alternativa sostenible para los sistemas de producción agrícola (Luna *et al.*, 2016). En el caso de semillas de boniato [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.], la aplicación de composta garantizó la producción de material de buena calidad (Simo *et al.*, 2018). En cultivos de lechuga (*Lactuca*

soil quality according to the interval established by the Mexican standard NMX-AA-180-SCFI-2018. This indicates that the finished composts pH values are in the interval of 6.7 to 8.5.

In different crops, the use of compost has shown great benefits, for example, the potato crop (*Solanum tuberosum*). It responded favorably to the application of compost with chemical fertilizers and compost was a good sustainable alternative for agricultural production systems (Luna *et al.*, 2016). In the case of boniato seeds [*Ipomoea batatas* (L.) Lam.], the application of compost guaranteed the production of good quality material (Simo *et al.*, 2018). In lettuce crops (*Lactuca sativa*), it contributed with a positive effect on growth and plant development, as well as improving soil fertility and increasing organic matter content (Neri *et al.*, 2017).

Regarding the sugarcane crop, the application of 5 Mg ha<sup>-1</sup> of compost with 75% of mineral fertilizer, caused a positive effect on the agricultural yield (Rodríguez *et al.*, 2017). All the above shows that the use of organic fertilizers alone or in combination with fertilizer has a high potential in agricultural production. However, the highest impact is shown in the reduction of costs from the application of chemical fertilizers and in the increase of soil fertility (Volverás-Mambusca *et al.*, 2020).

The ending results registered in T1 (poultry waste compost) for the carbon variable, indicated that the organic carbon is linked to the amount and



**Figura 4.** Características de las compostas obtenidas de las mezclas de residuos avícolas más cachaza. A) pH, B) materia orgánica (MO, %), C) carbono orgánico (CO, %), D) capacidad de intercambio catiónico (CIC, mEq 100 g<sup>-1</sup> de sustrato) y E) densidad aparente (DA, kg m<sup>-3</sup>). T1: composta de pollinaza, T2: composta de pollinaza y cachaza, T3: composta de residuos de la incubadora y cachaza. Medias con letras distintas en columnas indican diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ ).

**Figure 4.** Characteristics of the composts obtained from the mixtures of poultry residues plus sugarcane filter mud, A) pH, B) organic matter (MO, %), C) organic carbon (CO, %), D) cationic exchange capacity (CIC, mEq 100 g<sup>-1</sup> of substrate) and E) apparent density (DA, kg m<sup>-3</sup>). T1: poultry waste compost, T2: compost of poultry waste and sugarcane filter mud, T3: compost of incubator residues and sugarcane filter mud. Means with different letters in columns indicate statistical difference ( $p \leq 0.05$ ).

*sativa*) presentó un efecto positivo en el crecimiento y desarrollo de las plantas, así como mejoró fertilidad del suelo e incrementó materia orgánica (Neri *et al.*, 2017).

Respecto al cultivo de caña de azúcar, la aplicación de 5 Mg ha<sup>-1</sup> de composta con 75% de fertilizante mineral, presentó efecto positivo en el rendimiento agrícola (Rodríguez *et al.*, 2017). Todo lo anterior muestra que el uso de abonos orgánicos solos y en combinación con fertilizante tiene un alto potencial en la producción agrícola. Aunque el impacto mayor se evidencia en la disminución de costos por aplicación de fertilizantes químicos y en el incremento de la fertilidad del suelo (Volverás-Mambusca *et al.*, 2020).

Los resultados finales registrados en el T1 (composta de pollinaza) para la variable de carbono, indicaron que el carbono orgánico se vincula con la cantidad y disponibilidad de nutrientes, y también está asociado con la materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y la distribución del espacio poroso del suelo. Por eso, en el caso de esta variable, el T1 (composta de pollinaza) es el más recomendable.

Los valores encontrados en CIC se asocian con el contenido de carbono orgánico. Al tener una concentración mayor existe una retención de los elementos necesarios para la planta, lo cual favorece la fertilidad del suelo. Respecto a la densidad aparente, los resultados del T1 (composta de pollinaza) obtenidos se encontraron entre 400 y 700 kg m<sup>-3</sup> lo cual indica una buena porosidad, así como aireación y drenaje adecuados. La densidad aparente final es el resultado de una degradación mayor y una reducción en el tamaño de partículas, afectadas por humedad y materia orgánica (López *et al.*, 2017).

### Contenido elemental

Los resultados de este estudio muestran que el T1 (composta de pollinaza) presenta mayor concentración de nitrógeno, potasio, calcio y sodio, comparado con los demás tratamientos. Sin embargo, el T2 (composta de pollinaza y cachaza) mostró concentraciones mayores de fósforo y magnesio. Mientras tanto, el tratamiento con residuos de incubadora y cachaza (T3) presentó los contenidos elementales más bajos, a excepción del nitrógeno (Cuadro 1).

availability of nutrients, and is also associated with the organic matter, the cationic exchange capacity and the distribution of porous space in the soil. Therefore, in the case of this variable, T1 (poultry waste compost) is the most recommendable.

