



**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

“Estado del arte sobre el manejo de lodos residuales porcinos a nivel mundial:  
caracterización, tratamiento e impacto en suelos agrícolas”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
LICENCIADO EN BIOLOGÍA

PRESENTA:

Lourdes Yanelit Sánchez Salinas

DIRECTOR:

Dra. Vianey Marín Cevada

CO-DIRECTORA:

M.C. Lucero M. Cuautle García

Noviembre 2021



La presente tesis titulada:

“Evaluación del estado de la información más actual (2010-2021) sobre el manejo de lodos residuales porcinos” fue realizada por Lourdes Yanelit Sánchez Salinas, ha sido revisada y aprobada por el siguiente consejo particular, para obtener el Título de:

LICENCIADO EN BIOLOGÍA

Consejo Particular integrado por:

Firma

Director de Tesis:

Dra. Vianey Marín Cevada

\_\_\_\_\_

Co- director:

M. C. Lucero Montserrat Cuautle García

\_\_\_\_\_

Facultad de Ciencias Biológicas, BUAP

## DEDICATORIA

## AGRADECIMIENTOS

### A los integrantes del Comité revisor y miembros del jurado

- |   |                           |
|---|---------------------------|
| 1. Doctora Vianey Marín Cevada            | Comité tutorial, FCB-BUAP |
| 2. M. C. Lucero Montserrat Cuautle García | Comité tutorial, FCB-BUAP |
| 3. Biól. Eloy Herrera Vázquez             | Sinodal                   |
| 4. Dr. Ernesto Mangas Ramírez             | Sinodal                   |

A los docentes, compañeros y demás personas que favorecieron el desarrollo de esta tesis.

A la empresa Granjas Carroll de México, S. de R.L. de C.V. ® por su financiamiento, las facilidades y apoyo brindado para el desarrollo de la investigación bajo el proyecto titulado:

**Diagnóstico y evaluación de la eficiencia biológica del producto derivado de las lagunas de tratamiento de “Granjas Carroll de México, S. de R.L. de C.V.” denominado y clasificado como fertilizante orgánico.**

#### **Representante Legal**

Biol. Rafael Patiño Perez

#### **Supervisor Ambiental del área de Medio Ambiente y Energía**

Ing. David Alcázar Soto

*La ciencia y la tecnología no pueden realizar transformaciones milagrosas, del mismo modo que no pueden hacerlo las leyes del mercado.*

*Las únicas leyes verdaderamente férreas con las cuales nuestra cultura finalmente tendrá que ajustar cuentas, son las leyes de la naturaleza.*

*Enzo Tiezzi*

<b>I.</b>	<b>RESUMEN/ ABSTRACT .....</b>
<b>II.</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>
<b>III.</b>	<b>MARCO TEORICO.....</b>
<b>IV.</b>	<b>JUSTIFICACIÓN.....</b>
<b>V.</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>
<b>VI.</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>
<b>VII.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSION .....</b>
<b>VIII.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>
<b>IX.</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>
<b>X.</b>	<b>ANEXO Y APENDICE.....</b>

|

## I. Resumen

La actividad agropecuaria crece a pasos agigantados en las últimas décadas y la demanda de alimento es cada vez mayor, haciendo necesario aumentar las cantidades de insumos e implementar nuevas prácticas que nos permitan una mayor obtención de productos para la alimentación a través de la explotación del uso del suelo. Entre algunas prácticas empleadas para el manejo de las áreas agrícolas, se encuentran los abonos orgánicos, tales como estiércoles y lodos residuales, que sin un manejo adecuado ocasionan contaminación o acumulación de nutrientes de difícil asimilación, para los cultivos en el suelo y en mantos acuíferos superficiales que pueden ocasionar zonas anóxicas. Sin embargo, estos efluentes son productos valiosos para la industria agrícola, debido a su alta cantidad de nutrientes y materia orgánica. A nivel mundial el correcto manejo desde el momento de la colecta hasta su aplicación, conlleva a investigaciones detalladas a nivel de suelo y sobre la aplicación de estos estiércoles o lodos residuales en campo, desde el manejo para cultivo dedicados a la producción de forrajes hasta la producción orgánica para uso antrópico. El presente trabajo se realizó con el propósito de recopilar lo más relevante y actual de la investigación existente sobre el impacto a nivel mundial que tiene el uso de residuos porcinos tratados y sin tratamiento sobre el suelo, y los principales cultivos donde son aplicados de la clase monocotiledónea y dicotiledónea. Se construyó una bitácora de búsqueda funcional mediante el uso de elementos tácticos y conectores booleanos del año 2010 hasta el año 2021, donde se identificaron 35 trabajos de investigación. El tratamiento de residuos porcinos debe considerar aspectos como la normativa vigente, la disponibilidad de áreas para el manejo y tratamiento, aspectos edáficos y de necesidades nutrimentales de las plantas de interés agropecuario.

## **Palabras clave**

Monocotiledóneas, dicotiledóneas, tratamiento, lodos de cerdo, estiércol de cerdo, suelo, impacto ambiental, producción orgánica.

## **Abstract**

Agricultural activity has been growing by leaps in recent decades and the demand for food is increasing, so it is necessary to increase the number of inputs and implement new practices that allow us to obtain a more excellent supply of food products through exploitation of land use. Among some practices used to manage agricultural areas are organic fertilizers such as manure and residual sludge, which without proper management cause contamination or accumulation of nutrients challenging to assimilate for crops in the soil and surface aquifers, causing anoxic zones. However, these effluents are valuable products for the agricultural industry due to their nutrients and organic matter. At a global level, the correct management from the moment of collection to its application leads to detailed investigations at the ground level and on applying these manures or residual sludge in the field since management for crops dedicated to foraging production to the organic production. This work was carried out to compile the most relevant and current research on the worldwide impact of the use of treated and untreated pig waste on the soil, and the main crops where they are applied of the class monocotyledonous and dicotyledonous. A functional search log was built using tactical elements and Boolean connectors from 2010 to 2021, where 35 research papers were identified. The treatment of pig waste must consider aspects such as current regulations, the availability of areas for management and treatment, edaphic aspects and nutritional needs of plants of agricultural interest.

**Key words**

Monocots, dicots, treatment, pig sludge, pig manure, soil, environmental impact, organic production.

## II. Introducción

Aproximadamente, desde el año 1500 hasta 1800 ocurre en Occidente, un proceso de economización del mundo social, todo esto también alentado por la Revolución Industrial ocurrida de 1760 a 1840, lo que trajo consigo un gran auge para las grandes industrias de producción en serie. Una de las principales industrias es la alimentaria que consigue sus productos del procesamiento de los de la industria agrícola por lo que esta última está en constante desarrollo para generar una mayor producción a la demanda (Aguado 2011). El estiércol y los efluentes animales son productos valiosos para la industria agrícola, y deben ser tomados en cuenta como una fuente de nutrientes a reciclar dentro del sistema productivo, debido a que pueden ayudar a sustituir la aplicación de fertilizantes químicos normalmente usados en este mercado. Tradicionalmente, estos desechos generados se han aplicado a tierras agrícolas adyacentes como una estrategia de gestión de desechos, pero esto ha llevado a la acumulación de un exceso de nutrientes en el suelo. Los fertilizantes inorgánicos y el estiércol han generado altos niveles de nutrientes en suelos agrícolas y cuerpos de agua en todo el mundo (Shashvatt *et al.*, 2017). Si este estiércol es manejado correctamente desde el inicio, dando la importancia adecuada a la nutrición animal, la colecta, el almacenamiento y la aplicación del tratamiento adecuado, es posible disminuir los impactos ambientales negativos ocasionados por la emisión de gases contaminantes hacia la atmósfera y la acumulación de micro y macro nutrientes en el suelo y cuerpos hídricos.

Alrededor del mundo y desde hace tiempo ya, existen cierto tipo de regulaciones para el manejo y control de depósitos de excretas, por ejemplo, en Estados Unidos existe la Agencia de Protección Ambiental (EPA), agencia federal encargada de supervisar el cumplimiento de los reglamentos aprobados en temas ambientales. Por otro lado, la OMS tiene documentos con recomendaciones y guías sobre el uso seguro de por ejemplo, aguas residuales en la agricultura. La ONU designó la década de la Educación

para un Futuro Sostenible (2005-2014), invitando a prestar atención especial a la actual situación del mundo con el fin de guiar hacia un Desarrollo Sostenible (Gil Pérez *et al.*, 2006). En Canadá, las regulaciones sobre políticas ambientales son más rigurosas que por ejemplo, en América Latina; y en México, cabe destacar el esfuerzo de la SEMARNAT poniendo en funcionamiento la NOM-004-SEMARNAT-2002 para la regulación sobre la disposición y aprovechamiento de lodos y biosólidos. En Europa existe el Reglamento Europeo EMAS (Environmental Management and Audit Scheme), modificado por última vez en 2009. En 2012, Ban Ki-moon, Secretario General de la ONU lanza la Red de Soluciones para el Desarrollo Sostenible, destinada a movilizar tanto al mundo académico como a la sociedad civil en la búsqueda de soluciones a los problemas actuales de sostenibilidad. En 2013, el Worldwatch Institute (Organismo de Investigación, Washington, DC) publica “La situación del mundo 2013. ¿Es posible lograr la sostenibilidad?”. En mayo de 2014 se crea la Asamblea de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEA), en respuesta al llamamiento realizado durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Desarrollo Sostenible, con sesiones orientadas a determinar acciones en concreto para abordar problemas ambientales (Vilches *et al.*, 2014).

Y es que este concepto tan novedoso en la actualidad empezó a escucharse a principios de la década de los ochentas, a partir de perspectivas científicas sobre la relación entre el ambiente y la sociedad, además de publicaciones fundamentales y relevantes como la “Estrategia mundial para la conservación” (UICN, 1980) y el Informe Brundtland (1988) (Vilches *et al.*, 2014). Bybee (1991) describía la situación analizada como una “emergencia planetaria” y Orr (2013) recalca su “larga duración”. Se propuso incluso una etapa geológica nueva, el Antropoceno, por el premio Nobel Paul Crutzen para recalcar el peso de la actividad humana en los cambios sufridos por el planeta (Sachs, 2008), con muchos puntos vinculados a los que Folke (2013) califica como “la gran aceleración de la actividad humana”, principalmente a partir de la década

de los cincuenta. Folke de hecho asegura que la humanidad se ha acercado peligrosamente a los límites del planeta superando ya algunos de ellos.

Otros pensadores como Edgar Morín (2014), o Mireille Delmas-Morty (2014) ya han expresado ideas similares a favor de proyectos colectivos orientados a redirigir la forma de nuestra producción, utilización de recursos y consumo. En enero de 2015, al finalizar la Década de la Educación para un Futuro Sostenible, la ONU puso en marcha un Programa de Acción Global con el fin de impulsar la transición a la sostenibilidad a nivel mundial. Así, en todo el mundo hay cierto grado de preocupación y diferentes medidas de acción para continuar satisfaciendo, a través de la sostenibilidad, el ritmo de producción y consumo creciente. Uno de los mercados con más demanda es la producción de carne de cerdo. A mayor cantidad de producción de cerdos, mayor cantidad de estiércol resultante.

El estiércol porcino generalmente consiste en heces, orina, agua desperdiciada por bebederos, agua de saneamiento, desperdicios de comida, caspa de animales, polvo, entre otras cosas, (Menezes *et al.*, 2017), y a veces también por restos de camas, como paja o virutas de madera (Mergen Junior *et al.*, 2019). El estiércol de consistencia líquida de cerdo o de bovino proveniente de granjas y lecherías es comúnmente llamado purín. Los purines naturalmente contienen nutrientes y elementos necesarios para el crecimiento de las plantas como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre y oligoelementos como hierro, cobre y zinc (Kowalski *et al.*, 2013). El estiércol, por su contenido de materia orgánica es capaz de mejorar la composición física del suelo, así como su importante contribución en los ciclos naturales de la naturaleza (Da Silva *et al.*, 2016; Mergen Junior *et al.*, 2019).

Dependiendo de la composición en particular de cada tipo de efluente aplicado, y principalmente sabiendo los requerimientos específicos de cada cultivo, es como se puede determinar la cantidad correcta al aplicar o la forma más adecuada para su

tratamiento. Además, si el estiércol se aplica combinado con otros desechos, como restos del barbecho anterior, o elementos ricos en carbono (Herrig *et al.*, 2018; Gagnon *et al.*, 2012), se aumenta la relación C:N aumentando la fuente de energía requerida por los microorganismos del suelo para integrar los nutrientes de nuevo al suelo y volverlos disponibles para las plantas (Moreno y Cadillo, 2018). A veces, ya en la práctica, debido a la falta de espacio o tierras para repartir la cantidad de desechos, este tipo de efluentes son aplicados a la tierra de forma desequilibrada en relación a las necesidades específicas de la planta, y así desaprovechando o perdiendo ciertos nutrientes que siendo tratados, serían ocupados en otro proceso de la producción. Es por esta razón la importancia de conocer las posibles opciones de tratamiento de este tipo de efluentes y los impactos reportados.

El Tratamiento que se le aplica a los efluentes, tiene como objetivo el modificar las características del residuo para su correcta adecuación a las demandas de un producto y la modificación de la composición fisicoquímica del mismo estiércol para evitar daños o pérdidas posteriores de nutrientes durante su manejo o aplicación, además de aminorar el impacto negativo al suelo. Para iniciar el correcto manejo de estos efluentes animales, algunas técnicas empleadas, sugieren la separación de sólidos y líquidos, que puede realizarse por medio de tornillos de presión, tamices, centrifugación, por gravedad o por floculación (aglutinación mediante el uso de sustancias químicas). Al realizar la separación de sólidos, se obtiene una fracción sólida y una líquida que tendrá un diferente manejo para continuar su tratamiento. Esto, aunque podría significar un ahorro energético, por otro lado, incrementa el gasto energético para el manejo de cada una de las fracciones, pero es debido a la variación en las características fisicoquímicas de cada producción de estiércol, que se puede afectar en diferente medida al cultivo objetivo; por ejemplo, la alta conductividad eléctrica de las excretas líquidas de cerdo condiciona su uso, pues con valores cercanos a 15 dSm<sup>-1</sup> hay un efecto negativo en el desarrollo de las plantas (Soria *et al.*, 2001).

