



Compostaje para la reducción de excretas de aves (*Gallus gallus domesticus*)¹

Composting for the reduction of bird droppings (*Gallus gallus domesticus*)

Verónica Rosas-Martínez², Noé Aguilar-Rivera²

¹ Recepción: 9 de diciembre, 2020. Aceptación: 8 de julio, 2021. Este trabajo formó parte del proyecto de titulación de Doctorado en Ciencias Agropecuarias de la primera autora. Universidad Veracruzana, México.

² Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Carretera Peñuela-Amatlán de los Reyes S/N, C. P. 94945. Córdoba, Veracruz, México. verodesorcia@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0003-2458-5747>), naguilar@uv.mx (autor para la correspondencia, <https://orcid.org/0000-0002-7833-6749>).

Resumen

Introducción. El crecimiento de la población y el consumo de fuentes de proteína como la carne de pollo, ha maximizado la generación de residuos avícolas (pollinaza), esto conlleva a desarrollar alternativas de manejo eficiente para la conversión de estos residuos en subproductos como los fertilizantes orgánicos. Numerosas investigaciones concluyen el efecto notable de la composta obtenida de residuos avícolas sobre el desarrollo y crecimiento de las cosechas, que aportan alto contenido de nutrimentos esenciales como enmienda en la agricultura agroecológica dentro de la economía circular y el desarrollo sustentable de la producción. **Objetivo.** Realizar una revisión sobre los planes de manejo de los residuos provenientes del sector avícola a través del compostaje para su uso en la agricultura en la región de Córdoba, Veracruz, México. **Desarrollo.** El estudio se llevó a cabo entre enero y junio de 2020, a través de una exhaustiva búsqueda bibliográfica y el análisis de experiencias locales en la producción de abonos orgánicos con campesinos. En esta revisión y con el trabajo de campo, los resultados establecieron que en la región es posible obtener diversos tipos de abono con la incorporación de excretas de aves, y las tecnologías de producción de composta, lombricomposta y bocashi de forma individual o en mezcla con otros subproductos regionales como los derivados de la industria azucarera, café, pecuaria etc. Se obtienen nutrimentos como nitrógeno de 2,08-2,34 %, fósforo 4,01-4,27 %, potasio 2,37-4,56 %, calcio 10,36-12,93, y magnesio 0,90-1,16 %, disponibles para su uso. **Conclusión.** Los subproductos avícolas tienen un gran potencial para generar alternativas de reúso mediante tecnologías de aplicación rural sin una inversión significativa y estrategias de manejo de residuos.

Palabras claves: sector avícola, pollinaza, compostaje, abonos orgánicos'.

Abstract

Introduction. The growth of the population and the consumption of protein sources such as chicken meat, have maximized the generation of poultry waste (chicken manure), this leads to the development of efficient management alternatives for the conversion of this waste into by-products such as organic fertilizers. Numerous investigations conclude the remarkable effect of compost obtained from poultry waste on the development and growth of crops, which provide high content of essential nutrients as an amendment in agroecological agriculture, within the circular



economy and the sustainable development of production. **Objective.** To carry out a review on the management plans of waste from the poultry sector through composting for use in agriculture in the region of Cordoba Veracruz Mexico. **Development.** The study was carried out between January and June 2020, through an exhaustive bibliographic search and the analysis of local experiences in the production of organic fertilizers with farmers. In this review and with the field work, the results established that in the region it is possible to obtain various types of compost with the incorporation of poultry waste, and the technologies of compost, vermicompost, and bocashi production individually or in a mixture with other regional by-products such as those derived from the sugar industry, coffee, livestock, etc. Nutrients such as nitrogen of 2.08-2.34 %, phosphorus 4.01-4.27 %, potassium 2.37-4.56 %, calcium 10.36-12.93, and magnesium 0.90-1.16 % are obtained and available for use. **Conclusion.** Poultry by-products have a great potential to generate reutilization alternatives through rural application technologies without significant investment and waste management strategies.

Keywords: poultry sector, chicken manure, composting, manures.

Introducción

El incremento en la producción agrícola e industrial, así como en actividades antropogénicas, dan como resultado la generación de residuos o subproductos agroindustriales de origen animal o vegetal, lo que conlleva a impactos socioeconómicos, ambientales y de salud humana (Esteban & Ladero, 2018; Senthilkumar et al., 2020).

La carne de pollo es la más consumida en todo el mundo, con más de 13 kg per cápita/año del consumo total de carne que es 35,4 kg per cápita/año, lo cual está relacionado con varios aspectos como son el nivel de vida, la dieta, la producción y el precio de la carne (Holloway & Wu, 2019; Stiborova et al., 2020). La carne de pollo es baja en grasa, lo que la convierte en la carne de mayor consumo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2013; Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, & Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [OECD & FAO], 2016; Molaey et al., 2018). Este consumo, en el sector avícola (pollo, gallina ligera y pesada que ha finalizado su ciclo productivo), genera cada vez más residuos, subproductos sólidos orgánicos y aguas residuales (Asses et al., 2019; Lakshmi et al., 2020).

El manejo de los residuos y subproductos avícolas generados y los riesgos asociados a estos como la formación de lixiviados en sitios de disposición final o a cielo abierto, que arrastran consigo sustancias tóxicas que pueden contaminar los cuerpos de agua y suelo, generan eutrofización, degradación y liberan gases con efecto invernadero (Herrero et al., 2016; Hubbard et al., 2020; Fernández-Nieto & Betancourt-González, 2018; Qian et al., 2018). El sector avícola debe enfocarse a una economía circular, para prolongar la vida útil de los subproductos y reutilización a través del proceso de compostaje, debido a que el estiércol de pollo presenta alta concentración de nutrimentos (Buratti et al., 2015; Chojnacka et al., 2020; Li et al., 2021; Ravindran et al., 2017; Riaz et al., 2020).

La producción de carne de pollo es una de las más rentables agroindustrias y se considera a nivel ambiental equivalente con la producción de otros cárnicos, debido a la conversión alimentaria de las aves en proteína disponible y uso potencial de subproductos (Nijdam et al., 2012; Swain et al., 2018). Los planes de manejo racional permiten limitar la acumulación de estiércol, los posibles efectos perjudiciales y la contaminación ambiental (El-Daka et al., 2021). Este trabajo tuvo como objetivo realizar una revisión de los planes de manejo de los residuos provenientes del sector avícola a través del compostaje para su uso en la agricultura en la región de Córdoba Veracruz México.

Sector avícola en México

México ocupa el séptimo lugar en producción de carne pollo (Figura 1), detrás de Estados Unidos, Brasil, China, Unión Europea, India y Rusia (Unión Nacional de Avicultores [UNA], 2019). En 2019 se alcanzó una producción de 130,5 millones de toneladas de carne de pollo a nivel mundial (United States Department of Agriculture [USDA], 2020). A nivel nacional en el mismo año, se produjeron 3 625 000 toneladas, con un crecimiento de 2,4 % respecto a 2018 (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2019).

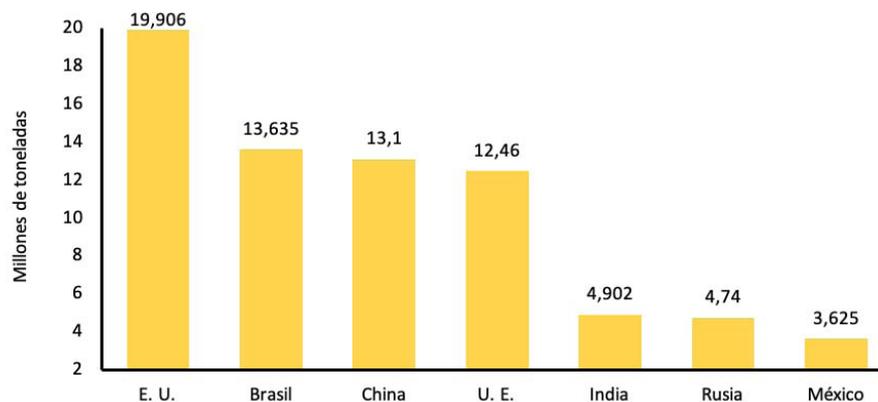


Figura 1. Principales países productores de carne de pollo a nivel mundial (UNA, 2019).