Values found in the CIC are associated with the content of organic carbon. When there is a higher concentration, there is a retention of the elements necessary for the plant, which favors soil fertility. Regarding apparent density, the results of T1 (poultry compost) obtained were between 400 and 700 kg m<sup>-3</sup> indicating good porosity, as well as adequate aeration and drainage. The final apparent density is the result of a higher decomposition and a decrease in the size of particles, affected by moisture and organic matter content (López *et al.*, 2017).

### Elemental content

The results of this study show that T1 (poultry waste compost) allowed a higher concentration of nitrogen, potassium, calcium and sodium, compared with the other treatments. However, T2 (compost of poultry waste and sugarcane filter mud) showed higher concentration of phosphorus and magnesium. Meanwhile, the treatment with incubator residues and sugarcane filter mud (T3) caused the lowest elemental contents, except nitrogen (Table 1).

The potassium recorded in T1 (poultry compost) and T2 (compost of poultry waste and sugarcane filter mud) coincides with the results obtained by Asma *et al.* (2018) in compost of poultry manure with the addition of 50% of sugarcane residues. Anwar *et al.* (2017) in their study with poultry manure and garden pruning residue obtained a higher concentration of potassium. Another study of compost with a mixture of poultry manure and cypress residue showed high contents of N, P, Ca, Na and Mg (Haroon *et al.*, 2018). Results obtained in this study showed an elemental increment directly related to time of decomposition and mineralization of organic residues. Therefore, these composts are considered ideal for agriculture.

### CONCLUSIONS

The reutilization of poultry residues such as poultry waste and sugarcane filter mud through compost is a sustainable alternative. The highest

**Cuadro 1. Comparación de medias del contenido nutrimental de las compostas obtenidas de residuos avícolas.****Table 1. Comparison of means of the elemental content of the composts obtained from poultry waste.**

Residuos orgánicos	N	P	K	Ca	Mg	Na
				g kg <sup>-1</sup>		
T1	4.30a	11.99b	9.17a	4.51a	9.24b	3.93a
T2	2.22b	12.49a	8.58b	4.40a	10.81a	1.02b
T3	3.80a	0.71c	2.94c	1.79b	4.35c	0.31b

T1: composta de pollinaza, T2: composta de pollinaza y cachaza, T3: composta de residuos de la incubadora y cachaza). N: nitrógeno, P: fósforo, K: potasio, Ca: calcio, Mg: magnesio, Na: sodio. Las medias con letras distintas en las columnas indican diferencias estadísticas significativas entre tratamientos ( $p \leq 0.05$ ). ♦ T1: poultry waste compost, T2: compost of poultry waste and sugarcane filter mud. N: nitrogen, P: phosphorus, K: potassium, Ca: calcium, Mg: magnesium, Na: sodium. Means with different letters in the columns indicate statistical differences among treatments ( $p \leq 0.05$ ).

El potasio registrado en el T1 (composta de pollinaza) y T2 (composta de pollinaza y cachaza), coincide con los resultados obtenidos por Asma *et al.* (2018) en composta de estiércol de aves y adición del 50% de residuos de caña de azúcar. Anwar *et al.* (2017) en su estudio con estiércol de aves y residuos de podas de jardín obtuvieron una mayor concentración de potasio. Otro estudio de composta con mezcla de estiércol de pollo y residuos de ciprés mostró contenidos altos de N, P, Ca, Na y Mg (Haroon *et al.*, 2018). Los resultados obtenidos en este estudio presentaron un incremento elemental a medida que transcurrió el tiempo de degradación y mineralización de residuos orgánicos. Por lo tanto, estas compostas se consideran ideales para su uso en agricultura.

## CONCLUSIONES

La reutilización de residuos avícolas como la pollinaza y la cachaza a través del compostaje es una alternativa sostenible. La mayor concentración de nitrógeno, potasio, calcio y sodio, al final del proceso, se registró en la composta elaborada a partir de pollinaza.

Esta composta también mostró los contenidos mayores de materia orgánica, pH, carbono orgánico; así como capacidad de intercambio catiónico y densidad aparente mayores. Por lo tanto, la composta de pollinaza se considera y recomienda como una alternativa sostenible para los sistemas de producción agrícola.

concentration of nitrogen, potassium, calcium and sodium, at the end of the process, was observed in the compost made from poultry waste.

This compost also presented the highest content of organic matter, pH, organic carbon; also, higher cationic exchange capacity, and apparent density. Thus, composted poultry waste is considered and recommended as a sustainable alternative for agricultural production systems.

## ACKNOWLEDGEMENTS

To Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) for their support through the doctoral grant No. 301506; Ciencias Agropecuarias, Universidad Veracruzana.

—End of the English version—

—\*—

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología CONACYT por el apoyo de la beca doctoral No. 301506; Ciencias Agropecuarias, Universidad Veracruzana.