El manejo para cada tipo de fracción, (sólida (S), líquida (L) o íntegra (I)) suele hacerse con cierto tipo de tratamientos en específico por presentar un manejo más práctico de acuerdo al producto final buscado. Los tratamientos principalmente usados alrededor del mundo incluyen tanques estercoleros de almacenamiento, (aplicados generalmente a I y L), cuyo objetivo es regular entradas y emisiones discontinuas. digestión aerobia heterótrofa (aplicados a I y L), cuyo objetivo es eliminar materia orgánica, digestión anaeróbica (aplicados a I, S y L), cuyo objetivo es la producción de energía (CH<sub>4</sub>), la eliminación de materia orgánica y diversos microorganismos, también suele ser usado el compostaje (aplicados a S), que ayuda a estabilizar y eliminar materia orgánica, reducir niveles de patógenos y la obtención de un abono orgánico de buena calidad, además de otros tratamientos que incluyen la dosificación de aditivos (aplicados a I, S y L), para modificar la composición de estos purines y adecuarlos a las necesidades de los cultivos o posibilitar otros procesos (Asociación Colombiana de Porcicultores, 2002).

Es necesario el ampliar el conocimiento sobre otras alternativas para seguir abasteciendo la gran necesidad de producción de alimentos creciente a nivel mundial, por lo que es prudente tener en cuenta la información publicada a nivel internacional sobre el uso de purines dentro del tema de la fertilización orgánica y su efecto a corto y largo plazo en las clases de plantas Monocotiledónea y Dicotiledónea, así como el impacto causado al suelo.

### **III. Marco teórico**

#### **1. Manejo pecuario a nivel internacional y nacional**

Con el crecimiento de la industria y el crecimiento poblacional en todo el mundo, las necesidades y mayor demanda de alimento, principalmente de carne, también aumentó. La producción de carne (en general) en 2017 a nivel mundial, fue casi cinco

veces más alta que a principios de la década de los 60 (de 70 millones de toneladas a más de 330 millones), según la BBC (Ritchie, 2019). Sin embargo, la situación en cada país es diferente. Mientras el consumo de carne en países como China en las últimas décadas ha ido en aumento, actualmente alcanzando más de 60 kg (Xinhua, 2019), al igual que en Brasil, siendo casi de 100 kg al año, en Estados Unidos, Australia, Nueva Zelanda y Argentina ya se han superado los 100 kg per cápita y en Europa, entre 80 y 90 kg, en países con ingresos mucho más bajos como Etiopía, Ruanda y Nigeria, el promedio es de 8% kg per cápita al año. Aunque India es una economía creciente, registra uno de los consumos per cápita más bajos, siendo de 4 kg por persona, esto probablemente debido a factores culturales y religiosos (Ritchie, 2019). Aún así, como colectivo, nuestro consumo de carne va en aumento, a la par del aumento de los GEI, y la constante necesidad de cambios de uso del suelo (ya sea por crecimiento poblacional o necesidad de más granjas y cultivos aprovechables para humanos y animales) y contaminación en general.

El cerdo es la carne más consumida del mundo a pesar de las restricciones culturales y religiosas de algunos países. El 75% de la producción mundial de carne de especie porcina se encuentra concentrada en China, la Unión Europea y Estados Unidos. La producción mundial en 2020 se estimó en 109, 2 millones de toneladas, 0.8% menos que en 2019 (principalmente debido a las reducciones de producción causadas por la Peste Porcina Africana en China, Filipinas y Vietnam, sin embargo, esto se compensó parcialmente con el aumento en la producción en otros países como Estados Unidos, Brasil, la Unión Europea, Rusia, Canadá, México y Chile) (Ritchie, 2019). México es un productor mediano y representa 1.1% de la producción mundial siendo deficitario; además es el segundo importador más importante, pues sus compras representan 9% del total del comercio internacional del producto. A nivel mundial, China y la Unión Europea son los mayores consumidores de carne de cerdo con 54,8 y 21,1 millones de toneladas consumidas en 2017 respectivamente (OCDE, 2019). En México, el cerdo es la carne más consumida después del pollo, colocándose como el octavo país en el mundo

consumidor de carne de cerdo, llegando a los 12 kilos per cápita en 2017 (2,1 millones de toneladas de carne porcina) (Amo, 2018), alcanzando actualmente 18 kilogramos per cápita anual por habitante y superando los 2.2 millones de toneladas para 2020 (Porcicultura, 2020).

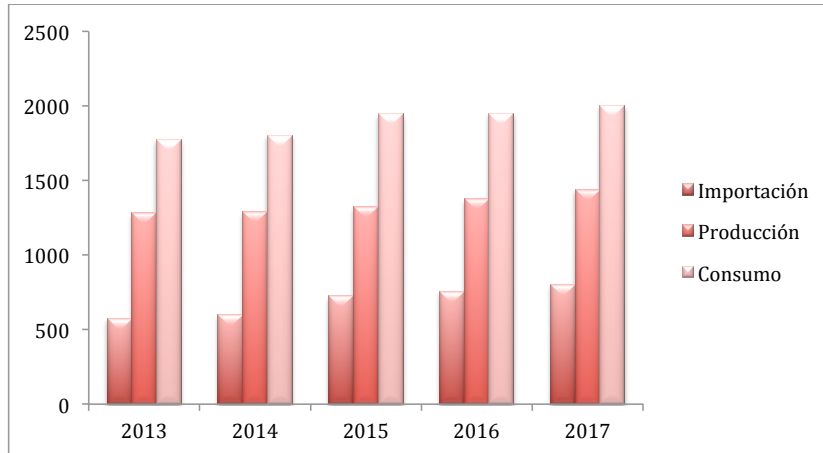


Gráfico 1. Relación oferta, demanda y consumo de carne de cerdo en México (en miles de toneladas). (Fuente: Amo, 2018).

La oferta nacional es insuficiente, y se prevé que la demanda interna de cerdo siga creciendo a un ritmo mayor a la producción nacional. La baja productividad de pequeños productores, orilla a estos establecimientos a la desaparición, arrastrando la producción a granjas más tecnificadas y con una infraestructura más estable, además de la tradicional dependencia de importaciones (Amo, 2018), que durante los últimos cinco años, ha crecido a una tasa promedio anual de 9.6%. En 2018, las importaciones crecieron 11.6% para ubicarse en un máximo histórico de 896,000 toneladas y se exportó un volumen de 140,000 toneladas. Así, las importaciones netas fueron equivalentes a 33.5% del consumo nacional. Estados Unidos y Canadá son los principales proveedores de México y Japón es el receptor del 76% de las exportaciones mexicanas (Gaucín, 2019).

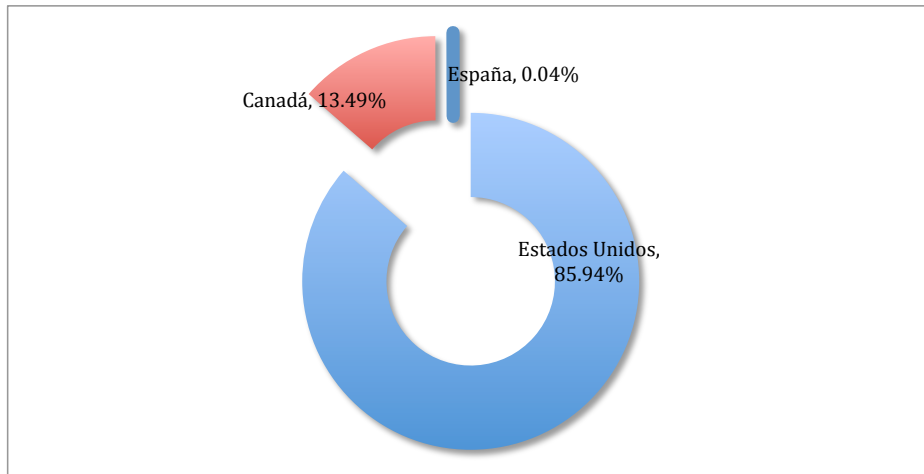


Gráfico 2. Porcentaje de toneladas importadas en el país por cada proveedor de carne en México, 2017. (Fuente Amo, 2018).

Es debido a esto la necesidad de integrar tendencias de manejo a la producción, capaces de lograr un sistema circular (economía circular) y al mismo tiempo impulsar acciones para generar una economía sostenible, con una gestión eficiente de recursos, adecuada y enfocada en reducir el impacto de la huella ecológica trayendo consigo seguridad alimentaria en el país (FAO, 2017). La energía circular es una tendencia actual necesaria que ha venido tomando más fuerza debido a los cambios visibles percibidos en la naturaleza y variaciones en la obtención de los productos, resultando en grandes cantidades de desecho producido sin lugar a dónde ir.

La economía circular busca sustituir el modelo actual de producción lineal, el cual genera grandes volúmenes de desechos, por otro modelo cíclico en donde se procure y facilite la recuperación o reciclaje de materias primas y el desarrollo de fuentes de energía renovables (Cárdenas Guzmán, 2018). Así, desde hace algún tiempo, en muchos países se han estado explorando opciones viables para la aplicación y puesta en marcha de este nuevo paradigma económico. La integración de los lodos porcinos a la tierra

como método de recuperación de nutrientes y mejora de las propiedades del suelo es una tendencia viable y necesaria para la generación de una menor cantidad de residuos tóxicos hacia el humano y al medio en el normalmente son vertidos.

## **2. Cultivos de interés agropecuario**

La clasificación filogenética científica actual está basada en el método cladístico, por Hennig (1950), en su libro “Una teoría de la sistemática filogenética” traducido del alemán al inglés en 1966 y está publicado en la Revista Botánica de la Sociedad Linneana como “The Angiosperm Phylogeny Group, IV (2016)” . Las plantas con flor o angiospermas son uno de los grupos más afectados por esta clasificación basada en análisis moleculares con 4 modificaciones en total desde su primera publicación en 1998 (APG) (APG II, 2003, APG III, 2009 y APG IV, 2016). Las plantas se dividen en plantas con flores (angiospermas) y plantas sin flores (que a su vez se dividen en briofitas (musgos), pteridofitas (helechos) y gimnospermas (pinos, abetos, cipreses)). El grupo de las angiospermas están constituidos por órganos vegetativos bien diferenciados (raíz, tallo, hojas) y tienen flores vistosas, pétalos, sépalos, tépalos, carpelos y órganos reproductores (Cole *et al.*, 2019).

Dentro de las angiospermas, podemos clasificar a la clase monocotiledónea y a la clase dicotiledónea. Las monocotiledóneas son un grupo de plantas fanerógamas (plantas con flor) que está definido morfológicamente por presentar un cotiledón, haces vasculares atactostélicos, ausencia de crecimiento secundario típico y otros caracteres moleculares (Luceño y Bravo, 2013). Suelen presentar hojas paralelinervias, flores con perianto trímero y raíces adventicias e incluye grupos tan conocidos como las palmeras, las orquídeas y las gramíneas (cereales), éstas últimas de especial interés comercial.

Las dicotiledóneas son un grupo de plantas fanerógamas que presentan dos cotiledones en sus semillas, sus haces vasculares están dispuestos formando anillos, comprenden cerca de 200,000 de las 250,000 especies conocidas de angiospermas. Las dicotiledóneas son más primitivas que las monocotiledóneas y muchas de sus familias dentro de la clasificación son dominantes en muchos ecosistemas y son también de gran importancia económica, medicinal y ornamental (Benítez de Rojas., *et al* 2006).

### **3. Tipos de tratamientos de lodos principales**

#### **3.1. Digestión anaeróbica.**

Proceso biológico en el que se degradan desechos orgánicos, como estiércol vacuno, porcino, bovino y equino, a veces mezclados con materia vegetal como desperdicio de cosechas, paja, virutas de aserrín u otros materiales, gracias a la acción de bacterias en un ambiente anóxico. Durante el proceso son liberados gases como metano, (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) principalmente. El principal producto de obtención de este proceso es el biogás, el cual consiste en una mezcla de gases: metano, en una proporción de 50 a 70%, además de dióxido de carbono (27-45%) y otros gases en menor proporción como hidrógeno (H<sub>2</sub>, 1-10%), nitrógeno (N<sub>2</sub>, 0.3-3%), oxígeno (O<sub>2</sub>, 0.1%), (CO, 1%) y sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S, trazas) (Michel, *et al.*, 2010; Shen *et al.*, 2015; Zhang *et al.*, 2015). La digestión anaeróbica permite reducir la cantidad de materia orgánica además de la obtención de energía (biogás) y es posible debido a la interacción de diversos microorganismos estabilizadores y degradadores de los residuos orgánicos. Este es un punto a favor de este tipo de tratamiento, ya que la tradicional obtención de energía a través del uso de combustibles fósiles se relaciona con el aumento de gases de efecto invernadero. Existen bacterias mesófilas, con una temperatura de desarrollo ideal entre 33 y 45°C, y bacterias termófilas (50-60°C). El uso de bacterias mesófilas es la

opción más usada en la actualidad y se pueden encontrar en proporciones variables dentro de algunas fases del tratamiento dependiendo del proceso de digestión específico en cada caso. Además, las altas temperaturas del proceso de digestión anaeróbica (y compostaje) ayudan en la reducción de patógenos persistentes a un nivel seguro (K. Awashti et al., 2019).