Figure 1. Main chicken meat producing countries worldwide (UNA, 2019).

En México, durante el 2019, los estados con la mayor producción de carne de pollo en comparación a otras fuentes de proteína animal fueron: Veracruz, Jalisco, Aguascalientes, Querétaro, La Laguna (Coahuila y Durango), Puebla, Chiapas, Guanajuato, Yucatán, Sinaloa, Estado de México, Nuevo León, San Luis Potosí, Morelos, Hidalgo y Nayarit (Figura 2 y 3), donde se generó el 79 % de la carne de pollo que se produjo, la cual tuvo una tendencia de consumo más estable durante los meses del año, a diferencia de otro tipo de cárnicos, debido a diversos factores socioeconómicos, culturales y religiosos (Consejo Mexicano de la Carne [COMECARNE], 2019) (Cuadro 1).

La comercialización de pollo en el país, se lleva cabo de la siguiente manera: vivo 37 %, rostizado 37 %, mercado público 9 %, supermercado 3 %, piezas 11 % y productos de valor agregado 3 % (UNA, 2019).

La agroindustria avícola continuó es la actividad pecuaria más dinámicas y representa el 63,3 % de la producción total. En 2019 la avicultura mexicana aportó el 0,89 % en el PIB total, el 28,01 % en el PIB agropecuario y el 36,6 % en el PIB pecuario (UNA, 2019).

En el sector productivo avícola, es el más fortalecido en crecimiento, producción y consumo. La carne de pollo es la principal proteína de consumo que genera mayor cantidad de estiércol, resultado del proceso de engorde, el cual tiene un ciclo de vida corto que comprende de cinco a siete semanas. En este tiempo, se generan 1,55 kg de estiércol por ave, esto se convierte en un problema de salud pública por acumulación y contaminación al medio ambiente (Rico-Contreras et al., 2017; Skunca et al., 2018).

Los residuos avícolas denominados “gallinaza” o “pollinaza” están catalogados como residuos de manejo especial de acuerdo con la NORMA Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011, que establece los criterios para clasificar

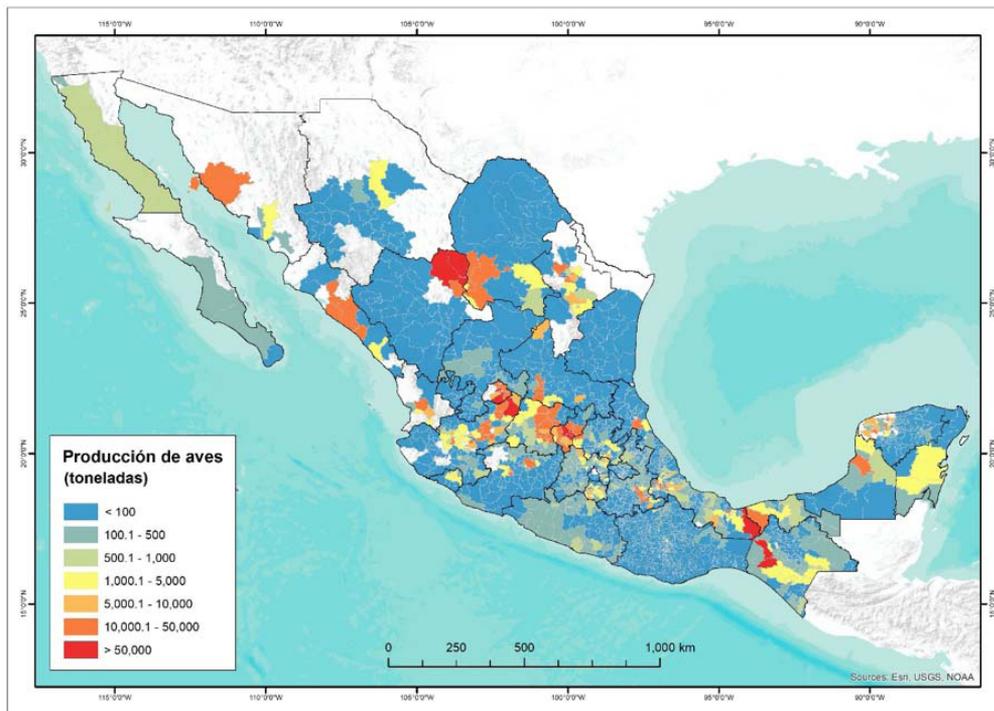


Figura 2. Producción de aves en México en 2019 (con datos del SIAP, 2020).

Figure 2. Poultry production in Mexico in 2019 (Data from SIAP, 2020).

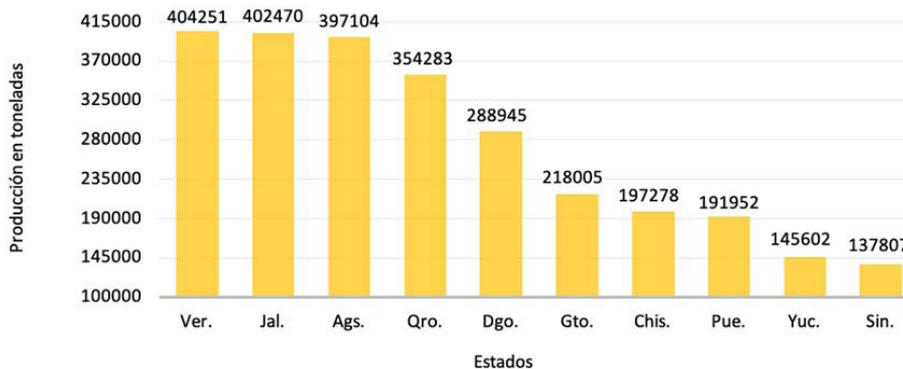


Figura 3. Principales estados productores de carne de ave en México (COMECARNE, 2019).

Figure 3. Main poultry meat producing states in Mexico (COMECARNE, 2019).

a residuos y determinar cuáles están sujetos a un plan específico de manejo, el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado, así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo. Estos subproductos generan daños ambientales por acumulación, potenciales riesgos a la salud como focos de infección y vectores de enfermedades que pueden propagarse en zonas próximas a las granjas avícolas, así como una alta emisión de gases tóxicos a la atmósfera (Seidavi et al., 2019; Wang et al., 2017).

Cuadro 1. Producción pecuaria en México en toneladas. Año 2019 (t) (SIAP, 2020).

Table 1. Livestock production in Mexico in tonnes. Year 2019 (t) (SIAP, 2020).

Producto	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sep-tiembre	Octubre	No-viembre	Diciem-bre	Total
Carne en canal	559 828	572 188	576 375	576 306	582 519	597 609	604 997	601 315	613 759	615 526	627 947	667 643	7 196 012
Bovino	159 894	162 211	159 672	160 165	165 246	168 67	172 253	171 812	171 927	173 966	176 566	184 727	2 027 108
Porcino	124 803	129 95	125 164	124 589	127 264	132 226	133 419	132 24	137 021	137 094	142 875	153 802	1 600 446
Ovino	5005	4949	4896	5212	5309	5398	5476	5249	5345	5281	5503	6407	64 031
Caprino	3168	3151	3036	3179	3237	3300	3400	3,333	3362	3465	3562	3744	39 937
Ave	265 801	270 769	282 299	281 905	280 134	286 647	288 846	287 409	294 743	294 173	297 843	317 054	3 447 622
Guajolote	1156	1158	1309	1257	1328	1368	1603	1272	1360	1547	1599	1910	16 868
Huevo	236 009	236 297	238 478	240 431	245 02	246 354	252 055	256 304	257 215	259 694	260 619	259 305	2 987 782

Fuente / Source: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2020.

La Figura 4 muestra la cadena productiva agroindustrial de una empresa ubicada en Veracruz, desde la obtención de progenitoras hasta el procesamiento de aves para comercialización en el sector avícola del estado.