## LITERATURA CITADA

- Alcántar G., G., y M. Sandoval V. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publ. Esp. No. 10. Soc. Mex. Cienc. Suelo. Chapingo, México. 156 p.
- Anwar Z., M. Irshad., M. Bilal., F. Hafeez., U. Irshad., and G. Owen. 2017. Changes in availability of plant nutrients during composting of cow manure with poplar leaf litter. *Compost Sci. Utilization*. 25:242-50. doi:10.1080/1065657X.2017.1300547.
- Asma S., F. Iftikhar., I. Muhammad., M. Qaisar., A. Egrinya E., and S. Muhammad. 2018. Transformations of phosphorus and other plant nutrients in poultry litter composted with sugarcane and cabbage wastes. *Compost Sci. Utilization*. 26: 114-127.
- Chen H., K. Sanjeev A., T. Liu., Y. Duan., X. Ren., Z. Zhang., A. Pandey., and A. Kumar M. 2020. Effects of microbial culture and chicken manure biochar on compost maturity and greenhouse gas emissions during chicken manure composting. *J. Hazard. Mat.* 9 p.
- Haroon B., A. Abbasi M., P. Faridullah, A. Pervez, and M. Irshad. 2018. Chemical characterization of cow manure and poultry manure after composting with Privet and Cypress residues. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 49: 2854-2866. DOI: 10.1080/00103624.2018.1546873.
- Jiang J., X. Liu, Y. Huang, and H. Huang. 2015. Inoculation with nitrogen turnover bacterial agent appropriately increasing nitrogen and promoting maturity in pig manure composting. *Waste Manage.* 39: 78-85. DOI: org/10.1016/j.wasman.2015.02.025.
- López-Andrés J., J., A. A. Aguilar-Lasserre., L. F. Morales-Mendoza., C. Azzaro-Pantel., J. R. Pérez-Gallardo., and J. J. Rico-Contreras. 2018. Environmental impact assessment of chicken meat production via an integrated methodology based on LCA, simulation and genetic algorithms. *J. Cleaner Prod.* 174: 477-491.
- López B., E. R., A. Andrade J., S. Herrera M., C. González O., and C. García de la Figal A. 2017. Properties of a compost obtained starting from residuals of the production of sugar cane. *Agric. Center Magaz.* 44: 49-55.
- Luna M., R., A., K. Espinosa C., R. Trávez T., C. Ulloa M., A. Espinoza C., y A. Bejarano A. 2016. Respuesta de variedades de papa (*Solanum tuberosum*, L) a la aplicación de abonos orgánicos y fertilización química. *Cienc. Tecnol.* 9: 11 - 16.
- Neri Ch., J., C., R. Collazos S., E. Huamán H., y M. Oliva. 2017. Aplicación de abonos orgánicos y biofertilizante en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.), distrito de Chachapoyas. *Agroprod. Sustentable* 1: 38 - 46.
- Rico-Contreras J., O., A. A. Aguilar-Lasserre., J. M. Méndez-Contreras., J. J. López-Andrés., and G. Cid-Chama. 2017. Moisture content prediction in poultry litter using artificial intelligence techniques and Monte Carlo simulation to determine the economic yield from energy use. *J. Environ. Manage.* 202: 254-267.
- Riera N., I., V. Della T., P. Rizzo F., Butti M., F. Bressan M., C. Zarate N., D. Weigandt. y C. Crespo. 2014. Evaluación del proceso de compostaje de dos mezclas de residuos avícolas. *Rev. Fac. Cienc. Agrarias* 46: 195 - 203.
- Rodríguez I., H. Pérez I., y W. Jara O. 2017. Efecto del compost en el rendimiento agrícola de caña de azúcar en el Ingenio Valdez. *Rev. Cumbres* 3:119 - 126.
- Román, P., M. Martínez M., y A. Pantoja. 2013. Manual del compostaje del agricultor, experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Oficina Regional para América Latina y del Caribe. Santiago de Chile. 112 p.
- SIAP (Sistema de información agroalimentaria y pesquera). 2019. Anuario estadístico de la producción agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/> (Consultado: mayo 2020).
- Simo G., J., E., E. Espinosa C., A. Espinosa C., F. de Almeida M., y R. Espinosa E. 2018. Aplicación de abonos orgánicos en la producción de material de propagación en el cultivo del boniato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.). *Agric. Trop.* 4:10 - 21.
- UNA (Unión de avicultores). 2019. Situación de la avicultura mexicana. <https://una.org.mx/industria/#:~:text=Durante%202019%20la%20industria%20av%20C3%ADcola,6%20de%20cada%2010%20kg.&text=En%202019%20la%20avicultura%20mexicana,36.6%25%20en%20el%20PIB%20pecuario.> (Consultado: noviembre 2020).
- Volverás-Mambusca B., C. F. González-Chavarro., B. Huertas., E. Kopp-Sanabria., and J. Ramírez-Durán. 2020. Effect of the organic and mineral fertilizer on the performance of sugarcane yield in Nariño, Colombia. *Agron. Mesoam.* 31: 547-565. <http://doi:10.15517/am.v31i3.37334>.
- Zhao, X., X. He, B. Xi, R. Gao, W. Tan, H. Zhang, and D. Li. 2016. The evolution of water extractable organic matter and its association with microbial community dynamics during municipal solid waste composting. *Waste Manage.* 56: 79-87.