### 3.2. Compostaje

Proceso oxidativo en el que participan diversos microorganismos, se atraviesa por una fase termófila y da como resultado materia orgánica estabilizada y libre de fitotoxinas, además de dióxido de carbono, agua y minerales, empleándose como fertilizante orgánico. Las condiciones necesarias para propiciar el proceso son la temperatura y una relación C:N de 20 a 35:1. Por sí solo, el estiércol de cerdo presenta una relación de 5:1 aproximadamente, por lo que es recomendada la mezcla con materiales ricos en carbono, para así optimizar el ciclo del Nitrógeno (Michel *et al.*, 2010). Cuando el compostaje alcanza los 60°C se alcanza la estabilidad, siguiendo un proceso de enfriamiento y una etapa de maduración en donde además se consigue la eliminación o reducción de agentes zoonóticos patógenos como bacterias del género *Salmonella*, (familia enterobacteriaceae, bacilos gramnegativo intracelulares anaerobios facultativos con flagelos peritricos), género *Escherichia* (familia Enterobacteriaceae, bacteria gram negativa, anaerobia facultativa) y del género *Yersinia* (familia de las Yersiniaceae, bacilos del tipo gramnegativos aerobios y anaerobios facultativos), protozoos como *Entamoeba histolytica* (protozoo parásito anaerobio dentro del género *Entamoeba* ) o como *Giardia lamblia* (protozoo flagelado del orden Diplomonadida), nematodos como *Ascaris lombricoides* (nemátodo parásito del ser humano), platelmintos como *Taenia saginata* (platelminto parásito de la clase Cestoda, orden Cyclophyllidae), virus como poliovirus (género enterovirus, familia Picornaviridae, causante de poliomielitis en humanos) y rotavirus (género de virus ARN bicatenario de la familia Reoviridae, causante común de

diarrea en niños) y hongos como *Aspergillus fumigatus* (hongo multicelular filamentoso hialino causante de enfermedades respiratorias en humanos)(Létourneau et al., 2010).

### **3.3. Lombricompostaje**

Proceso en el cual es utilizada la lombriz (generalmente *Eisenia fetida*, *Eisenia Andrei*, *Perionux excavatus* y *Eudrilus eugeniae*) para la transformación de desechos orgánicos. Hay tres tipos de lombrices en la tierra: las epígeas encontradas en la superficie del suelo, las anésicas que mediante sus galerías horizontales y verticales introducen la materia orgánica al suelo y las endógenas viviendo normalmente a mayor profundidad. Las lombrices usadas en este proceso son las epígeas. El excremento de lombriz es un abono orgánico rico en nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio, minerales y micronutrientes necesarios para el correcto crecimiento de cultivos, además de hormonas, enzimas y una diversa población microbiológica libre de patógenos, benéfico para el suelo, además de mejorar sus propiedades físicas como la retención de humedad, porosidad y estructura (Prado García, 2013).

### **3. 4. Almacenamiento Convencional**

Este proceso es importante pues sirve para homogeneizar el efluente y la concentración de descargas intermitentes en una granja a lo largo del tiempo. Durante este proceso se retienen muchos nutrientes y elementos porque generalmente atraviesan por un proceso de sedimentación, aunque ocurre volatilización del amonio en formas gaseosas (Garzón Zúñiga y Buelna, 2014), aunada la reducción de humedad. El almacenamiento en lagunas puede tener periodos de tiempo muy variables debido a los productos finales a obtener y el uso del lodo en sí, además de las prácticas definidas en cada granja para depositar los efluentes. El tiempo normal de almacenamiento varía, y

este manejo suele ser relativamente simple, ya que algunas veces, el producto no se seca antes de ser aplicado (Medina Tiznado, 2013).

### **3.5. Tratamiento químico**

#### **3.5.1 Nitrificación-desnitrificación (NDN)**

Este proceso microbiológico tiene como objetivo básico la eliminación de nitrógeno en el efluente, durante el cual, el amonio es oxidado por bacterias autotrofas a nitrato en presencia de oxígeno y carbono orgánico (nitrificación) seguido de la reducción del nitrato a nitrógeno molecular por bacterias heterótrofas. Puede ser un proceso con elevados costos de inversión y sensible a variaciones por lo que debe ser muy bien controlado, y si se maneja adecuadamente, es una opción para la transformación de nitrógeno orgánico y amoniacal en nitrógeno inerte y no contaminante (ARC, 2004).

#### **3.5.2 Adición de enzimas**

En algunos tratamientos se adicionan enzimas de forma continua con el fin de estabilización de los sólidos, reduciendo en gran medida la generación de amoníaco y permitiendo dar un tratamiento parcial a estos efluentes. Estos tratamientos favorecen el aumento de ciertos contaminantes, como aumento de ST (Sólidos Totales) y DQO (Demanda Química de Oxígeno), debido a la desintegración de excretas por la actividad enzimática, liberando así los contaminantes que se disolverán o se mantendrán suspendidos en el efluente pero al mismo tiempo proporcionan una reducción de NTK (Nitrógeno Total Kjeldahl) y P (Fósforo) total. En estos sistemas, los residuos sólidos se sedimentan y finalmente, después de cada ciclo de engorda, el lodo tratado es descargado por un sistema de desagüe al suelo (Garzón Zúñiga y Buelna, 2014).

11/10/21 4:33 PM  
Con formato: Sangría: Primera línea:  
1.27 cm

### **3. 5.3 Coagulación-floculación**

Proceso que consiste en la adición de determinados químicos llamados coagulantes al efluente líquido con el fin de favorecer la sedimentación de materia coloidal no sedimentable o aumentar la rapidez de sedimentación por la formación de flóculos (masa coagulada de partículas en un líquido). Entre las variables que afectan directamente el proceso, están el tipo de coagulante, dosis empleada, pH, tiempo de agitación de la mezcla del coagulante y características fisicoquímicas del efluente. Para poder romper la estabilidad de las partículas coloidales y poderlas separar, se necesitan de tres prácticas conjuntas: coagulación, floculación y decantación (Cabrera Bermúdez et al., 2009).

### **3. 6. Lagunas de estabilización**

#### **3.6.1 Lagunas aeróbicas, anaeróbicas y facultativas**

En las lagunas aeróbicas o de oxidación se estabiliza la materia orgánica en presencia de oxígeno, aquí se puede ocupar la producción de algas para proporcionar un ambiente adecuado a ciertas bacterias y optimizar su proceso degradativo o se puede utilizar la aireación forzada para evitar la sedimentación y condiciones anóxicas. En las lagunas anaeróbicas se busca la descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno molecular, además de la disminución en el contenido de nutrientes; el nitrógeno es liberado al aire, mientras que otros elementos como el fósforo y potasio, se sedimentan en los fondos. Las lagunas facultativas combinan la actividad bacteriana aeróbica y anaeróbica.

#### 4. Caracterización de lodos

La mayoría de los sistemas de tratamiento de efluentes porcinos a escala real, presentan baja eficiencia en cuanto a remoción de contaminantes, debido principalmente a la gran variación en la concentración de contaminantes de diferentes procesos de producción (maternidad, destete, engorda), por lo que a veces, es difícil encontrar un tratamiento ideal adecuado para cada situación. A veces, aún después de haber sido tratados por algún método, y a pesar de la efectividad del proceso, la calidad del efluente no es la adecuada para ser utilizado en riego agrícola o descargado en cuerpos de agua. Para poder decidir la forma ideal para el tratamiento de estos efluentes, es necesario tomar en cuenta la capacidad de producción de la granja, la producción real, volumen de aguas residuales generado, uso general del agua, capacidad y posibilidades de la granja para mantener un tratamiento adecuado integral, así como las necesidades de los cultivos o vegetación presente en el espacio receptor de estos efluentes.

Las muestras analizadas en estos trabajos incluyeron análisis de los lodos residuales con parámetros fisicoquímicos, realizados en laboratorio. Algunos de estos parámetros incluyen: humedad (%), materia orgánica (% M.O.), electroconductividad ( $\text{dSm}^{-1}$ ), pH, demanda química de oxígeno (DQO), nitrógeno total (Nt), nitrógeno orgánico (N), sólidos suspendidos totales (SST), nitratos y nitritos, calcio (Ca), magnesio (Mg), fósforo (P), potasio (K), sodio (Na), azufre (S), cobre (Cu) y zinc (Zn). Algunos análisis incluyeron análisis de suelos antes y después de haber efectuado el experimento, para poder tener referentes y analizar a mayor profundidad el efecto que la aplicación de lodos tiene sobre el suelo, además se incluyó la cuantificación de porcentajes de arena, limo y arcilla que componían los sustratos.

El potencial de hidrógeno (pH), por ejemplo, puede afectar la productividad de los cultivos, alterando el pH del suelo y poniendo disponibles los metales tóxicos en

plantas, el pH bajo (<6.5) facilita la lixiviación de metales y el pH alto (>11) reduce patógenos e inhibe movilidad de metales; el contenido de materia orgánica mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo además de facilitar la infiltración y retención de agua; la cantidad de nitrógeno en el lodo en forma de amoníaco ( $\text{NH}_4$ ), nitratos (soluble,  $\text{NO}_3$ ) pueden llegar a ser tóxicas, por lo que deben aplicarse en cantidades agronómicas, o de otra forma ocurrirá lixiviación y contaminación por exceso de nutrientes, la concentración de metales es un dato limitante para la aplicación en suelos agrícolas, así como la concentración de tóxicos y las condiciones sanitarias del lodo comparadas contra los criterios y exigencias establecidos en cada país para su disposición (Medina Tiznado, 2013).

Aún cuando se conoce en el país sobre los sistemas de remoción de contaminantes y la baja eficiencia de algunos de ellos, hay muy poca literatura que aborde esta problemática, principalmente debido a la falta de difusión de la información. No se toma con tanto énfasis las diferencias en la composición encontradas en los efluentes de diferentes sistemas de producción, también afecta el grado de tecnificación que posea la granja y tratamientos convencionales aplicados con limitaciones técnicas y económicas, por lo que el tratamiento resultará en un sistema poco apropiado o mal diseñado y costoso (Garzón Zúñiga y Buelna, 2014).

#### **IV. Justificación**

En todo el mundo, la generación de desechos de estiércol a nivel ganadero se ha ido incrementando rápidamente debido al aumento de la población, y a las necesidades de consumo inequitativo e insaciable que ésta tiene, lo que ha causado que el número de granjas a nivel mundial destinadas a la producción de animales para su engorda y posterior consumo se incremente en un tiempo muy rápido, sin tener la infraestructura o prácticas adecuadas para poder manejar correctamente inmensas cantidades de estiércol que en algunos casos se producen y aprovechar todos los nutrientes. Por lo general, son desechados en campos circundantes y utilizados por sus beneficios nutritivos en el campo de la agricultura o vertidos en cuerpos de agua superficiales sin tener la debida importancia sobre el impacto que estas acciones generan en el medio. Se calcula que tan solo, la ganadería intensiva genera el 14, 5% de emisiones GEI (ZEO, 2020) por lo que es importante tomar en cuenta las medidas posibles para poder reducir estas cifras, al ocupar herramientas disponibles dentro de una economía circular. Es debido a esto que es necesario ampliar y promover la investigación en este campo, teniendo presentes las tendencias desarrolladas y aplicadas actualmente a nivel mundial mejorando así las condiciones en las que estos efluentes son incorporados al subsuelo con el fin de minimizar la huella del ser humano en la naturaleza.

## **V. Objetivos**

### **Objetivo general**

Analizar la revisión bibliográfica científica sobre el manejo de lodos residuales porcinos a nivel mundial durante una década mediante nueve motores de búsqueda

### **Objetivos particulares**

- Construir una bitácora de búsqueda funcional mediante el uso de elementos tácticos y conectores booleanos desde el año 2010 hasta el año 2021.
- Identificar dentro de la bitácora de búsqueda las líneas de investigación en las que se agrupa la información recabada sobre el manejo de lodos residuales porcinos.
- Analizar la composición de los lodos residuales y los parámetros biológicos y fisicoquímicos analizados en la revisión bibliográfica.
- Comparar los efectos del uso de los lodos residuales después de la aplicación a cultivos de la clase monocotiledónea y dicotiledónea.
- Evaluar el efecto de la aplicación de lodos residuales como fertilizante orgánico en el suelo.

## VI. Metodología

En este trabajo de tesis se indagó en la producción científica más relevante sobre el manejo de lodos residuales porcinos a nivel mundial: caracterización, tratamiento e impacto en suelos agrícolas. Se realizó una búsqueda exhaustiva a partir del año 2010 a la fecha, y se utilizaron los siguientes motores de búsqueda científicos:

- Scielo
- Science Direct
- Google académico
- Yandex
- Scopus
- Baidú
- BioOne
- World Wide Science
- Dialnet

Así mismo, se formularon diferentes ecuaciones de búsqueda con diversas palabras clave, tales como: "swine biosolids", "biosólidos" and "cerdo" and "cultivos", "purines" and "cerdo" and "cultivos", "purines" and "avena", "biosólidos" and "cerdo" and "avena", "biosólidos" and "rendimiento" and "avena" and "cerdos", "pig manure swine", "biosólidos" and "cerdo", purines de cerdo, swine manure, biosólidos en agricultura, biosólidos de cerdo, swine biosolids, "swine" and "biosolids" and "agriculture" and "crops", swine biosolids AND yield AND crops, "swine biosolids AND yield", "pig manure sewage AND oat", "swine manure AND yield" NOT "biogas", "swine manure AND yield AND NOT "biogas", "swine manure AND yield AND NOT biogas" AND NOT "biochar", "application of swine manure AND yield AND NOT biogas", "swine management AND soil", "swine biosolids" AND "production", "pig manure AND yield", "pig manure AND

"yield" AND "production", "Pig manure", "swine manure" AND "effects on yield" AND "crop production", "swine manure" AND "effects on yield", "swine manure" AND "crop yield", "corn yield" AND "DuPont" AND "swine manure", melfort 2007 swine manure, "swine slurry", "swine manure", swine manure, swine biosolids, swine manure properties, swine slurry, "swine manure treatment", swine manure treatment y physical chemical biological characterization AND swine slurry; en un periodo del mes de marzo al mes de abril del 2021.