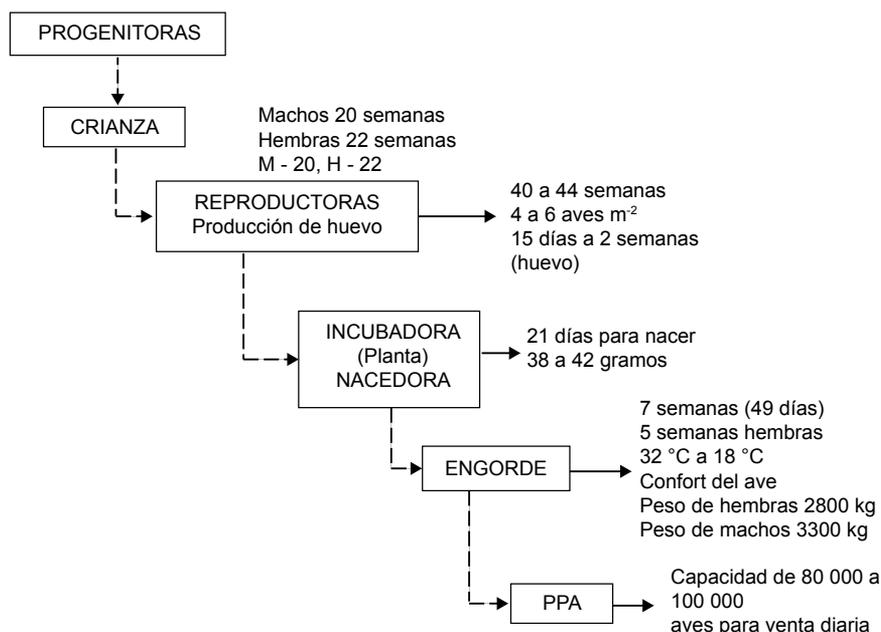


Figura 4. Diagrama de producción del sector avícola en una planta procesadora de aves en Córdoba, Veracruz, 2020.

Figure 4. Flowchart of the poultry sector in a poultry processing plant in Cordoba, Veracruz, 2020.

El proceso productivo genera residuos sólidos; en la planta de incubación se generan residuos como cáscaras vacías, huevos infértiles, embriones muertos, pollos muertos, líquido viscoso de huevos y tejido en descomposición (Figura 5); además, aguas residuales de la planta procesadora de aves (Brandelli et al., 2015; Ozdemir & Yetilmesoy, 2020; Stiborova et al., 2020).



Figura 5. Residuos de la planta de incubación de una empresa avícola. Fotografía tomada de una planta procesadora de aves, Córdoba, Veracruz, México. 2020.

Figure 5. Waste from the hatchery of a poultry company. Picture taken from a poultry processing plant, Cordoba, Veracruz, Mexico. 2020.

La Figura 6 muestra el estiércol de aves proveniente de las granjas de engorde, este residuo va mezclado con el material utilizado como cama (cascarilla de arroz o aserrín de madera), piel muerta, restos de comida, agua, plumas y animales muertos (Kanani et al., 2020).



Figura 6. Estiércol de pollo, resultado del ciclo de engorde en granjas avícolas. Fotografía tomada de una planta procesadora de aves, Córdoba Veracruz México. 2020.

Figure 6. Chicken manure resulting from the fattening cycle in poultry farms. Picture taken from a poultry processing plant, Cordoba Veracruz Mexico. 2020.

Opciones de valorización de residuos avícolas

A nivel internacional se han planteado diferentes alternativas de manejo de residuos. Desde el abordaje 3 R, se busca reducir, reusar y reciclar la mayor proporción de materiales usados en los diferentes procesos de producción hasta la economía circular, con el fin de mejorar la gestión, obtener un producto con valor fundamental, crear prácticas de producción más limpia y procesos viables para favorecer el aprovechamiento y desarrollo de estos subproductos (Kopeć et al., 2018; OECD, 2010). Además, se debe analizar el ciclo de vida (LCA siglas en inglés) de la cadena de producción de carne de ave (Djekic & Tomasevic, 2019; Kalhor et al., 2016; Skunca et al., 2018), para determinar futuros impactos a la biodiversidad, agua, suelo, aire y potenciales peligros a la salud.

La digestión anaeróbica también ha sido utilizada, ya que estabiliza parte de la materia orgánica de los residuos orgánicos y la transforma, mediante la acción de los microorganismos, en una mezcla de gases (biogás), constituido por metano y dióxido de carbono y otros en pequeñas cantidades como amoníaco, hidrógeno y sulfuro de hidrógeno (Bayrakdar et al., 2017). El biogás se convierte en electricidad que puede utilizarse a pequeña o gran escala (Maldaner et al., 2018). La digestión permite incrementar el rendimiento de biogás al diluir el amoníaco (Matheri et al., 2017) y el subproducto de este proceso llamado digestado, el cual puede utilizarse como abono agrícola (Wu et al., 2016).

La gasificación es otra alternativa para disminuir residuos avícolas, al convertir materiales ricos en carbono en gas, el cual puede utilizarse como energía para calefacción y transporte (Kanani et al., 2020). El estiércol de aves representa un potencial significativo para su aplicación en la industria energética al generar gas de síntesis, componente principal el monóxido de carbono (Tańczuk et al., 2019). De la gasificación resultan cenizas y biocarbón, pero la cantidad depende del material gasificado utilizado para eliminar los desechos de las granjas de pollos (Topal et al., 2018).

La pirólisis consiste en la degradación térmica de la materia orgánica en ausencia de oxígeno, por lo que dichas sustancias se descomponen mediante calor, sin que se produzcan la combustión (Hussein et al., 2017), la pirólisis, se clasifica en lenta o rápida por la velocidad de calentamiento y el tiempo de residencia (Ma & You, 2019), esto depende del destino final de los productos como el biogás o biocarbón y también el tipo de reactor. En la pirólisis rápida se produce mayor volumen de gas y menor cantidad de carbón, en la pirólisis lenta se aumenta el rendimiento del biocarbón (Kanani et al., 2020). El biocarbón resultante de la pirólisis lenta produce un efecto positivo sobre la salud del suelo y la fertilidad en comparación con la aplicación directa de estiércol en el suelo (Billen et al., 2015).

En el proceso de compostaje, de menor inversión, se debe determinar la relación carbono/nitrógeno, la humedad y la oxigenación (Hernández-Rodríguez et al., 2013; Yuvaraj et al., 2020). Esta transformación es realizada por múltiples organismos que degradan las células y moléculas de la materia orgánica; los principales microorganismos son las bacterias y hongos. Para la obtención del compost, el material es depositado y forma una pila de al menos 1,50 x 1,50 x 1,50 m donde se realizan volteos cada semana y se toman datos de parámetros como: temperatura, pH y humedad (Debernardi-Vazquez et al., 2020), los cuales sirven para tener control sobre el proceso y tiempo de degradación de los residuos (Li et al., 2013).

El compostaje es una alternativa para la transformación y reutilización de residuos orgánicos, ya que la materia orgánica se mineraliza por la acción de los microorganismos aeróbicos y se transforma en humus, lo que contribuye a la disminución del impacto ambiental negativo de los residuos orgánicos (Delgado-Arroyo et al., 2019). El resultado es un producto estable que contiene la cantidad necesaria de elementos minerales disponibles para su uso como abono orgánico de aplicación en diversos cultivos. La utilización de excrementos de aves se evalúa en función de la conservación o pérdida de nitrógeno (Drózdź et al., 2020; Nahm, 2003). Diversos autores

han evaluado ventajas, desventajas y requerimientos tecnológicos para la utilización de abonos de residuos avícolas (Casas-Rodríguez & Guerra-Casas, 2020; Hoover et al., 2019; Malovanyy et al., 2021; Rayne & Aula, 2020).

Impacto ambiental del estiércol de pollo

El sector avícola contribuye significativamente al impacto ambiental a través de la emisión de contaminantes y gases de efecto invernadero (Duarte da Silva Lima et al., 2019). El residuo más significativo es el estiércol de pollo, debido a que tienen un ciclo de vida corto y mayor demanda (Balón et al., 2019), el cual es un potencial contaminante de gran impacto (Yu et al., 2019a; b).

A nivel mundial, una producción de 16 000 pollos genera una tonelada de estiércol de aves, de acuerdo con la tecnología de producción (Herrera et al., 2013). El estiércol, es el conglomerado de heces y orina con restos de alimentos de animales domésticos con o sin material vegetal, rico en minerales y materia orgánica, empleado para fertilización del suelo aplicado de forma directa o transformado de forma biológica en composta (Brunton, 2012; Román et al., 2013).