## **VII. Resultados y Discusión**

A lo largo de las búsquedas, se pudieron identificar ciertas tendencias o líneas de investigación de acuerdo con las necesidades o posibilidades de aprovechamiento con respecto a los recursos disponibles. Por lo anterior, se agruparon y se presentaron como: suelo, monocotiledóneas, dicotiledóneas y tratamiento y caracterización. Se identificó mayor cantidad de estudios enfocados al impacto que estos lodos tienen en plantas de la clase monocotiledónea; entre las especies estudiadas podemos encontrar principalmente pastos y cultivos destinados al uso en forraje, esto probablemente se debe al importante interés económico de esta producción. A continuación, se resaltan los estudios dirigidos a la descripción de tratamientos para diferentes fracciones del efluente así como caracterizaciones fisicoquímicas y biológicas del mismo. También se presentan resultados orientados al impacto que la aplicación de lodos tuvo sobre la calidad y propiedades fisicoquímicas y biológicas en el suelo. Finalmente, se consideraron y analizaron revisiones bibliográficas, denominadas como estados del arte o “reviews”, que se enfocaron en recolectar la información relevante y discusión de ciertos parámetros en específico o una presentación resumida de varios procesos usados dentro de otros trabajos publicados.

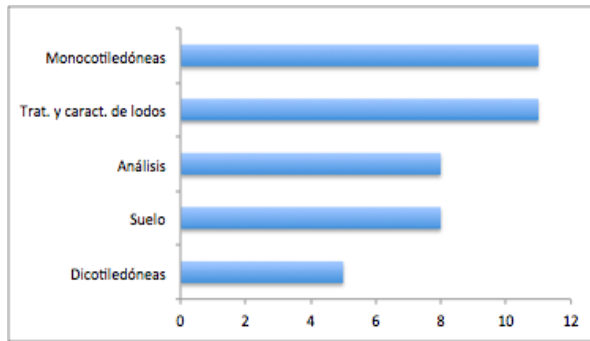


Figura 1. Número de artículos encontrados por cada línea de investigación identificada.

A raíz de este análisis, se encontró un mayor número de artículos dentro de las líneas de investigación clasificadas como “ monocotiledóneas” en la misma cantidad que “tratamiento y caracterización de lodos”. Por otra parte, las líneas de investigación que tuvieron menor cantidad de artículos publicados fueron: “análisis”, “suelo” y la línea de investigación que tuvo el menor número de artículos fue “dicotiledóneas”. Posiblemente las primeras dos líneas estén más exploradas debido a la cantidad de demanda de granos y forraje para la producción de alimento principalmente para ganado, que consiste básicamente en maíz, mijo, sorgo, trigo, además de cereales como avena, cebada y centeno (Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural, 2018). Ya que la disposición de estos efluentes se realiza en el suelo desnudo o cultivado, y al igual que las dos líneas principales, los artículos dedicados a la línea de “suelo” tienen gran importancia dentro del tema general sobre el uso de efluentes en agricultura.

Se ha reportado que, al mismo tiempo de ofrecer nutrientes, la gran cantidad de efluentes y un mal manejo de éstos, genera un exceso, pudiendo provocar contaminación en los puntos de aplicación, lixiviación y filtración, afectando así directamente a suelos y mantos acuíferos, creando en estos últimos zonas anóxicas (Shashvatt *et al.*, 2017) como ha ocurrido en Chile (Gutiérrez, 2012) o la situación ya conocida a lo largo del río Mississippi desembocando en el golfo de México (Meade, 1995),

ocasionando hasta la última medición en 2017 por el NOAA (ITESM, 2021) una zona hipóxica de 8,776 millas cuadradas. Esta alternativa de uso es ampliamente practicada por su fácil manejo, además en algunos casos, la carencia de terrenos cercanos ideales para depositar estos efluentes o la imposibilidad de costear las tecnologías necesarias para otro tipo de tratamientos más adecuados hace que ésta sea una de las pocas opciones viables. Pero a veces, el desconocimiento sobre la composición específica de los diferentes efluentes obtenidos, falta de información sobre la eficiencia de uso de los nutrientes que contienen y su posible efecto residual, dificulta una correcta aplicación de los mismos (Pinasco *et al.*, 2014).

En la actualidad se plantea la urgente necesidad de establecer parámetros unificantes para la aplicación de este tipo de fertilizantes derivados de estiércoles en todo el mundo, replicables en cada situación y tipo de granja, por lo que la investigación que se desarrolla está más enfocada a la caracterización fisicoquímica de estos lodos y posibles tratamientos, con una gestión planeada de fondo, tomando en cuenta las variaciones en los efluentes obtenidos, formas de aprovechamiento o lugares adecuados en dónde depositarlos, ocupando a favor los nutrientes encontrados en ellos y al mismo tiempo haciendo uso de un fertilizante orgánico (Gagnon *et al.*, 2012; Costa *et al.*, 2014), completo y capaz de sustituir el uso de fertilizantes comerciales. También debe ser evaluado el contenido de nutrientes de los efluentes no solo total, sino el disponible para las plantas, incluyendo algunos procesos de transformación ocurridos en el suelo como mineralización, nitrificación o fijación del fósforo (Pinasco *et al.*, 2014), asegurando así que los nutrientes necesitados por el cultivo estén disponibles para éste, sin comprometer la calidad del suelo.

Para dicotiledóneas se encontró la menor cantidad de artículos, debido a que a nivel mundial, existe poca información sobre la disposición de lodos residuales para producción orgánica (consumo humano), la mayor parte de la información está dedicada a buscar alternativas para la disposición de estos efluentes con un menor impacto en el

ambiente (Corá Segat *et al.*, 2015), en la obtención de fertilizantes para producción de granos y forraje (Costa *et al.*, 2014), en la obtención de fertilizantes estables para su venta o disposición en suelos y cuerpos de agua (Riaño y García González, 2013), así como los efectos en el campo de la silvicultura, como rehabilitador forestal (Da Silva Oliveira, *et al.*, 2016; Salcedo-Pérez, *et al.*, 2007). De hecho, existe un cierto tipo de controversia cultural y sanitaria (Aldana Tique y Pérez Rojas, 2017) con la finalidad de ocupar lodos residuales en la producción de alimentos para consumo humano, además de que los criterios para asegurar la fitosanidad de los efluentes aunque son similares, no son unificados en todo el mundo y por el momento, la investigación se enfoca en cubrir necesidades agrícolas principalmente, mencionado sólo así en muchas publicaciones, además de en algunos frutales (Medina Tiznado, 2013).

Dentro de la línea de investigación de “análisis”, se tomaron en cuenta trabajos que incluyen críticas hacia otros proyectos o formas de aplicación de los efluentes, como la publicación informativa de Sonne *et al.* (2019) en donde explica la importancia de disminuir elementos tóxicos como Cu y Zn en estos productos de desecho previamente a depositarlos en el suelo o usarlos para producción de grano; también fue analizado un manual, realizado por el gobierno de Manitoba, Canadá (2015) en donde explica diferentes formas de manejo de varios tipos de estiércol producidos, sus propiedades y formas de aplicación sugeridas por el gobierno. Además se encontraron estudios de diferentes cadenas de producción o manejo, como el estudio de Bai *et al.* (2016) que analizó el flujo de nutrientes ocurridos durante todo el proceso de cadena del estiércol, desde la ingesta, excreta, recolección, tratamiento y aplicación del estiércol a través de diferentes procesos usados generalmente en las granjas de China y en diferentes producciones de animales; por otro lado, Zubair *et al.* (2020) plantearon una revisión de varios métodos de composteo de lodos con cascara de arroz, paja de trigo o manzanas podridas, además de aireación y almacenamiento para el efluente de consistencia sólida y digestión anaeróbica para el efluente de consistencia líquida, estudiando también los nutrientes obtenidos al final de todos estos procesos y encontrando que la aireación es

necesaria dentro del proceso de compostaje, así como la posibilidad y ventajas de usar el producto resultante como fertilizante. También fue de gran importancia la revisión crítica de K. Awashti *et al.* (2019), en donde se describen a detalle diferentes procesos para el tratamiento de efluentes orgánicos, diferencias en aprovechamiento y producción de biogás con diferentes sustratos.

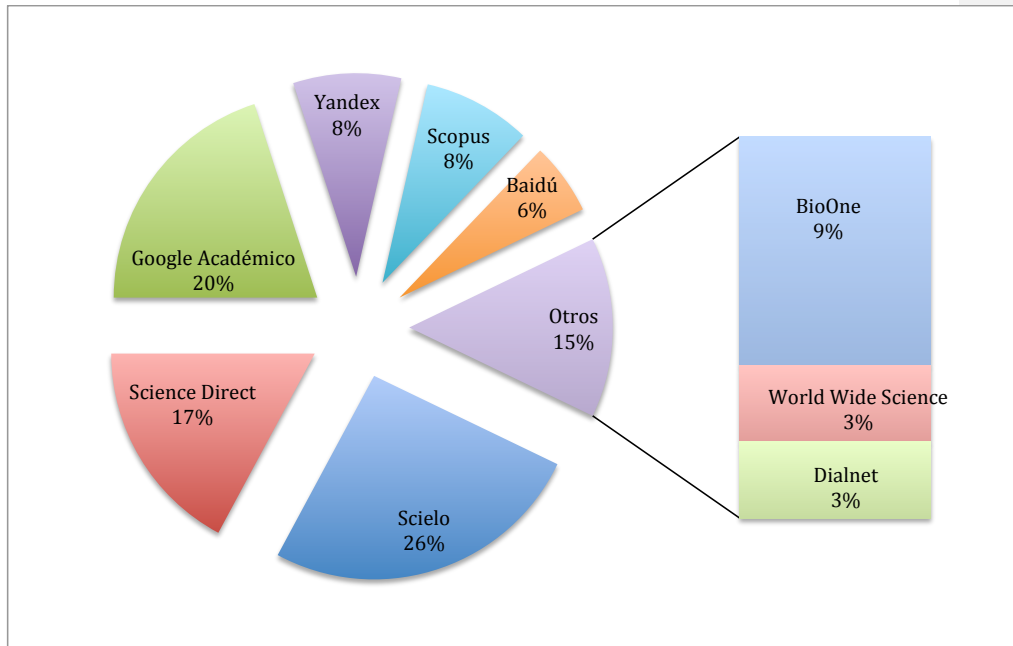


Fig. 2. Porcentaje de artículos encontrados por motor de búsqueda. (Fuente: elaboración propia).

Se analizaron un total de 43 artículos utilizando diferentes motores de búsqueda. La mayoría de los resultados se encontraron en el buscador científico Scielo (Scientific Electronic Library Online), el cual consiste en un modelo de publicación electrónico cooperativo que comenzó con la iniciativa de la Fundación para el Apoyo a la Investigación del Estado de Sao Paulo del Centro Latinoamericano y del Caribe, facilitando el acceso a textos científicos completos en línea y funcionando como una red

de bibliotecas de ciencias de la salud. Hoy en día, Brasil se sitúa como el mayor productor y consumidor de carne porcina de Latinoamérica, seguido por México, después Chile, Argentina y Colombia (Amo, 2018), el tema de la utilización de desechos y efluentes es uno que toma mucha importancia.

Por otro lado, se observó que en menor medida se encontraron artículos en Google Académico y en Science Direct, con 20 y 17% respectivamente. Google Académico es un motor de búsqueda de Google que indexa material científico académica de fácil acceso; jerarquiza sus resultados de forma similar a Google, y reúne una cantidad mayor de resultados debido a que incluye una mayor variedad en los resultados (Torres-Salinas et al., 2009). Google académico es uno de los buscadores más utilizados a nivel estudiantil alimentado por información de diversas fuentes, como editoriales universitarias, asociaciones profesionales, universidades y otras organizaciones académicas, y cuenta con diferentes configuraciones adaptables a la búsqueda específica de cada usuario. Es un motor amigable con un público más amplio, con información científica de acceso público en internet y en el idioma que se prefiera, por lo que muchas veces, es la vía más utilizada por la comunidad estudiantil para obtener una bibliografía confiable.

Science Direct es la siguiente plataforma en relevancia, publicando desde artículos de revistas de texto completo hasta libros actualizados desde 1997 y es operado por el editor anglo-neerlandés Elsevier (Elsevier, 2021). El inconveniente con este sitio es que el acceso a los artículos completos requieren de una suscripción, por lo que no es asequible para todos los usuarios. Las publicaciones aquí están agrupadas en cuatro secciones: Ciencias Físicas e Ingeniería, Ciencias de la Vida, Ciencias de la Salud y Ciencias Sociales y Humanidades. Science Direct se encuentra entre los motores de búsqueda más competitivos y con mayor audiencia como la red social académica ResearchGate o revistas como PLOS y se enfoca en la divulgación del conocimiento científico a nivel global.

A continuación, y con una notable baja en la identificación de resultados, los motores de búsqueda Yandex, Scopus y Baidú, con 8, 8 y 6% respectivamente del número total de artículos encontrados. Comenzando con Yandex, una empresa multinacional rusa con oficinas a lo largo de todo el mundo, operando el motor más grande de búsqueda de Rusia desde el año 2000 y según la clasificación en Alexa Top Sites, a partir del año 2018, Yandex ocupaba el puesto número 29 en el mundo en cuanto a popularidad (Alexa, 2021). Su nombre deriva del inglés “Yet another indexer” (Villanueva, 2016). Tiene presencia muy grande en todo Rusia, Alemania, Kazajistán, Bielorrusia y Turquía. En 2008 abrió una oficina en Estados Unidos. Este motor tiene como función dar respuesta a cualquier tipo de pregunta de diversa índole de los usuarios, por lo que no hay un enfoque específico de contenidos. Se trata de un motor no especializado, por lo que no dirige o relaciona búsquedas con resultados relevantes en el gremio agropecuario.

Siguiendo con Baidú, un motor de búsqueda fundado a finales de 1999 en China, según un ranking elaborado por Alexa Top Sites, es el quinto sitio más visitado en Internet a nivel mundial (Alexa, 2021). El nombre de Baidú, significa literalmente “incontables veces”. El motor de búsqueda de baidú incluye servicios satelitales como mapas, enciclopedia en línea, búsqueda de patentes, sistemas de almacenamiento en nube, cotizaciones de bolsa, noticias, correo, red social, traductor, horarios de trenes y vuelos, información local y un foro de discusión basado en palabras clave, además de muchos otros servicios orientados a movilizar la economía y manejo de productos y servicios provenientes de China a nivel internacional, además de ofrecer aplicaciones que faciliten las búsquedas comunes y necesarias para la vida diaria de sus usuarios. Debido a la gran variedad de categorías de este motor tan popular, es probable que no muestre resultados del sector agrícola tan especializados como el uso y manejo de efluentes porcinos, sin embargo, China es el mayor productor y uno de los mayores

consumidores (OCDE, 2019), así que probablemente los artículos especializados sean de más fácil acceso desde otro tipo de buscadores.