Del estiércol que es aplicado al suelo, menos del 10 % del N contenido está presente como nitrato y amoníaco, por lo que debe mineralizarse para estar disponible para las plantas (Ashworth et al., 2020). Cuando el estiércol no es estabilizado de forma correcta se generan efectos de contaminación como emisión de gases tales como el amoníaco, metano, óxido nitroso, ácidos grasos volátiles, ésteres (Herrera et al., 2013; Pinos-Rodríguez et al., 2012; Velasco-Velasco, 2016) y olores generados por la descomposición aeróbica y anaeróbica del material (Chen et al., 2020). El olor no representa riesgos a la salud, pero es inaceptable por la población. Sumado a esto, la producción de carne de pollo, emite 0,6 gigatoneladas de CO₂ (MacLeod et al., 2013). Otro impacto recae sobre la calidad de agua, aire y suelo como resultado del contenido de los lixiviados del estiércol de aves (Chen et al., 2018), lo que afecta la acidificación, eutrofización y agotamiento del ozono (Skunca et al., 2018).

Aporte nutrimental del estiércol de aves

El estiércol de pollo incluye compuestos orgánicos y una extensa población de microorganismos. En su composición química influyen diversos factores, entre ellos: el estado físico de las aves, el material utilizado como cama, la densidad de aves por m², la duración del ciclo de las aves, así como la alimentación. El estiércol de pollo contiene entre 11 y 30 % de proteína bruta, calcio, fósforo, vitaminas y otros minerales. Pero en cuanto a calidad, esta se clasifica en tres tipos: 1) primera calidad o seca, la cual tiene un contenido de humedad menor a 20 %, 2) segunda calidad o semi-húmeda, con humedad entre 20 y 36 % y 3) tercera calidad, que contiene más de 36 % de humedad (Rico-Contreras et al., 2014; 2017). En el Cuadro 2 se muestran resultados de un análisis bromatológico realizado al estiércol de pollo variado en contenido de humedad, las muestras realizadas por los autores en el laboratorio de Bromatología del grupo Pecuario San Antonio se basaron en los parámetros de las normas oficiales mexicanas NMX-F-608-NORMEX-2011 y NMX-Y-098-SCFI-2001, esto con la finalidad de conocer el contenido de proteína presente en el estiércol, pues uno de los principales canales de comercialización del estiércol está encaminado hacia la alimentación de rumiantes y el otro para la fertilización al campo, sin embargo este contenido depende de la alimentación brindada a las aves durante el tiempo de engorda.

La caracterización química del estiércol de aves es punto de partida para establecer el valor de un abono orgánico proveniente de este subproducto (Ravindran et al., 2017), así como los impactos potenciales en las propiedades químicas del suelo y el rendimiento potencial de los cultivos para su uso como fertilizante químico, por ello, en el Cuadro 3 se presenta el análisis químico de muestras de estiércol de pollo realizados en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad Veracruzana. Las muestras fueron recolectadas de la granja la primavera 1, ubicada en Cuitlahuac, Veracruz. A cada muestra se le realizó análisis

Cuadro 2. Análisis bromatológico de estiércol de aves de una empresa avícola de acuerdo a las normas mexicanas: NMX-F-608-NORMEX-2011 y NMX-Y-098-SCFI-2001. Córdoba Veracruz, México, 2020.

Table 2. Bromatological analysis of chicken manure from a poultry company according to Mexican standards: NMX-F-608-NORMEX-2011 and NMX-Y-098-SCFI-2001. Cordoba Veracruz, Mexico, 2020.

Muestra	Humedad	Proteína	Cenizas	Nitrógeno
		%		
Pollinaza de 1ª calidad	14,67	28,32	10,87	4,21
Pollinaza de 2ª calidad	28,38	23,87	11,62	3,82
Pollinaza de 3ª calidad	46,84	21,75	13,68	3,48

Cuadro 3. Análisis químico de estiércol de pollo de una empresa avícola regional. Córdoba, Veracruz, México, 2020.

Table 3. Chemical analysis of chicken manure from a regional poultry company. Cordoba, Veracruz, Mexico, 2020.

Parámetro	Valor
pH	7,21
Carbono orgánico %	2,92
Materia orgánica %	7,14
Nitrógeno g kg ⁻¹	2,78
Fósforo g kg ⁻¹	6,11
Potasio g kg ⁻¹	3,02
Calcio g kg ⁻¹	3,27
Magnesio g kg ⁻¹	1,44
Sodio g kg ⁻¹	0,97
Densidad aparente kg m ⁻³	1,06
Relación C/N	17,62

de pH por potenciómetro, el carbono orgánico por solución salina, la materia orgánica por Walkley-Black, la concentración de N se realizó por el método micro-Kjeldahl, mientras que el P, K, Ca, Mg y Na se analizaron con base en la metodología descrita por Alcántar & Sandoval (1999) y la densidad aparente por el método de la parafina.

El alto contenido nutricional del estiércol de pollos puede causar daños si son aplicadas a los cultivos sin ningún tratamiento previo, pues llegan a perjudicar el suelo saturándolo de nutrientes, lo que con el tiempo deteriora su capacidad de retención de agua y fertilidad; además, producen contaminación en el aire, debido a los procesos de descomposición y volatilización, por lo que pueden ser tóxicos y deben ser estabilizados mediante técnicas o procesos de transformación como el compostaje, digestión o pirólisis (Kopeć et al., 2018).

La utilización óptima del estiércol o compostas derivadas, requiere el conocimiento de su composición en relación con los efectos ambientales y no solo sus beneficios positivos en la agricultura (Gómez-Brandón et al., 2008; Tiquia & Tam, 1998), debido a que la aplicación al suelo de abonos provenientes de estiércol y composta inmadura inhibe la germinación y crecimiento de las plantas a través de la producción de sustancias tóxicas como amoníaco, sales inorgánicas y ácidos orgánicos (Yu et al., 2019b). En la actualidad, se investiga la aplicación de estiércol de aves al suelo para incrementar su productividad (Chen et al., 2020). Sin embargo, el estiércol contiene bacterias patógenas como la *E. coli* y *Salmonella*, que pueden diseminarse a los suelos agrícolas con su aplicación como fertilizante orgánico (Fang et al., 2018; Li et al., 2021; Zhang et al., 2020). Por ello, el estiércol se considera

una fuente importante de patógenos (Neill et al., 2018). Existen varias tecnologías para el tratamiento del estiércol, incluido el compostaje como método tradicional que requiere al menos 120 días en promedio antes de ser utilizado para mejorar la productividad de los cultivos (Asses et al., 2019). Con la adición al suelo de composta de estiércol de aves aumenta las concentraciones de P, C y N orgánicos (Li et al., 2021).

Aprovechamiento de residuos avícolas

El subproducto de la agroindustria avícola, como sustrato integrado por residuos de pollo, estiércol de aves, y cáscara de arroz como fuente de carbono, presenta diversas propiedades y aplicaciones en cultivos hortícolas u ornamentales, de acuerdo con el contenido de estos elementos de origen biológico, incorporación de otros subproductos regionales y la técnica de compostaje empleada. En un análisis microbiológico se demostró la eficiencia del compostaje en la remoción de coliformes totales y termotolerantes (da Silva Sunada et al., 2014). En el estudio se concluyó que son necesarios nuevos estudios para tratar de reducir las elevadas pérdidas de nitrógeno observadas en el producto final, ya que este fue destinado como abono orgánico. Mediante un proceso de compostaje controlado, puede obtenerse un producto que puede ser útil para diferentes productos agrícolas, si se consideran otras variables como la calidad del suelo, así, el uso del producto resultado del compostaje mejora las propiedades físicas del suelo cuando se utiliza como sustrato en ornamentales (Delgado-Arroyo et al., 2016).

Al evaluar los cambios en las características fisicoquímicas, estructuras y la madurez de abonos de estiércol de pollo, porcino y bovino durante el tiempo, Huang et al. (2017) determinaron que la aromaticidad en la composta de estiércol de pollo disminuyó al principio y luego aumentó; mientras que la temperatura de todas las compostas siguió el mismo patrón de tres etapas, después se mantuvo en la etapa de enfriamiento y madurez hasta alcanzar una temperatura ambiente y obtener un producto estable. La composta a base de plumas tuvo valores más elevados en materia orgánica y N_2 (Dinitrógeno) y pH en un rango óptimo (entre 6,0 y 8,0) para considerarla una composta madura (Florida et al., 2018). La reutilización de estiércol de pollo mezclada con paja de cereales, por medio del proceso de compostaje, puede utilizarse con fines agrícolas, forestales o como mejoradores de suelo (Delgado-Arroyo et al. 2019), debido a que los residuos de la agroindustria avícola poseen nitrógeno mineralizable suficiente para proveer a los cultivos. La composta resultante de estiércol de pollo, puede ser empleada como mejorador del suelo y fertilizante orgánico (Castro et al., 2019; Palomino et al., 2019).

Compostaje para estabilización de residuos avícolas

La gestión de residuos provenientes de la industria alimentaria es fundamental, sobre todo si se tiene en cuenta los riesgos medioambientales y sanitarios que trae consigo (Nayak & Bhushan, 2019). La agroindustria avícola genera grandes cantidades de residuos año con año que suelen acabar en sitios de disposición final a cielo abierto, lo que genera alta contaminación del aire, agua y suelo (Mottet & Tempio, 2017; Seidavi et al., 2019). En la Figura 7 se presenta la acumulación de estiércol de pollo a cielo abierto, misma que contiene bacterias y patógenos que pueden entrar en la cadena alimenticia humana por medio de frutas y verduras contaminadas (Freitag et al., 2018; Yu et al., 2019b).

En el compostaje se utilizan desechos orgánicos sólidos para ser convertidos en abonos, que utilizados de forma correcta dejan disponibles los elementos esenciales del suelo para que puedan ser utilizados por la planta, es así que la composta como acondicionador orgánico natural, mejora a mediano y largo plazo las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, incrementa la porosidad, disminuye la densidad aparente, consolida la estructura, aumenta la capacidad de intercambio catiónico y la actividad biológica del suelo, además, funciona como estrategia de manejo para reducir el uso de insumos químicos como pesticidas, fertilizantes, combustibles, etc. (Alvarez-Vera et al., 2019).



Figura 7. Estiércol y subproductos de la agroindustria avícola a cielo abierto. Fotografía tomada de una planta procesadora de aves, Córdoba, Veracruz, México. 2020.

Figure 7. Manure and by-products of the open-air poultry agroindustry. Picture taken from a poultry processing plant, Cordoba, Veracruz, Mexico. 2020.

Siempre existe la preocupación al término del proceso de compostaje de si el producto final obtenido es apto para su uso como fertilizante, es por ello que al final del proceso se deben realizar una serie de análisis microbiológicos y físico-químicos para conocer el contenido exacto de sus propiedades y microorganismos. Estos resultados generan la certeza de que los residuos avícolas estabilizados cumplen los parámetros físico-químicos y microbiológicos, permiten la producción de una composta madura y estable para su uso como fertilizante orgánico (Asses et al., 2019; Kopeć et al., 2018). Además, durante el proceso de compostaje y por efecto de las altas temperaturas generadas, existe la remoción de coliformes totales y termo tolerantes que es el factor de mayor preocupación a la salud en el uso de este subproducto (da Silva Sunada et al., 2014; Huang et al., 2017).

Durante el compostaje la bacteria *E. coli* presente en el estiércol de pollo tiende a disminuir (Thomas et al., 2020), pues la alta temperatura desarrollada durante el proceso es efectiva para eliminar posibles bacterias patógenas (Deng et al., 2020; Yu et al., 2019a). Otro cambio importante que ocurre durante el proceso de estabilización, es la concentración de nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio (N, P, K, Ca y Mg), los cuales son parámetros importantes para determinar la calidad y tipo de la composta obtenida; además, su contenido de materia orgánica y óptimo pH, brindan un efecto benéfico para la agricultura (Hernández-Rodríguez et al., 2013; Toledo et al., 2020).

El compostaje es una alternativa efectiva y económica para reducir la contaminación, estabilizar los residuos orgánicos y producir fertilizantes orgánicos de forma individual o mezclados con otros subproductos regionales, como la cachaza de la producción de azúcar que en promedio se producen 893 788 toneladas en el estado de Veracruz durante cada zafra. Diversos abonos realizados por Delgado-Arroyo et al. (2019) por los métodos convencionales de proceso, obtenidos en la región de Córdoba, Veracruz, México, procedentes de subproductos agroindustriales individuales o en mezcla disponibles en la región se muestran en el Cuadro 4. En este proceso básico participan microorganismos que intervienen en la fermentación del material orgánico y degradación del mismo; también se concentran los nutrimentos esenciales para su rápida disponibilidad.

Al final del proceso de compostaje de los materiales presentados en el Cuadro 4, se realizó el análisis de composición de nutrientes y micronutrientes con base en los parámetros establecidos por las normas oficiales mexicanas NOM-021-RECNAT-2000 y NMX-FF-109-SCFI-2008, en él se determinó que el contenido de nutrimentos como nitrógeno, fósforo y potasio en los abonos orgánicos de pollinaza difirió entre formulaciones,

Cuadro 4. Contenido nutrimental de abonos orgánicos obtenidos de subproductos agroindustriales. Córdoba, Veracruz, México. 2020.

Table 4. Nutritional content of organic fertilizers obtained from agro-industrial by-products. Cordoba, Veracruz, Mexico. 2020.

Sustrato	NT (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
Cachaza (lodo de filtros)	1,32	1,698	0,239	3,06	0,860
Composta de cachaza	1,522	1,293	0,237	3,38	0,93
Composta de pollinaza	2,08	4,278	4,565	12,937	0,905
Composta de pollinaza y cachaza	1,801	2,7855	2,401	8,1585	0,9175
Composta de pulpa de café	2,625	0,849	3,109	3,603	0,454
Composta de estiércol de borrego	1,715	2,415	2,228	8,268	0,641
Composta de grano de café y cachaza	2,84	1,44	0,094	1,122	0,194
Composta de grano de café y pollinaza	2,01	1,1	1,1	14,9	2,4
Lombricomposta de cachaza	1,4	1,528	0,178	4,046	0,204
Lombricomposta de pulpa de café integral	1,4	0,9	2,8	5	3,2
Lombricomposta de pulpa de café	2,625	0,849	3,109	3,603	0,454
Lombricomposta de pollinaza	2,34	4,01	2,374	10,366	1,168
Lombricomposta de estiércol de borrego	1,39	0,704	0,769	2,024	0,337
Lombricomposta de estiércol de bovino	1,72	0,934	1,426	2,893	0,718
Lombricomposta de residuos de jardín y estiércol de bovino	1,04	0,4923	0,786	0,7283	0,2076
Lombricomposta de pollinaza y cascarilla de arroz	1,16	5,516	1,208	8,859	1,291
Bocashi de pollinaza y residuos de la agroindustria azucarera	0,54	0,711	0,573	26,211	0,496

pero fueron superiores a los abonos obtenidos con subproductos agroindustriales regionales (café, caña de azúcar, arroz, ganadería) (Delgado-Arroyo et al., 2019).

Con base en el análisis físico-químico realizado a las diferentes compostas obtenidas de los materiales presentes en el Cuadro 4, se determinó que la opción más viable en países en desarrollo, para la reutilización de residuos avícolas es el compostaje individual o con otros subproductos agroindustriales, debido a la reducción de potenciales contaminantes que resultan durante el proceso, por lo que, la composta obtenida es un fertilizante orgánico de calidad para el suelo, pues contiene nutrimentos esenciales para las plantas, además de materia orgánica que contribuye al mejoramiento de las propiedades del suelo y es una alternativa competitiva para los sistemas de producción agrícola (Rayne & Aula, 2020; Rocchi, et al., 2019).