Finalmente Scopus es una base de datos perteneciente a la plataforma Elsevier, al igual que Science Direct, fue lanzada en 2004 y actualmente cubre cerca de 41,462 títulos, comprendiendo 40 idiomas. Los temas principales incluidos son sobre Ciencias de la Vida, Ciencias Sociales, Ciencias físicas y Ciencias de la Salud. Scopus ha sido catalogado como fácil de navegar, además de ofrecer información y perfiles sobre los autores y detalles sobre sus publicaciones, por lo que se considera un buscador adecuado para la obtención de datos relevantes y actuales en la ciencia; en este caso investigación agropecuaria.

A continuación, en la figura 3, se observó una tendencia de incremento de número de artículos publicados por año a partir del año 2011 hasta 2013, seguido por una caída en publicaciones referentes al tema en el año 2014. Así mismo, se identificó que existe un aumento en el número de artículos publicados en el año 2015 (seis artículos) que se mantuvo solo hasta el año 2016, cayendo a cuatro en 2017 y cinco en 2018. A partir de ese año, la producción científica disminuyó drásticamente hasta el año 2021 (con uno). Este último dato se debe, muy probablemente a las complicaciones ocurridas debido a la pandemia por el virus COVID-19 (Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades, 2020).

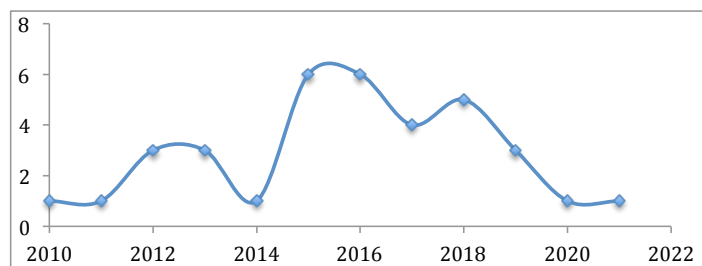


Figura 3. Número de artículos encontrados cada año.

El incremento en el número de artículos podría deberse a la demanda de información por parte de los agricultores en optimizar su producción, ya sea de cerdos o de granos y forrajes y al mismo tiempo, poder reducir la carga negativa ambiental que la acumulación de estos residuos genera y así minimizar también los efectos secundarios negativos como el olor desprendido cerca de regiones pobladas. Tanto América del Norte como América Latina son regiones donde se cultivan grandes extensiones de granos y forrajes para la alimentación humana y principalmente animal. Dada la importancia económica de las gramíneas, y la creciente incorporación de prácticas que apoyan a una economía circular por parte de grandes empresas ganaderas y grandes productores o asociaciones internacionales. Desde hace aproximadamente 30 años hasta la actualidad se han venido implementando y desarrollando “tecnologías alternativas”, sin embargo los casos de grandes dimensiones aún son escasos en Europa, África y América Latina debido principalmente a problemas técnicos, pero sobre todo económicos (Zurita, A - GIZ, 2017; GCM, 2019), por lo que el aumento de la demanda en investigación que provea de información necesaria para optimizar y eficientizar estos procesos, va también en aumento. Las fuentes de energía más utilizadas para la alimentación de ganado, principalmente porcino, son el maíz, el sorgo, la avena, el trigo y la soya (harina de soya), además de agregársele vitaminas, minerales y antibióticos prefabricados, vendidos como premezclas (Alós, 2015).

Esto conlleva a la necesidad de mejores especificaciones en dosis de aplicación, mejores prácticas de tratamiento de residuos y mayor información sobre la respuesta en el grupo de plantas monocotiledónea a diferentes dosis de aplicación de los efluentes porcinos, aplicándoseles diferentes tratamientos. Como se puede ver en la figura 4, revisando el número total de artículos encontrados por región, en Europa es donde se encontró mayor información con respecto a tipos de tratamiento de efluentes, probablemente debido al carácter más riguroso, que en América por ejemplo, para la aplicación de éstos. También se ha encontrado una tendencia alta de resultados en temas dirigidos al efecto en suelo, por parte de América Latina, resultado probablemente

debido a la rápida contaminación y efectos repentinos y drásticos observados en los últimos años (FAO, 2015).

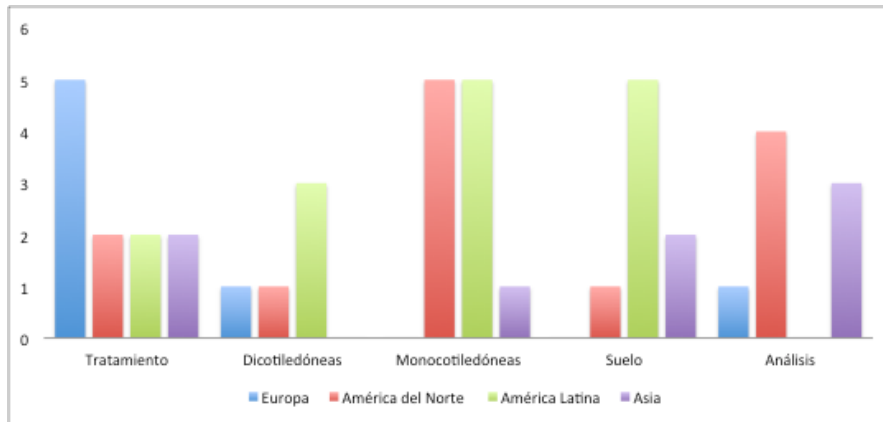


Figura 4. Número total de artículos encontrados en cada región.

### Tratamiento y Caracterización de lodos

Los efluentes residuales deben tener una composición equilibrada de macro y micronutrientes para poder mantener con vida microorganismos anaeróbicos, y debido a su lento crecimiento, demandan pequeñas cantidades de estos nutrientes, por esto se procuran establecer tiempos definidos para cada tipo de tratamiento y los beneficios sobre la calidad de cada efluente de lodos de las granjas ganaderas (Zurita, A, GIZ., 2017) Además, para poder establecer límites y métodos estándar de aplicación en cada país, es necesario, por ejemplo cumplir la normativa vigente particular del sitio (NOM-004-SEMARNAT-2002, 2003) (FEQA, SF) (Leite Moretti *et al.*, 2021) así como disponibilidad de áreas adecuadas de tratamiento o almacenamiento particular de cada granja (García González *et al.*, 2016), distancia entre estas granjas o plantas de tratamiento y regiones

pobladas cercanas, calidad del suelo en el que se desean depositar estos efluentes y necesidades nutricionales de las plantas si es que se planea ocupar como fertilizante. Se han realizado estudios que aseguran que el uso de efluentes en la agricultura pueden aumentar del 10 al 85% de rendimiento en los cultivos en relación con los fertilizantes químicos, sin presentar ningún riesgo hacia la salud o el ambiente (Franco, 2018).

También hay estudios de hace más de diez años, analizando el posible efecto a corto y largo plazo (Mergen Junior *et al.*, 2019; Schlegel *et al.*, 2017) con resultados tanto positivos como negativos (Zhang *et al.*, 2015; Luo, W. *et al.*, 2019) por lo que existe la urgencia de acertar con las dosis óptimas y técnicas adecuadas para desarrollar un plan de fertilización integral, teniendo en cuenta la amplia gama de concentraciones de nutrientes en diferentes lotes de lodos y así reducir la acumulación de efluentes sin el correcto tratamiento en suelo y agua. Debido a esto, se clasificó el tipo de tratamiento aplicado en base a las líneas de investigación identificadas. Así, se encontró, por ejemplo en la tabla 1, el análisis de artículos referentes a la línea de investigación de Tratamiento y Caracterización. Cabe mencionar, que en esta línea, se encontró muy poca información referente solamente a tratamiento de lodos de origen porcino, por lo que se decidió abarcar artículos que además de contener información sobre estiércol porcino, incluía estiércol de orígenes avícola, bovino y un artículo que incluía además de estiércol de Ganado, lodos municipales y residuos de la industria alimenticia.

Origen de fertilizante	Estado del fertilizante orgánico	Tipo de tratamiento	Tiempo de estudio	Referencia
P,B,A	L	Separación mecánica, tratamiento químico (coagulación floculación y NDN)	6 meses	García González <i>et al.</i> , 2016
B.P	M	Digestión anaeróbica	2 meses	Cano-Hernández <i>et al.</i> , 2016
P	M	Almacenamiento	11 meses	Kowalski, <i>et al.</i> , 2013

		convencional (digestión aeróbica)		
P	S	Separación de fases	10 meses	Létourneau, <i>et al.</i> , 2010
P	M	Co-digestión anaeróbica y pasteurización post-digestión	3 meses	Coelho <i>et al.</i> , 2018
P,B	M	Liquefacción y almacenamiento convencional (digestión aeróbica)	12 meses	Barret <i>et al.</i> , 2013
P	L,S	Fase de separación de fase sólida y líquida, tratamiento químico (coagulación floculación y NDN) de líquidos	5 meses	Riaño y García González, 2013.
P	M	Almacenamiento convencional	6 meses	Kumari, <i>et al.</i> , 2015
P	S	Compostaje	6 meses	Santos, <i>et al.</i> , 2016.
P	L,S	Digestión anaeróbica	8 meses	Leite Moretti <i>et al.</i> , 2021
P,B,A	M	Diferentes duraciones de almacenamiento convencional	24 meses	Shen, <i>et al.</i> , 2015

Tabla 1. Origen y estado de efluentes, tipo de tratamiento aplicado y duración de los artículos analizados referente a la línea de investigación de “Tratamiento y caracterización”. P: porcinos, B: bovinos, A: avícolas. L: líquidos, S: sólidos, M: mezclados (Fuente: elaboración propia).

Los análisis de García González *et al.* (2016), consistieron en la caracterización de 8 plantas de Tratamiento en regiones de Europa, con efluentes de diferente procedencia, y diferentes métodos de manejo; todas las plantas generaron la reducción del 53 a 90% de gases de efecto invernadero, además de reducir materia orgánica, sólidos totales,

demanda química de oxígeno. El caso de Tratamiento analizado se enfocó en la planta que manejaba únicamente efluentes porcinos, el cual consistió primeramente en la separación mecánica del efluente, seguido de la aplicación de un Tratamiento químico a la parte líquida y posteriormente un proceso de Nitrificación y desnitrificación hasta el almacenamiento. Específicamente en este caso, se eliminó el 94% de la demanda química de oxígeno, 80% de sólidos totales y aproximadamente 90% de TKN y  $\text{NH}_4$ . Metales pesados como Cu y Zn, fueron reducidos a concentración no detectable (CND), además de la reducción considerable de *Escherichia coli* y ausencia en *Salmonella*.

En México, Cano Hernández *et al.* (2016) caracterizaron lodos porcinos tratados anaeróbicamente, y de acuerdo a su análisis, determinaron que su utilización como fertilizante era indicada en suelos con baja salinidad o para cultivos resistentes a esta característica. Por otro lado, en Brasil, Leite Moretti *et al.* (2021), también realizaron la caracterización de lodos porcinos tratados por este mismo método, encontrando reducciones significativas sobre la demanda biológica de oxígeno (cerca del 90%), además de la reducción del 84% de la demanda química de oxígeno y más del 90% de sólidos volátiles. También se logró la ausencia de coliformes fecales (*Escherichia coli* y *Salmonella spp*) en el efluente tratado.

Kumari *et al.* (2015) en Corea del Sur, analizaron el efecto de las variaciones estacionales sobre efluentes porcinos con un tratamiento de almacenaje y se encontró que estas variaciones tenían una fuerte influencia sobre la comunidad bacteriana presente en los efluentes y su composición filogenética, pues son bastante sensibles a los cambios en el pH. El pH es la principal variable que regula procesos de neutralización y predice la abundancia relativa de la mayoría de estos microorganismos. De los cinco phylum más abundantes encontrados (firmicutes 58%, bacteroidetes 28.5%, protobacteria 13.1%, spirochaetes 5.8% y tenericutes 3.1%), solo la abundancia relativa de bacteroidetes varió significativamente entre temporadas siendo mayor durante el verano.

El Tratamiento de compostaje fue descrito por Santos *et al.* (2016) en España, utilizando desperdicio de algodón proveniente de una desmotadora descubriendo que a mayor proporción del agente de carga, las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O liberadas durante el proceso se reducen notoriamente al mismo tiempo que aumentan las pérdidas totales de N. Santos recomienda la previa separación líquido - sólido antes del manejo y advierte que una mayor proporción del agente de carga, requerirá una fase termofílica más larga y una mayor demanda de aireación. Una ventaja del uso del algodón como agente de carga es la necesidad de menor energía proveniente de la actividad microbiana para aumentar la temperatura.