Conclusiones

Desde el punto de vista de valorización de residuos agroindustriales, la revisión determinó que los subproductos avícolas tienen un gran potencial para generar alternativas de reúso mediante tecnologías de aplicación rural sin una inversión significativa y estrategias de manejo de residuos, debido a que estos son producidos en gran cantidad y son una fuente potencial de contaminación y degradación del medio ambiente, pues impactan de forma directa los cuerpos de agua, generan emisiones al aire y modifican la estructura microbiana y física del suelo, afecta también la flora, la fauna y la salud de la población vecina. Su conversión a través del proceso de compostaje hace posible

obtener diversos abonos estables inocuos y significativamente ricos en N, P, K, Mg y Ca, en relación con los abonos disponibles de la región de Córdoba Veracruz, los cuales presentan los elementos fundamentales para el desarrollo de diversos cultivos de plantación (caña, café, cítricos) de la región de estudio.

Al comparar la composición nutrimental de abonos obtenidos de subproductos regionales y composta de pollinaza se determinó que este residuo puede ser incorporado a diversas mezclas de subproductos de otras agroindustrias, lo que enriquece los abonos resultantes. Además, es necesario desarrollar estrategias mediante la tecnificación del compostaje desde el punto de vista del desarrollo sostenible y evaluar, de acuerdo con las condiciones regionales, otras opciones de usos del residuo avícola como el biogás y la alimentación pecuaria, lo que minimiza los efectos negativos de este residuo agroindustrial y genera nuevas cadenas de valor que impactarán en la sostenibilidad económica y social en las regiones productoras.

Referencias

- Alcántar, G. G., & Sandoval, V. M. (1999). *Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Guía de Muestreo, Preparación Análisis e Interpretación* (Publicación especial número 10). Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=cidca.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=fn=005439>
- Alvarez-Vera, M., Largo, A., Iglesias-Abad, S., & Castillo, J. (2019). Calidad de compost obtenido a partir de estiércol de gallina, con aplicación de microorganismos benéficos. *Scientia Agropecuaria*, 10(3), 353–361. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2019.03.05>
- Ashworth, A. J., Chastain, J. P., & Moore Jr, P. A. (2020). Nutrient characteristics of poultry manure and litter. In H. M. Waldrip, P. H. Pagliari, & Z. He (Eds.), *Animal Manure: Production, Characteristics, Environmental Concerns, and Management* (Vol. 67, pp. 63–87). ASA Special Publications. <https://doi.org/10.2134/asaspecpub67.c5>
- Asses, N., Farhat, W., Hamdi, M., & Bouallagui, H. (2019). Large scale composting of poultry slaughterhouse processing waste: Microbial removal and agricultural biofertilizer application. *Process Safety and Environmental Protection*, 124, 128–136. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.02.004>
- Balón, A. D. L. C., Calderón, J., Ortiz, A. M. A., Cobeña, H., & Mendoza, M. (2019). Bioestabilización de excretas avícolas mediante microorganismos eficientes para el control de la contaminación ambiental. *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología*, 4(1), 32–39. <https://doi.org/10.33936/riemat.v4i1.1943>
- Bayrakdar, A., Molaey, R., Sürmeli, R. Ö., Sahinkaya, E., & Çalli, B. (2017). Biogas production from chicken manure: Co-digestion with spent poppy straw. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 119, 205–210. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.10.058>
- Billen, P., Costa, J., Van der Aa, L., Van Caneghem, J., & Vandecasteele, C. (2015). Electricity from poultry manure: a cleaner alternative to direct land application. *Journal of Cleaner Production*, 96, 467–475. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.04.016>
- Buratti, C., Barbanera, M., Testarmata, F., & Fantozzi, F. (2015). Life cycle assessment of organic waste management strategies: An Italian case study. *Journal of Cleaner Production*, 89, 125–136. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.11.012>
- Brandelli, A., Sala, L., & Kalil, S. J. (2015). Microbial enzymes for bioconversion of poultry waste into added-value products. *Food Research International*, 73, 3–12. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.01.015>

- Brunton, E. W. (2012). *Animal waste management an industry perspective*. American Society of Agricultural. <https://doi.org/10.13031/ISSN.2151-0032>
- Casas-Rodríguez, S., & Guerra-Casas, L. D. (2020). La gallinaza, efecto en el medio ambiente y posibilidades de reutilización. *Revista de Producción Animal*, 32(3), 87–102.
- Castro, B. J., Chirinos, P. D., & Lara, S. P. (2019). Evaluación del compost de guano de pollo en el rendimiento y calidad nutricional de la alfalfa en la sierra central del Perú. *Revista de Investigación Veterinaria Perú*, 30(4), 1562–1568.
- Chen, H., Awasthi, S. K., Liu, T., Duan, Y., Ren, X., Zhang, Z., Pandey, A., & Awasthi, M. K. (2020). Effects of microbial culture and chicken manure biochar on compost maturity and greenhouse gas emissions during chicken manure composting. *Journal of Hazardous Materials*, 389, 121908. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121908>
- Chen, H. Y., Awasthi, M. K., Liu, T., Zhao, J. C., Ren, X. N., Wang, M. J., Duan, Y. M., Awasthi, S. K., & Zhang, Z. Q., (2018). Influence of clay as additive on greenhouse gases emission and maturity evaluation during chicken manure composting. *Bioresource Technology*, 266, 82–88. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.06.073>
- Chojnacka, K., Moustakas, K., & Witek-Krowiak, A. (2020). Bio-based fertilizers: A practical approach towards circular economy. *Bioresource Technology*, 295, Article 122223. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122223>
- Consejo Mexicano de la Carne. (2019). *Compendio estadístico 2019*. <https://comecarne.org/compendio-estadistico-2019/>
- da Silva Sunada, N., Amorim Orrico, A. C., Previdelli Orrico Junior, M. A., Ribeiro Centurion, S., Borges de Moraes Oliveira, A., Mendes Fernandes, A. R., de Lucas Junior, J., & de Oliveira Seno, L. (2014). Compostagem de resíduo sólido de abatedouro avícola. *Ciência Rural*, 45(1), 178–183. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20120261>
- Debernardi-Vazquez, T. J., Aguilar-Rivera, N., & Nuñez-Pastrana, R. (2020). Composting of byproducts from the orange (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) and sugarcane (*Saccharum* spp. hybrids) agroindustries. *Ingeniería e Investigación*, 40(3), 81–88. <https://doi.org/10.15446/ing.investig.v40n3.82877>
- Delgado Arroyo, M. M., Mendoza López, K. L., González, M. I., Tadeo Lluch, J. L., & Martín Sánchez, J. V. (2019). Evaluación del proceso de compostaje de residuos avícolas empleando diferentes mezclas de sustratos. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 35(4), 965–977. <https://doi.org/10.20937/RICA.2019.35.04.15>
- Delgado Arroyo, M. M., Miralles de Imperial Hornedo, R., Masaguer Rodriguez, R. A., & Martín Sánchez, J. V. (2016). Estudio de turbas y residuos avícolas procedentes de pollo de engorde como componente de sustratos de cultivo. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32(4), 455–462. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.04.09>
- Deng, W., Zhang, A., Chen, S., He, X., Jin, L., Yu, Yang, S., Li, B., Fan, L., Ji, L., & Pan, X. (2020). Heavy metals, antibiotics and nutrients affect the bacterial community and resistance genes in chicken manure composting and fertilized soil. *Journal of Environmental Management*, 257, Article 109980. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109980>
- Djekic, I., & Tomasevic, I. (2019). Environmental Indicators in the Meat Chain. In S. S. Muthu (Ed.), *Quantification of Sustainability Indicators in the Food Sector* (pp. 55–82). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-2408-6>
- Drózdź, D., Wystalska, K., Malińska, K., Grosser, A., Grobelak, A., & Kacprzak, M. (2020). Management of poultry manure in Poland—Current state and future perspectives. *Journal of Environmental Management*, 264, Article 110327. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110327>
- Duarte da Silva Lima, N., de Alencar Nääs, I., Garófallo Garcia, R., & Jorge de Moura, D. (2019). Environmental impact of Brazilian broiler production process: Evaluation using life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 237, Article 117752. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117752>

- El-Daka, M. A., Ramzy, R. R., Plath, M., & Ji, H. (2021). Evaluating the impact of bird manure vs. mammal manure on *Hermetia illucens* larvae. *Journal of Cleaner Production*, 278, Article 123570. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123570>
- Esteban, J., & Ladero, M. (2018). Food waste as a source of value-added chemicals and materials: a biorefinery perspective. *International Journal of Food Science and Technology*, 53(5), 1095–1108. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13726>
- Fang, H., Han, L., Zhang, H., Long, Z., Cai, L., & Yu, Y. (2018). Dissemination of antibiotic resistance genes and human pathogenic bacteria from a pig feedlot to the surrounding stream and agricultural soils. *Journal of Hazardous Materials*, 357(5), 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.05.066>
- Fernández-Nieto, A. S., & Betancourt-González, A. R. (2018). Destino sostenible de los residuos generados en las plantas de beneficio avícola. *Revista de Investigación, Administración e Ingeniería*, 6(1), 13–24. <https://doi.org/10.15649/2346030X.473>
- Florida, N., Reategui, F., & Pocomucha, V. (2018). Caracterización de composta a base de plumas de pollo (*Gallus gallus domesticus*) y otros insumos. *Investigación y Amazonía*, 6(2), 1–5. <https://revistas.unas.edu.pe/index.php/revia/article/viewFile/124/109>
- Freitag, C., Michael, G. B., Li, J., Kadlec, K., Wang, Y., Hassel, M., & Schwarz, S. (2018). Occurrence and characterisation of ESBL-encoding plasmids among *Escherichia coli* isolates from fresh vegetables. *Veterinary Microbiology*, 219, 63–69. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2018.03.028>
- Gómez-Brandón, M., Lazcano, C., & Domínguez, J. (2008). The evaluation of stability and maturity during the composting of cattle manure. *Chemosphere*, 70(3), 436–444. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.06.065>
- Hernández-Rodríguez, O. A., Hernández-Tecorral, A., Arras-Vota, A. M., & Ojeda-Barrios, D. (2013). Calidad nutrimental de cuatro abonos orgánicos producidos a partir de residuos vegetales y pecuarios. *Terra Latinoamericana*, 31(1), 35–46.
- Herrera, J., Rojas, J. F., & Bolaños, A. (2013). Diagnóstico preliminar de los niveles de emisión de amoníaco y sulfuro de hidrógeno en distintas modalidades de producción en granjas avícolas en Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 46(2), 15–26.
- Herrero, M., Henderson, B., Havlík, P., Thornton, P. K., Conant, R. T., Smith, P., & Butterbach-Bahl, K. (2016). Greenhouse gas mitigation potentials in the livestock sector. *Nature Climate Change*, 6(5), 452–461. <https://doi.org/10.1038/nclimate2925>
- Holloway, J. W., & Wu, J. (2019). The consumer and extrinsic meat. In J. W. Holloway, & J. Wu (Eds.), *Red meat science and production* (Vol. 1, pp. 161–166). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-13-7856-0_7
- Hoover, N. L., Law, J. Y., Long, L. A. M., Kanwar, R. S., & Soupir, M. L. (2019). Long-term impact of poultry manure on crop yield, soil and water quality, and crop revenue. *Journal of Environmental Management*, 252, Article 109582. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109582>
- Huang, J., Yu, Z., Gao, H., Yan, X., Chang, J., & Wang, C. (2017). Chemical structures and characteristics of animal manures and composts during composting and assessment of maturity indices. *PLoS ONE*, 12(6), Article e0178110. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0178110>
- Hubbard, L. E., Givens, C. E., Griffin, D. W., Iwanowicz, L. R., Meyer, M. T., & Kolpin, D. W. (2020). Poultry litter as potential source of pathogens and other contaminants in groundwater and surface water proximal to large-scale confined poultry feeding operations. *Science of The Total Environment*, 735, Article 139459. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139459>

- Hussein, M. S., Burra, K. G., Amano, R. S., & Gupta, A. K. (2017). Temperature and gasifying media effects on chicken manure pyrolysis and gasification. *Fuel*, 202, 36–45. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.04.017>
- Kalhor, T., Rajabipour, A., Akram, A., & Sharifi, M. (2016). Environmental impact assessment of chicken meat production using life cycle assessment. *Information Processing in Agriculture*, 3(4), 262–271. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2016.10.002>
- Kanani, F., Heidari, M. D., Gilroyed, B. H., & Pelletier, N. (2020). Waste valorization technology options for the egg and broiler industries: A review and recommendations. *Journal of Cleaner Production*, 262, Article 121129. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121129>
- Kopeć, M., Gondek, K., Mierzwa-Hersztek, M., & Antonkiewicz, J. (2018). Factors influencing chemical quality of composted poultry waste. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 25(8), 1678–1686. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.09.012>
- Lakshmi, V. V., Aruna Devi, D., & Jhansi Rani, K. P. (2020). Wealth from poultry waste. In S. K. Ghosh, C. Bhattacharya, S. V. Satyanarayana, & S. Varadarajan (Eds.), *Waste management as economic industry towards circular economy* (pp. 135–144). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-1620-7_7
- Li, M. X., He, X. S., Tang, J., Li, X., Zhao, R., Tao, Y. Q., & Qiu, Z. P. (2021). Influence of moisture content on chicken manure stabilization during microbial agent-enhanced composting. *Chemosphere*, 264(Part 2), Article 128549. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128549>
- Li, Z., Lu, H., Ren, L., & He, L. (2013). Experimental and modeling approaches for food waste composting: A review. *Chemosphere*, 93(7), 1247–1257. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.06.064>
- Ma, J., & You, F. (2019). Superstructure optimization of thermal conversion based poultry litter valorization process. *Journal of Cleaner Production*, 228, 1111–1121. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.346>
- MacLeod, M., Gerber, P., Mottet, A., Tempio, G., Falcucci, A., Opio, C., Vellinga, T., Henderson, B., & Steinfeld, H. (2013). *Greenhouse gas emissions from pig and chicken supply chains—A global life cycle assessment*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Maldaner, L., Wagner-Riddle, C., VanderZaag, A. C., Gordon, R., & Duke, C. (2018). Methane emissions from storage of digestate at a dairy manure biogas facility. *Agricultural and Forest Meteorology*, 258, 96–107. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.12.184>
- Malovanyy, M., Kanda, M., Paraniak, R., Odnorih, Z., & Tymchuk, I. (2021). The strategy of environmental danger minimization from poultry farms waste. *Journal of Ecological Engineering*, 22(5), 229–237. <https://doi.org/10.12911/22998993/135317>
- Matheri, A. N., Ndiweni, S. N., Belaid, M., Muzenda, E., & Hubert, R. (2017). Optimising biogas production from anaerobic co-digestion of chicken manure and organic fraction of municipal solid waste. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 756–764. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.068>
- Molaey, R., Bayrakdar, A., Sürmeli, R. Ö., & Çalli, B. (2018). Anaerobic digestion of chicken manure: Mitigating process inhibition at high ammonia concentrations by selenium supplementation. *Biomass and Bioenergy*, 108, 439–446. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.10.050>
- Mottet, A., & Tempio, G. (2017). Global poultry production: current state and future outlook and challenges. *World's Poultry Science Journal*, 73(2), 245–256. <https://doi.org/10.1017/S0043933917000071>