Estado del fertilizante	Manejo	Tiempo	DQO	DQO sol	DBO	SV	ST	pH	% Humedad	MS	M. O.	M. O. S.	Temp °C	CE	COT	C/N	Referencia
Líquidos	Coagulación-Floculación-NDN	6 meses	0.9 g L <sup>-1</sup>	-	-	1.6 g L <sup>-1</sup>	4.5 g L <sup>-1</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	García González y Riaño, 2016 (Caso 1)
Mezclados	Digestión anaeróbica	2 meses	-	-	-	2.48%	3.87%	-	96.21%	23.86 g L <sup>-1</sup>	-	-	23.13	8.4±2.71 mS cm <sup>-1</sup>	-	-	Cano-Hernández y Bennet-Eaton, 2016
Mezclados	Almacenamiento	12 meses	61.14 g Kg <sup>-1</sup>	-	20.23 g Kg <sup>-1</sup>	-	-	-	-	61.06 g Kg <sup>-1</sup>	-	-	-	-	-	-	Kowalski <i>et al.</i> , 2013
Sólidos	Separación de fases y almacenamiento	10 meses	385.65 g L <sup>-1</sup>	58.50 g L <sup>-1</sup>	-	24.60%	28.80%	8	-	-	-	-	16.8	-	-	-	Létourneau <i>et al.</i> , 2010
Mezclados	Co-digestión anaeróbica con desechos industria alimentaria y pasteurización	3 meses	-	-	-	-	-	8.25	-	5.08%	-	61.18%	-	5.59 dS cm <sup>-1</sup>	35.6	3.35	Coelho <i>et al.</i> , 2018
Mezclados	Liquefacción y almacenamiento	12 meses	176 g L <sup>-1</sup>	26 g L <sup>-1</sup>	-	99.5 g L <sup>-1</sup>	131.5 g L <sup>-1</sup>	6.6	-	-	-	-	-	-	-	-	Barret <i>et al.</i> , 2012
Líquidos	Separación de fases, coagulación-floculación-NDN por 10 días (HRT)	5 meses	0.5 g L <sup>-1</sup>	0.4 g L <sup>-1</sup>	-	1.5 g L <sup>-1</sup>	4.7 g L <sup>-1</sup>	7.7	-	-	-	-	-	4.7 mS cm <sup>-1</sup>	-	-	Riaño y García González, 2013.
Mezclados	Almacenamiento	6 meses	-	-	3.18 g L <sup>-1</sup>	-	-	7.54	-	-	-	-	11.03	17.35 g L <sup>-1</sup>	2.32	-	Kumari <i>et al.</i> , 2015
Sólidos	Compostaje con desechos de algodón	6 meses	-	-	-	-	-	6.81	-	-	-	57.25%	-	10.38 dS m <sup>-1</sup>	297.5	8.98	Santos <i>et al.</i> , 2016.
Líquidos y sólidos	Digestión anaeróbica	8 meses	1.17 g L <sup>-1</sup>	-	0.4003 g L <sup>-1</sup>	0.47 g L <sup>-1</sup>	2.55 g L <sup>-1</sup>	7.8	-	-	-	-	-	16.4 mS cm <sup>-1</sup>	-	-	Moretti <i>et al.</i> , 2021
Mezclados	Almacenamiento	12 meses	-	-	-	66.12%	-	-	71.99%	-	-	-	-	-	37.74%	-	Shen <i>et al.</i> , 2015

Tabla 2. Características fisicoquímicas evaluadas en los efluentes tratados en los artículos analizados. DQO: M.O. Soluble e insoluble que puede ser degradada. DBO: Demanda biológica de oxígeno. SV: Sólidos volátiles. ST: Sólidos totales. CE: Conductividad eléctrica. M.O.: Materia orgánica. COT: Carbono orgánico total. MS: Materia seca (Fuente: elaboración propia).

Analizando las características fisicoquímicas (tabla 2), se puede observar que a mayor tiempo de tratamiento, independientemente de los diferentes tipos de tratamiento que fueron aplicados, el pH tiende a estabilizarse, así como la CE disminuye,

debido al consumo de compuestos solubles del sustrato por los microorganismos (Cano-Hernández *et al.*, 2016). Cada tratamiento tiene diferente tiempo de retención hidráulica, por lo que las fases por las que atraviesa, tienen diferente duración. Normalmente, incrementa la actividad microbiana conforme la temperatura aumenta (fase termofílica), por lo que aumentarían también los valores de la DQO, causado por el consumo de oxígeno consumido durante el proceso de degradación de materia orgánica. La concentración baja de ST significa mayor contenido de agua, lo que es un parámetro relevante dentro de la digestión anaeróbica, debido al mayor crecimiento de bacterias y mejor disolución al facilitar el transporte de nutrientes (Sadaka y Engler, 2003). La relación C/N fue mayor en el tratamiento de compostaje con desechos de algodón (Santos *et al.*, 2016) pues se incrementa la fuente de C, acelerando el tratamiento, alcanzando una mayor temperatura en menos tiempo.

Estado del fertilizante	Manejo	Tiempo	TKN	N org	NH <sub>4</sub> +N	NO <sub>3</sub> -N	N-NH <sub>3</sub>	N bacterial	PT	PS	K	Referencia
Líquidos	Coagulación-Floculación-NDN	6 meses	0.2 g L <sup>-1</sup>	-	0.2 g L <sup>-1</sup>	-	-	-	0.05 g L <sup>-1</sup>	-	-	García González y Riaño, 2016
Mezclados	Digestión anaeróbica	2 meses	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Cano-Hernández <i>et al.</i> , 2016
Mezclados	Almacenamiento	12 meses	5.66 g Kg <sup>-1</sup>	-	-	-	-	-	1.16 g Kg <sup>-1</sup>	-	1.97 g Kg <sup>-1</sup>	Kowalski <i>et al.</i> , 2013
Sólidos	Separación de fases y almacenamiento	10 meses	15.76 g L <sup>-1</sup>	-	-	-	5.73 g L <sup>-1</sup>	10.03 g L <sup>-1</sup>	-	-	-	Létourneau <i>et al.</i> , 2010
Mezclados	Co-digestión anaeróbica con desechos industria alimentaria y pasteurización	3 meses	10.62%	-	-	-	-	-	-	-	-	Coelho <i>et al.</i> , 2018
Mezclados	Liquefacción y almacenamiento	12 meses	-	1.8 g L <sup>-1</sup>	-	-	3.25 g L <sup>-1</sup>	-	3.05 g L <sup>-1</sup>	-	1.95 g L <sup>-1</sup>	Barret <i>et al.</i> , 2012
Líquidos	Separación de fases, coagulación-floculación-NDN por 10 días (HRT)	5 meses	.044 g L <sup>-1</sup>	-	.020 g L <sup>-1</sup>	-	-	-	.039 g L <sup>-1</sup>	.038 g L <sup>-1</sup>	-	Riaño y García González, 2013.
Mezclados	Almacenamiento	6 meses	7.52 g L <sup>-1</sup>	-	-	-	-	-	1.74 g L <sup>-1</sup>	-	-	Kumari <i>et al.</i> , 2015
Sólidos	Compostaje con desechos de algodón	6 meses	33.25 g Kg <sup>-1</sup>	-	0.57 g Kg <sup>-1</sup>	7.34 g Kg <sup>-1</sup>	-	-	13 g Kg <sup>-1</sup>	-	22 g Kg <sup>-1</sup>	Santos <i>et al.</i> , 2016.
Líquidos y sólidos	Digestión anaeróbica	8 meses	1.93 g L <sup>-1</sup>	-	1.59 g L <sup>-1</sup>	0.0017 g L <sup>-1</sup>	-	-	0.049 g L <sup>-1</sup>	-	1.09 g L <sup>-1</sup>	Moretti <i>et al.</i> , 2021
Mezclados	Almacenamiento	12 meses	2.79%	-	-	-	-	-	19.86 g Kg <sup>-1</sup>	-	-	Shen <i>et al.</i> , 2015

Tabla 3. Macronutrientes evaluados en los efluentes tratados en los artículos analizados. PT: Fósforo total. PS: Fósforo soluble. NH<sub>4</sub>+N: Nitrógeno de amonio. (Degradación de proteínas durante proceso anaeróbico). N-NH<sub>3</sub>: Nitrógeno amoniacal (Fuente: elaboración propia).

De acuerdo con Cano-Hernández *et al.* (2016) la producción de NH<sub>4</sub>-N se debe a la degradación de proteínas durante el proceso anaeróbico y su concentración fue mayor que cualquier otro elemento evaluado, sin embargo, estos datos no fueron registrados en esta tabla (Tabla 3) pues en el artículo no se mencionan. Coelho *et al.* (2018) encontraron que el contenido de materia seca estaba correlacionado con el radio C/N, indicando que los digestados anaeróbicos con menor contenido de materia seca tienden a tener valores más altos de N totales; además de encontrar que la concentración total de N en los digestados líquidos, estaban también relacionados con altos coeficientes de K y pH, esto probablemente debido a que durante la digestión anaeróbica de desechos orgánicos, el pH se incrementa por la producción de amoníaco (Coelho *et al.*, 2018).

Las variaciones que a veces se pueden obtener en diferentes digestados, pueden conducir a diferentes requerimientos de suplementación para satisfacer las necesidades específicas de diferentes tipos de cultivos agrícolas, por lo que dentro de las granjas se debe tener en mente esta variabilidad y realizar los debidos análisis de los micro y macronutrientes (N, P y K) previo a su aplicación, pues dependiendo de su trayectoria, algunos pueden tener más de alguno y menos de otro, o viceversa.

Estado del fertilizante	Manejo	Tiempo	Ca	Mg	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	Pb	Cr	Cd	Referencia
Líquidos	Coagulación-Floculación-NDN	6 meses	-	-	-	-	-	<1.0 mg L <sup>-1</sup>	<1.0 mg L <sup>-1</sup>	-	-	-	García González y Riaño, 2016 (Caso 1) Cano-Hernández <i>et al.</i> , 2016
Mezclados	Digestión anaeróbica	2 meses	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Cano-Hernández <i>et al.</i> , 2016
Mezclados	Almacenamiento	12 meses	1.94 g Kg <sup>-1</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Kowalski <i>et al.</i> , 2013
Sólidos	Separación de fases y almacenamiento	10 meses	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Létourneau <i>et al.</i> , 2010
Mezclados	Co-digestión anaeróbica con desechos industria alimentaria y pasteurización	3 meses	-	-	-	-	-	60.93 (mg kg <sup>-1</sup> DW)	359.9 (mg kg <sup>-1</sup> DW)	1.37 (mg kg <sup>-1</sup> DW)	11.80 (mg kg <sup>-1</sup> DW)	<0.00002 (mg kg <sup>-1</sup> DW)	Coelho <i>et al.</i> , 2018
Mezclados	Liquefacción y almacenamiento	12 meses	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Barret <i>et al.</i> , 2012
Líquidos	Separación de fases, coagulación-floculación-NDN por 10 días (HRT)	5 meses	-	-	-	-	-	<1.0 (mg L <sup>-1</sup> )	<1.0 (mg L <sup>-1</sup> )	-	-	-	Riaño y García González, 2013.
Mezclados	Almacenamiento	6 meses	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Kumari <i>et al.</i> , 2015
Sólidos	Compostaje con desechos de algodón	6 meses	48.5 g Kg <sup>-1</sup>	8.4 g Kg <sup>-1</sup>	2.03 g Kg <sup>-1</sup>	2.4 g Kg <sup>-1</sup>	0.33 g Kg <sup>-1</sup>	0.3 g Kg <sup>-1</sup>	0.83 g Kg <sup>-1</sup>	0.009 g/Kg	.025 g Kg <sup>-1</sup>	0.00027 g Kg <sup>-1</sup>	Santos <i>et al.</i> , 2016.
Líquidos y sólidos	Digestión anaeróbica	8 meses	0.0035 g L <sup>-1</sup>	0.033 g L <sup>-1</sup>	0.238 g L <sup>-1</sup>	0.0022 g L <sup>-1</sup>	0.1 mg L <sup>-1</sup>	0.2 mg L <sup>-1</sup>	0.0012 g L <sup>-1</sup>	-	-	-	Moretti <i>et al.</i> , 2021
Mezclados	Almacenamiento	12 meses	18.44 g Kg <sup>-1</sup>	12.08 g Kg <sup>-1</sup>	2.56 g Kg <sup>-1</sup>	3.61 g Kg <sup>-1</sup>	-	0.65794 g Kg <sup>-1</sup>	1.39 g Kg <sup>-1</sup>	-	-	-	Shen <i>et al.</i> , 2015

Tabla 4. Micronutrientes evaluados en los efluentes tratados en los artículos analizados (Fuente: elaboración propia).

Los elementos tóxicos (tabla 4) como Mn, Cu, Zn, Pb, Cr y Cd estuvieron en general por debajo de los límites recomendados (Coelho *et al.*, 2018), lo cual depende de la composición química y la disponibilidad de estos elementos en el digestado; estos valores son sólo un indicador del potencial de toxicidad, pues también depende de otros factores e interacción entre el digestado, el sustrato y las plantas, lo que puede influenciar el nivel de biodisponibilidad, y por lo tanto, la toxicidad. Según Zhu y Guo (2014), sólo cuando los metales pesados están en su forma iónica, pueden migrar y acumularse en plantas y otros seres vivos, por lo que los metales pesados en la fracción soluble del agua de los digestatos anaeróbicos merecen especial atención por la toxicidad directa al ambiente. Los contenidos de Ca y Mg fueron muy variables, debido probablemente a diferencias en la dietas y no específicamente a los diferentes procesos.

Estado del fertilizante	Manejo	Tiempo	<i>Salmonella</i> spp	<i>Escherichia coli</i>	Referencias
Líquidos	Coagulación-Floculación-NDN	6 meses	0	$1.2 \times 10^3$ CFU mL <sup>-1</sup>	García González y Riaño, 2016 (Caso 1)
Mezclados	Almacenamiento	12 meses	Presente en 3 muestras de 35 (primavera y verano)	Presente en 1 muestra de 35 en verano	Kowalski, <i>et al.</i> , 2013
Mezclados	Co-digestión anaeróbica con desechos industria alimentaria y pasteurización	3 meses	<10 (N.D.) (MPN CFU 10 g <sup>-1</sup> FW)	8 (MPN CFU 10 g <sup>-1</sup> FW)	Coelho <i>et al.</i> , 2018
Líquidos	Separación de fases, coagulación-floculación-NDN por 10 días (HRT)	5 meses	2.5 (CFU mL <sup>-1</sup> )	$1.7 \times 10^1$ (CFU mL <sup>-1</sup> )	Riaño y García González, 2013.
Líquidos y sólidos	Digestión anaeróbica	8 meses	ausentes	ausentes	Moretti <i>et al.</i> , 2021

Tabla 5. Microorganismos patógenos evaluados en los efluentes tratados en los artículos analizados (Fuente: elaboración propia).

Para el análisis de microorganismos (tabla 5), fue evidente que entre más tiempo llevaba el tratamiento, disminuyó la concentración de patógenos (García González *et al.*, 2016; Kowalski *et al.*, 2013; Coelho *et al.*, 2018; Riaño y García González, 2013) hasta encontrarse ausentes (Leite Moretti *et al.*, 2021) para *Salmonella* spp. y *Escherichia coli*. *Salmonella* es uno de los patógenos más comunes y de fácil dispersión al ambiente a

través de los efluentes animales y lodos residuales. Algunas cepas de *Salmonella* spp. así como también de *E. coli*, nocivas para el humano, se originan en animales producidos para consumo humano como el ganado bovino, porcino y avícola; su inactivación es lograda satisfactoriamente por la planta de digestión anaeróbica y las condiciones termofílicas combinadas con un mayor tiempo de retención hidráulica y otros tratamientos adicionales, como la pre o post pasteurización. La concentración de *E. Coli* también varió, y al igual que *Salmonella* spp., estuvo ausente en el tratamiento con digestión anaeróbica que tuvo la mayor duración. Pandley y Soupir (2011) demostraron que la digestión anaeróbica afectaba a *E. coli* de diferentes maneras de acuerdo al nivel de temperatura, con las temperaturas más altas requiriendo menor tiempo para la inactivación de estos patógenos. En la publicación de Kowalski *et al.* (2013) en donde se muestreó el efluente a lo largo de un año, encontramos presencia de microorganismos en las muestras tomadas durante las estaciones de verano y primavera, pudiendo tener relación con las altas temperaturas ambientales, causado por el incremento de la actividad microbiana.

#### **Cultivos de interés agropecuario analizados**

Para aprovechar los valiosos nutrientes provenientes de las excretas en la ganadería, se han estudiado desde hace varios años ya los efectos en la producción de cultivos destinados a forraje u hortalizas (Zhang *et al.*, 2015). En los trabajos analizados en esta evaluación tipo “estado del arte”, se han planteado diferentes dosis de excreta inyectadas al suelo a una profundidad aproximada de 10 cm o aplicadas de forma superficial a diferentes cultivos principalmente para fines de forraje y producción orgánica.

Estado del fertilizante orgánico	Tipo de tratamiento	Tiempo de estudio	Referencia
L	Almacenamiento convencional	15 meses	Buckley <i>et al.</i> , 2011
L	Almacenamiento convencional	23 meses	Bork y Blonski, 2012
L	Almacenamiento convencional	36 meses	Nikiéma <i>et al.</i> , 2013
S	Almacenamiento convencional	6 meses	Moreno y Cadillo, 2018
L	Almacenamiento convencional y adición de un inhibidor de nitrificación	30 meses	Basso <i>et al.</i> , 2020
L	Digestión aneróbica	120 meses	Menezes y da Silva, 2017
L	Digestión anaerobica	5 meses	Zhang <i>et al.</i> , 2015
M	Digestión anaeróbica, aeróbica, compostaje, tratamiento químico	36 meses	Gagnon <i>et al.</i> , 2012
L	Almacenamiento convencional	180 meses	Scheid <i>et al.</i> , 2019

L	Almacenamiento convencional	12 meses	Costa <i>et al.</i> , 2014
L	Separación mecánica de líquidos y sólidos	4 meses	Schoebit y Vidal, 2016

Tabla 6. Tipos de tratamiento en fertilizantes a base de estiércol analizado dentro de la línea de investigación referente a “Monocotiledóneas”. L: líquidos, S: sólidos, M: mezclados (Fuente: elaboración propia).

Dentro del grupo de artículos investigados enfocados a estudios en monocotiledóneas, (Tabla 6) se estudiaron especies de la familia de las gramíneas como la cebada (*Hordeum vulgare* L.), pastos de festuca (*Festuca hallii* (Vasey) Piper), (*Hesperostipa curtiseta* (Hitchc.) Barkworth), (*Bouteloua gracilis* Vasey), zacate de cresta (*Koeleria macrantha* (Ledeb.) Schult), (*Brachiaria brizantha* (A. Rich.) Stapf), (*Lolium perenne* L.), algunas especies de juncos (*Carex* spp.), (*Cynodon* spp), trigo occidental (*Elymus smithii* (Rydb.) Gould), avena (*Avenula hookeri* (Scribn.) Holub), trigo rojo de primavera (*Triticum aestivum* L.), maíz (*Zea mays* L.), cebollín (*Allium schoenoprasum* L.) y arroz (*Oryza sativa* L.). De los once artículos analizados, la mayoría de estos tratamientos se aplican a cultivos destinados al forraje y sólo cuatro de éstos ponían énfasis en la producción de grano. Todos los artículos incluidos en esta línea de investigación abarcan efluentes residuales de origen exclusivamente porcino. Durante esta investigación se pudo identificar que una fertilización con lodos por encima de los límites permisibles podría tener un efecto negativo en la calidad del llenado de granos (Buckley *et al.*, 2011), pudiendo contrarrestar estos efectos utilizando los lodos siguiendo indicaciones específicas y tomando en cuenta los cultivares adecuados para cada ambiente. El uso de estos efluentes que como tratamiento fueron almacenados alrededor de quince meses, resultó en respuestas positivas significativas sobre el rendimiento del grano, biomasa de materia seca y densidad de espiga.

Bork y Blonski (2012), por otra parte, encontraron que la diversidad en algunas praderas mixtas de Canadá disminuyó conforme se aumentaba la tasa de aplicación de estos efluentes con un tratamiento de almacenamiento por más de un año, aunque los efectos temporales desaparecieron al segundo año de aplicación y no se observó invasión de plantas no nativas; lo que sugiere cierta tolerancia del ambiente a la aplicación de este tipo de fertilizantes; aunque se propone la búsqueda de estudios más puntuales sobre el efecto en otras especies y la calidad del efecto en el agua a largo plazo. En otro estudio, Nikiéma *et al.* (2013), recalcan la importancia de conocer las necesidades específicas y capacidad de absorción de nutrientes de cada cultivo, además del adecuado abastecimiento de agua para poder sustentar un crecimiento óptimo y disminuir el grado de lixiviación.

Dentro del tema de las formas de aplicación del fertilizante, Basso *et al.* (2020), recalcan la importancia de la incorporación al suelo mediante la inyección, reduciendo hasta 90% la volatilización del nitrógeno incrementando el nitrógeno mineral e igualando los resultados de rendimiento de grano en comparación con la fertilización mineral. Si la inyección de lodos al suelo se realiza usando también un inhibidor de nitrificación llamado diciandamida (DCD) se puede reducir la lixiviación de nitratos ( $\text{NO}_3$ ) hasta 77% y 80% en la reducción de emisión de óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). De igual forma, Costa *et al.* (2014) concluyeron que la inyección a una profundidad de 10 centímetros resultaba en menores pérdidas de nitrógeno a través de la volatilización de amoníaco, transfiriéndose éstos nutrientes de forma exitosa al valor nutricional del cultivo. Aunque la respuesta de cada cultivo puede ser afectada por condiciones ambientales y propiedades del suelo específicas.

Otro estudio realizado en Brasil por Scheid *et al.*, (2019) durando aproximadamente 15 años, reveló que la aplicación sucesiva de los lodos (inyección de 0 a 10 centímetros) en pastos nativos aumentó el carbono orgánico del suelo, además de N, P, Ca, Mg, Cu y Zn disponible para las plantas además de inducir mejoras en la calidad estructural del

suelo a lo largo del tiempo. Debido a esto, se puede concluir, con respecto a la información recabada que el uso de este tipo de efluentes como fertilizante orgánico es una tecnología emergente que debe ser analizada antes de ser llevada a la práctica, pues de hacerse de la forma correcta, resulta beneficioso para todos en general.

Dentro del grupo de artículos investigados enfocados a estudios en dicotiledóneas (Tabla 7), se estudiaron las especies de casis o grosellero negro (*Ribes nigrum* L.), eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill), albahaca (*Ocimum basilicum* L.), eneldo (*Anethum graveolens* L.), soja (*Glycine max* (L.)Merr) y chile habanero (*Capsicum chinense* Jaqu). De los cinco artículos analizados, tres analizaron el uso de las aplicaciones en especies destinadas a producción orgánica experimental, uno en aplicaciones de interés forestal y uno para fines de forraje (soja). Todos los artículos incluidos en esta línea de investigación también abarcan efluentes residuales de origen exclusivamente porcino. Dos de los cinco fertilizantes analizados se encontraban en estado sólido, mientras que los otros tres eran líquidos. A ambas fracciones se les aplicó tratamiento de almacenamiento convencional y digestión anaeróbica. A uno de los fertilizantes en fracción líquida se le aplicó tratamiento de tipo compostaje. El tratamiento de almacenamiento tuvo tiempos de estudio más largos en comparación con los tratamientos de digestión anaeróbica o compostaje.

Estado del fertilizante orgánico	Tipo de tratamiento	Tiempo de estudio	Referencia
S	Almacenamiento convencional	46 meses	Wójcik y Filipczak, 2015

S	Digestión anaeróbica	4 meses	de Sá Vanin <i>et al.</i> , 2017
L	Compostaje	2 meses	Herrig <i>et al.</i> , 2018
L	Almacenamiento Convencional	180 meses	Antoneli <i>et al.</i> , 2019
L	Digestión anaeróbica	4 meses	Pérez <i>et al.</i> , 2015

Tabla 7. Tipos de tratamiento de fertilizantes a base de estiércol analizado dentro de la línea de investigación referente a “Dicotiledóneas”. L: líquidos, S: sólidos, M: mezclados.

De acuerdo con Wójcik y Filipczak (2015), hubo un beneficio con la aplicación de lodos tratados comparable a la fertilización mineral, evidenciado con un rendimiento alto y estable capaz de mantenerse a lo largo del ciclo de producción del grosellero negro (*Ribes nigrum* L.). La tasa de aplicación de lodos empleada fue de 170 kg N ha<sup>-1</sup> (pre siembra).

Por otro lado, habiendo tratado estos efluentes mediante digestión anaeróbica, de Sá Vanin *et al.* (2017) notaron la altura de brotes, diámetro de tallo, masa seca y fresca de brotes de eucalipto (*Eucalyptus globulus* Labill) con valores más altos que el tratamiento control y también equiparable a los beneficios que ofrece la fertilización mineral.

En Estados Unidos, para la albahaca (*Ocimum basilicum* L.) y eneldo (*Anethum graveolens* L.), Herrig *et al.* (2018) aplicaron el tratamiento de compostaje con cáscaras de cacahuate a efluentes líquidos de cerdo por aproximadamente dos meses, lo cual redujo los niveles de Zn y Cu, potencialmente peligroso en el ser humano por daños por bioacumulación en el cuerpo, causando desde alteraciones neurológicas, alteraciones del crecimiento en el sistema músculo-esquelético en niños, problemas en el corazón hasta cáncer. Estos metales tienen su origen en los suplementos alimenticios consumidos por los cerdos durante su engorda para promover el crecimiento (Badillo, 2016). También se vio afectado positivamente el valor del peso seco de las cosechas en comparación con el control del experimento, además de las concentraciones de fósforo en el sustrato, por lo que concluyeron que el uso del fertilizante composteado sustituye por completo a la aplicación de cualquier otro tipo de fertilizante.

Para Latinoamérica, en 2019, en Brasil, Antoneli *et al.*, (2019) y colaboradores analizaron las propiedades del suelo y rendimiento de un cultivo de soja (*Glycine max* (L.) Merr) a lo largo de 15 años de la aplicación de efluentes porcinos con un tratamiento de almacenaje a una tasa de aplicación de 107 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, obteniendo como resultado efectos positivos sobre el contenido de materia orgánica en el suelo y obteniendo una producción anual de 2.45 a 3.08 Mg ha<sup>-1</sup>. Por otro lado, en México, Pérez-Gutiérrez *et al.* (2015) probaron el efecto de los efluentes líquidos porcinos tratados anaeróbicamente sobre la producción de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq) pudiendo observar nuevamente que la aplicación en exceso de estos fertilizantes causa efectos negativos en las plantas, como disminución del crecimiento y rendimiento pero al aplicar cantidades adecuadas de acuerdo a los requerimientos de la planta se pueden igualar los resultados obtenidos con la fertilización química.

Para los artículos analizados enfocados al análisis en suelos (tabla 8), se estudiaron las especies de avena (*Avena sativa*), maíz (*Zea mays* L.), pastos (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.), arroz (*Oryza sativa* L.), trigo (*Triticum aestivum* L.), frijol (*Phaseolus*

*vulgaris* L.), ryegrass (*Lolium x hybridum* Hausskn), soja (*Glycine max* (L.)Merr) y especies nativas de un bosque semideciduo en Brasil. La mayoría de estos ocho artículos en total, se utilizaron en cultivos destinados a forraje, dos de ellos ponían énfasis en la producción de grano y uno exploraba opciones de remediación forestal. Todos los artículos incluidos en esta línea de investigación también abarcan efluentes residuales de origen exclusivamente porcino. El estado de la mayoría de lodos utilizados en esta línea de investigación fue mezclado, tres de los artículos analizados ocuparon efluentes líquidos y uno ocupó tanto la parte sólida como líquida probando el compostaje. Los análisis más largos, de nuevo ocuparon el tratamiento de almacenamiento convencional, con 120 meses de estudio cada uno. Otro de los artículos aplicó tratamiento de almacenamiento convencional y digestión anaeróbica por 96 meses, y de ahí el tratamiento de compostaje se ocupó en dos análisis por 48 y 1 mes. El tratamiento más utilizado en esta línea fue el almacenamiento convencional

Estado del fertilizante orgánico	Tipo de tratamiento	Tiempo de estudio	Referencia
L,M	Almacenamiento Convencional	120 meses	Mergen Junior <i>et al.</i> , 2019
L	Digestión anaeróbica, sedimentación, tratamiento químico y posterior almacenamiento.	12 meses	Palczewski <i>et al.</i> , 2017
M	Almacenamiento Convencional	3 meses	Corá Segat <i>et al.</i> , 2015

M	Almacenamiento Convencional	1 mes	Da Silva Oliveira, <i>et al.</i> , 2016
M	Digestión anaeróbica y almacenamiento convencional	96 meses	De Moura, <i>et al.</i> , 2016
M	Almacenamiento Convencional	120 meses	Schlegel <i>et al.</i> , 2017
M	Compostaje	1 mes	Li, F. <i>et al.</i> , (2018)
S,L	Compostaje	48 meses	Qian, X. <i>et al.</i> , 2018

Tabla 8. Tipos de tratamiento de fertilizantes a base de estiércol analizado dentro de la línea de investigación referente a “Suelo”. L: líquidos, S: sólidos, M: mezclados.