- Nahm, K. H. (2003). Evaluation of the nitrogen content in poultry manure. *World's Poultry Science Journal*, 59(1), 77–88. <https://doi.org/10.1079/WPS20030004>
- Nayak, A., & Bhushan, B. (2019). An overview of the recent trends on the waste valorization techniques for food wastes. *Journal of Environmental Management*, 233, 352–370. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.12.041>
- Neill, A. J., Tetzlaff, D., Strachang, N. J. C., Houngh, L. R., Avery, L. M., Watson, H., & Soulsby, C. (2018). Using spatial-stream-network models and long-term data to understand and predict dynamics of faecal contamination in a mixed land-use catchment. *Science of the Total Environment*, 612, 840–852. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.151>
- Nijdam, D., Rood, T., & Westhoek, H. (2012). The price of protein: Review of land use and carbon footprints from life cycle assessments of animal food products and their substitutes. *Food Policy*, 37(6), 760–770. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2012.08.002>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2013). *Poultry Development Review*. <http://www.fao.org/docrep/019/i3531e/i3531e.pdf>
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2010). *Resource Productivity in the G8 and the OECD. A Report in the Framework of the Kobe 3R Action Plan*. www.oecd.org/env/waste/47944428.pdf
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, & Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2016). *Perspectivas agrícolas 2016-2025*. <http://www.fao.org/3/a-i5778e.pdf>
- Ozdemir, S., & Yetilmesoy, K. (2020). A mini literature review on sustainable management of poultry abattoir wastes. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 22, 11–21. <https://doi.org/10.1007/s10163-019-00934-1>
- Palomino, L., Vega, R., Lara, C., Gomero, L., & García, S. (2019). Evaluación de cinco residuos avícolas como fuentes de nitrógeno mineral disponible. *Idesia (Arica)*, 37(3), 121–129. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292019000300121>
- Pinos-Rodríguez, J. M., García-López, J. C., Peña-Avelino, L. Y., Rendón-Huerta, J. A., González-González, C., & Tristán-Patiño, F. (2012). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *Agrociencia*, 46(4), 359–370.
- Ravindran, B., Mupambwa, H. A., Silwana, S., & Mnkeni, P. N. (2017). Assessment of nutrient quality, heavy metals and phytotoxic properties of chicken manure on selected commercial vegetable crops. *Heliyon*, 3(12), Article e00493. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2017.e00493>
- Rayne, N., & Aula, L. (2020). Livestock manure and the impacts on soil health: A review. *Soil Systems*, 4(4), Article 64. <https://doi.org/10.3390/soilsystems4040064>
- Riaz, L., Wang, Q., Yang, Q., Li, X., & Yuan, W. (2020). Potential of industrial composting and anaerobic digestion for the removal of antibiotics, antibiotic resistance genes and heavy metals from chicken manure. *Science of the Total Environment*, 718, Article 137414. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137414>
- Rico-Contreras, J. O., Aguilar-Lasserre, A. A., Méndez-Contreras, J. M., Cid-Chama, G., & Alor-Hernández, G. (2014). Predicción del contenido de humedad en la pollinaza para estimar la producción de bioenergía a través de una red neuronal artificial. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 13(3), 933–955.
- Rico-Contreras, J. O., Aguilar-Lasserre, A. A., Méndez-Contreras, J. M., López-Andrés, J. J., & Cid-Chama, G. (2017). Moisture content prediction in poultry litter using artificial intelligence techniques and Monte Carlo simulation to determine the economic yield from energy use. *Journal of Environmental Management*, 202(Part 1), 254–267. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.07.034>

- Rocchi, L., Paolotti, L., Rosati, A., Boggia, A., & Castellini, C. (2019). Assessing the sustainability of different poultry production systems: A multicriteria approach. *Journal of Cleaner Production*, 211, 103–114. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.013>
- Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor, Experiencias en América Latina*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/3/i3388s/i3388s.pdf>
- Qian, Y., Song, K., Hu, T., & Ying, T. (2018). Environmental status of livestock and poultry sectors in China under current transformation stage. *Science of the Total Environment*, 622–623, 702–709. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.045>
- Seidavi, A. R., Zaker-Esteghamati, H., & Scanes, C. G. (2019). Present and potential impacts of waste from poultry production on the environment. *World's Poultry Science Journal*, 75(1), 29–42. <https://doi.org/10.1017/S0043933918000922>
- Senthilkumar, K., Kumar, M. N., Devi, V. C., Saravanan, K., & Easwaramoorthi, S. (2020). Agro-industrial waste valorization to energy and value added products for environmental sustainability. In R. Praveen Kumar, B. Bhararhiraja, R. Katak, & V. Moholkar (Eds.), *Biomass valorization to bioenergy* (pp. 1–9). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0410-5_1
- Skunca, D., Tomasevic, I., Nastasijevic, I., Tomovic, V., & Djekic, I. (2018). Life cycle assessment of the chicken meat chain. *Journal of Cleaner Production*, 184, 440–450. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.274>
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2020). *Producción Ganadera*. <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-pecuaria>
- Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2019). *Resumen Nacional*. http://infosiap.siap.gob.mx/repoAvance_siap_gb/pecResumen.jsp
- Stiborova, H., Kronusova, O., Kastanek, P., Brazdova, L., Lovecka, P., Jiru, M., Belkova, B., Poustka, J., Stranska, M., Hajslova, J., & Demnerova, K. (2020). Waste products from the poultry industry: a source of high-value dietary supplements. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 95(4), 985–992. <https://doi.org/10.1002/jctb.6131>
- Swain, M., Blomqvist, L., McNamara, J., & Ripple, W. J. (2018). Reducing the environmental impact of global diets. *Science of the Total Environment*, 610, 1207–1209. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.125>
- Tañczuk, M., Junga, R., Werle, S., Chabiński, M., & Ziółkowski, Ł. (2019). Experimental analysis of the fixed bed gasification process of the mixtures of the chicken manure with biomass. *Renewable Energy*, 136, 1055–1063. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.05.074>
- Thomas, C., Idler, C., Ammon, C., & Amon, T. (2020). Effects of the C/N ratio and moisture content on the survival of ESBL-producing *Escherichia coli* during chicken manure composting. *Waste Management*, 105, 110–118. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.01.031>
- Tiquia, S. M., & Tam, F. N. Y. (1998). Elimination of phytotoxicity during co-composting of spent pig-manure sawdust litter and pig sludge. *Bioresource Technology*, 65(1–2), 43–49. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(98\)00024-8](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(98)00024-8)
- Toledo, M., Gutiérrez, M. C., Peña, A., Siles, J. A., & Martín, M. A. (2020). Co-composting of chicken manure, alperujo, olive leaves/pruning and cereal straw at full-scale: Compost quality assessment and odour emission. *Process Safety and Environmental Protection*, 139, 362–370. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.04.048>

- Topal, H., Taner, T., Altinsoy, Y., & Amirabedin, E. (2018). Application of trigeneration with direct co-combustion of poultry waste and coal: A case study in the poultry industry from Turkey. *Thermal Science*, 22(6 Part B), 3073–3082. <https://doi.org/10.2298/TSCI170210137T>
- Unión Nacional de Avicultores. (2019). *Indicadores económicos*. <https://una.org.mx/indicadores-economicos/>
- United States Department of Agriculture. (2020). *Poultry & eggs*. <https://www.ers.usda.gov/topics/animal-products/poultry-eggs/>
- Velasco-Velasco, J. (2016). Buenas prácticas de manejo y emisiones de amoníaco en explotaciones avícolas. *Agroproductividad*, 9(8), 38–44. <http://www.revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/799>
- Wang, L. Z., Xue, B., & Yan, T. (2017). Greenhouse gas emissions from pig and poultry production sectors in China from 1960 to 2010. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(1), 221–228. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61372-2](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61372-2)
- Wu, S., Ni, P., Li, J., Sun, H., Wang, Y., Luo, H., Dach, J., & Dong, R. (2016). Integrated approach to sustain biogas production in anaerobic digestion of chicken manure under recycled utilization of liquid digestate: Dynamics of ammonium accumulation and mitigation control. *Bioresource Technology*, 205, 75–81.
- Yu, Y., Chen, L., Jia, X., & Chen, J. (2019a). High temperatures can effectively degrade residual tetracyclines in chicken manure through composting. *Journal of Hazardous Materials*, 380, Article 120862. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.120862>
- Yu, H., Xie, B., Khan, R., & Shen, G. (2019b). The changes in carbon, nitrogen components and humic substances during organic-inorganic aerobic co-composting. *Bioresource Technology*, 271, 228–235. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.088>
- Yuvaraj, A., Thangaraj, R., Ravindran, B., Chang, S. W., & Karmegam, N. (2020). Centrality of cattle solid wastes in vermicomposting technology—A cleaner resource recovery and biowaste recycling option for agricultural and environmental sustainability. *Environmental Pollution*, 268(Part A), Article 115688. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115688>
- Zhang, H., Zang, Q., Song, J., Zang, Z., Chen, S., Long, Z., Wang, M., Yu, Y., & Fang, H. (2020). Tracking resistomes, virulence genes, and bacterial pathogens in long-term manure-amended greenhouse soils. *Journal of Hazardous Materials*, 396, Article 122618. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122618>