Cinco de los ocho artículos estudiados fueron desarrollados en Brasil, dos en China y uno en Estados Unidos. Mergen Junior *et al.*, 2019 describen cómo la adición de lodos tratados mediante un proceso de almacenamiento, favorece la formación de agregados biogénicos en el suelo, además de aumentar la materia seca en el cultivo objetivo, en este caso, avena negra. Los agregados biogénicos tienen formas redondeadas y se relacionan con vías de formación biológicas, con mayores niveles de nutrientes protegiendo así la materia orgánica presente en el suelo. Palczewski *et al.* (2017) también analizaron la respuesta en el suelo después de haber aplicado este tipo de fertilizante resultante de un tratamiento de digestión anaeróbica a cultivos de avena negra y maíz, encontrando que a mayor tasa de aplicación de estos efluentes, la porosidad total del suelo se veía reducida, lo que debe ser tomado en cuenta para evitar la obstrucción del flujo del agua. La tasa de aplicación de hasta 200 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup> fue considerada excesiva, provocando una deficiencia en la aireación del cultivo de maíz.

Corá Segat *et al.* (2015) analizaron la respuesta en la lombriz roja común *Eisenia andrei* después de la aplicación de fertilizantes derivados de efluentes porcinos almacenados durante ciento veinte días, encontrando letalidad en uno de los cinco tipos de suelos tropicales utilizados (Entisol) y observando alteraciones en el comportamiento y reproducción de las lombrices. El entisol es un suelo muy arenoso, con baja capacidad de intercambio catiónico, lo que podría resultar en mayores niveles de toxicidad en el suelo. Cuando los suelos contienen menor proporción de arcilla y materia orgánica, los metales se vuelven más disponibles en el suelo, y las lombrices rojas son organismos sensibles a estos elementos, por lo que a veces se ocupan como bioindicadores.

De Moura *et al.*, en 2016 analizaron los cambios en la comunidad microbiana el suelo luego de ocho años de aplicación continua de fertilizantes resultantes del tratamiento de efluentes porcinos mediante digestión anaeróbica, la dosis ideal mencionada fue de 100 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, aumentando los valores de respiración basal y radio metabólico (dinámica de respiración de los microorganismos). Las dosis mayores (200 y 300 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) influyeron significativamente y beneficiaron a ciertos grupos bacterianos, permitiendo su estabilidad metabólica. Schlegel *et al.*, (2017) por otro lado, en Estados Unidos analizaron los cambios en el suelo después de la aplicación de estos fertilizantes durante diez años, con la diferencia del tipo de Tratamiento, pues éste se trató de un almacenamiento convencional, descubriendo que la concentraciones de K, Cl, Fe, Zn y Cu en el suelo aumentan significativamente, creando depósitos de nutrientes que pueden afectar la calidad del suelo.

Li, F. *et al.*, (2018) al igual que Qian, X., *et al.* (2018), ambas publicaciones de China, se enfocaron en el análisis de la acumulación de metales pesados después de la aplicación de fertilizantes provenientes del compostaje de efluentes porcinos. Este riesgo deriva de las altas cantidades encontradas en los suplementos y aditivos proporcionados a los animales para potenciar el crecimiento y combatir algunas enfermedades. Qian X., *et al.* (2018) monitorearon durante cuatro años un experimento al que se le aplicó una tasa

annual de 250 t ha<sup>-1</sup>, observando una tendencia de incremento en elementos como As, Hg, Cr, Cu, Zn y Mn, por lo que sugerían la correcta determinación de una tasa de aplicación adecuada. Li, F., *et al.* (2018) experimentaron con el uso de la lombriz *Eisenia fetida*, argumentando que por sí sola, el uso de lombrices no contribuía a la remediación de suelos contaminados con metales pesados pero junto con la aplicación del fertilizante al 6%, funcionaba como un enfoque alternativo para el tratamiento de suelos.

## VIII. Conclusiones

Uno de los principales retos que enfrenta la industria alimentaria, en este caso, la porcina, es la generación de enormes cantidades de estiércol; a pesar de sus grandes beneficios por su contenido de nutrientes, si no son tratados adecuadamente, pueden llegar a contaminar grandes extensiones de suelo y cuerpos de agua por lixiviación. Actualmente, la alternativa preferida, es la aplicación de estos efluentes como fertilizantes orgánicos en suelos agrícolas (Corá Segat *et al.*, 2015), por lo que existe la responsabilidad de optimizar estas prácticas para poder integrar el esquema de la economía circular en nuestros sistemas de producción y consumo, reduciendo así el impacto negativo en el ambiente.

Existen múltiples tecnologías con diferentes niveles de complejidad para el tratamiento de este tipo de efluentes, resultando estrategias viables y rentables para reducir este impacto y para elegirlo, se deben tomar en cuenta características particulares de cada situación. El desarrollo de políticas que procuran el bienestar del ambiente basándose en prácticas autosustentables adecuadas, contribuyendo a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero junto con los altos costos de las energías primarias son las bases para reforzar la necesidad de un nuevo escenario energético que gire en torno a un modelo económico circular. Uno de los procesos con mejores resultados dentro de este tema fue el tratamiento de efluentes porcinos (y ganaderos, en general) con digestión anaeróbica, obteniendo una homogenización adecuada,

reducción o eliminación de ácidos grasos totales y volátiles y otros compuestos de fácil degradado, reducción de materia orgánica, pero al mismo tiempo manteniendo las concentraciones de nutrientes y generando una fuente de energía renovable (biogás) extra (Pinasco *et al.*, 2014). El análisis del suelo previo a la aplicación del fertilizante ya tratado y el análisis del mismo fertilizante son instrumentos básicos para fijar la dosis a aplicar, además del conocimiento de las necesidades del cultivo de interés.

La digestión anaeróbica ha sido reconocida como una excelente opción para reciclar y recuperar nutrientes esenciales de una amplia variedad de desechos orgánicos, y estos nutrientes, en especial los macronutrientes (N, P y K), pueden ayudar a reducir costos de insumos en el mercado de la agricultura mediante la disminución en el uso de fertilizantes de síntesis química, llegando a producir digestados de buena calidad y con nutrientes necesarios de igual forma ofrecidos por los fertilizantes minerales (Coelho *et al.*, 2018). Uno de los principales retos de la digestión anaeróbica es la producción de tasas de fertilización estándar para diferentes tipos de cultivos, lo que depende de la investigación que apunta a respuestas de crecimiento de los cultivos a diferentes tipos de digestados. Sin embargo, a pesar del tipo de tratamiento que pueda ser aplicado, lo que garantiza el buen resultado y calidad de los fertilizantes obtenidos es realizar cada proceso en específico de forma correcta, poniendo especial atención en cada paso de la cadena del estiércol, desde que se recolecta, pasando por su tratamiento, almacenamiento, distribución y posterior aplicación, por lo que es de gran importancia informar y actualizar a las personas encargadas directamente del cumplimiento del tratamiento de los efluentes.

## **XI. Referencias**

Aguado , J. M. (2011) Sociedad de masas y cultura de masas. Fundamentos de la Comunicación y la Información II. Bloque I. Cultura de masas y cultura mediática.

11/10/21 4:54 PM

Con formato: Fuente: Source Sans Pro

Universidad de Murcia, España. Pp 37. Visto en línea en octubre de 2021 en <https://www.um.es/tic/Txtguia/TCtema10.pdf>

Asociación Colombiana de Porcicultores (2002). Guía Ambiental para el Subsector Porcícola. Dirección General Ambiental Sectorial. Colombia.

ARC. Agencia de Residuos de Cataluña. (2004) Guía de los tratamientos de las deyecciones ganadera. Ficha cinco. Visto en línea en <http://www.arc-cat.net/es/altres/purins/guia/pdf/ficha5.pdf> en mayo 2021.

Amo Florez, José. (2018) El Mercado de la carne de cerdo en México. Estudios de Mercado. Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en México. ICEX España Exportación e Inversiones, E.P.E., M.P.

Antoneli, V., Mosele, A. C., Anésio Bednarz, J., Pulido-Fernández, M., Lozano-Parra, J., Keesstra, S. D., Rodrigo-Comino, J. (2019) Effects of applying liquid swine manure on soil quality and yield production in tropical soybean crops (Paraná, Brazil). *Journal Sustainability* 11, 3898. Pp 1-11. doi:10.3390/su11143898

Aldana Tique, A., Pérez Rojas, R. (2017) Propuesta para el tratamiento y aprovechamiento de lodos en una PTAP convencional. Caso de estudio: planta de tratamiento de agua potable de El Espinal-Tolima. Facultad de Ingeniería en Ciencia Unisalle. Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Bogotá, Colombia.

Alexa Top Sites (2021) The top 500 sites on the web. Visto en línea en <https://www.elsevier.com/es-mx/about> en junio de 2021

Alós, J. I. Resistencia bacteriana a los antibióticos: una crisis global. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*. Elsevier. Vol. 33. Núm 10. Pp 692-699. Doi: 10.1016/j.eimc.2014.10.004

Badillo Thiago. (2016) Utilización de fuentes orgánicas y fuentes inorgánicas de cobre en lechones como promotor de crecimiento. Novus Nutrition SA de CV. Visto en línea en julio de 2021 en <https://www.porcicultura.com/micrositio/Novus-Nutrition-S.A-de-C.V./Utilizaci%C3%B3n-de-fuentes-org%C3%A1nicas-y-fuentes-inorg%C3%A1nicas-de-Cobre-en-lechones-como-promotor-de-crecimiento>

Bai Zhaohai, Ma Lin, Jin Shuquin, Ma Wenqi, Velthof Gerard L., Oenema Oene, Liu Ling, Chadwick David, Zhang Fusuo. (2016) Nitrogen, phosphorus and potassium flows through the manure management chain in China. *Environmental, Science & Technology*. ACS Publications. Pp 1-38. DOI: 10.1021/acs.est.6b03348

Barret M., Gagnon N., Topp E., Masse L., Massé D., Talbot G. (2013) Physico-chemical characteristics and methanogen communities in swine and dairy manure storage tanks: spatio-temporal variations and impact on methanogenic activity. *SciVerse Science Direct. Water Research* 47. Pp 737-746. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2012.10.047>

BBC NEWS (2015) OMS defiende clasificación del glifosato como posible cancerígeno. *Revista digital BBC. Sección Noticias*. Visto en línea en octubre de 2021 en [https://www.bbc.com/mundo/ultimas\\_noticias/2015/03/150327\\_ultnot\\_glifosato\\_cancerigeno\\_monsanto\\_oms\\_polemica\\_aw](https://www.bbc.com/mundo/ultimas_noticias/2015/03/150327_ultnot_glifosato_cancerigeno_monsanto_oms_polemica_aw)

Basso, C. J, Bison Pinto, M. A., Gonzatto, R., Barbosa Pujol, S., Marcolan de Souza, F. (2020) Management of liquid swine manure: impact on mineral nitrogen dynamics and corn yield. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, vol 50. e-ISSN 1983-4063. PP 1-10. DOI: 10.1590/1983-40632020v5064790

Benítez de Rojas, Cardozo A., Hernández L., Lapp M., Rodríguez H., Ruiz T., Torrecilla P. (2006) *Botánica Sistemática. Fundamentos para su estudio*. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela.

Bork, E. W., Blonski, L. J. (2012) Short-term native grassland compositional responses following liquid hog manure application. *Canadian Journal of Plant Science*, 92. Pp 55-65. doi:10.4141/CJPS2011-105

Buckley, K. E., Therrien, M. C., Mohr, R. M. (2011) Agronomic performance of barley cultivars in response to varying rates of swine slurry. *Canadian Journal of Plant Science*, 91. Pp 69-79. doi:10.4141/CJPS09032

Bybee, R.W. (1991) Planet Earth in crisis: how should science educators respond? *The American Biology Teacher*, 53 (3), pág: 146-153.

Cabrera Bermúdez, X., Fleites Ramírez, M., Contrearras Moya, A. M. (2009) Estudio del proceso de coagulación-floculación de aguas residuales de la empresa textil "Desembarco del granma" a escala de laboratorio. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba.

Cano-Hernández, M., Bennet Eaton, A., Silva-Guerrero, E., Robles-González, S., Sainos-Aguirre, U., Castorena-García, H. (2016) Caracterización de bioles de la fermentación anaeróbica de excretas bovinas y porcinas. *Agrociencia* 50, número 4. Pp 471-479

Cárdenas Guzmán, Guillermo. (2018) *Economía circular. Del objeto desechable a la producción sustentable*. Revista UNAM "¿Cómo ves?"

Centros para el control y la prevención de enfermedades. (2021) Departamento de Salud y Servicios Humanos. Gobierno de Estados Unidos. Visto en línea en junio 2020 en <https://www.cdc.gov/spanish/index.html>

Coelho, J.J., Prieto, M.L., Dowling, S., Hennessy, A., Casey, I., Woodcock, T., Kennedy, N. (2018) Physical-chemical traits, phytotoxicity and pathogen detection in liquid anaerobic digestates. *Waste management* 78. Elsevier. Pp 8-15.

Cole, T.C.H., Hilger, H. H., Stevens, P.F., Carvalho F.A. (2019). Filogenia de angiospermas. *Sistemática de plantas con flores. El grupo filogenético de las Angiospermas IV (APG IV, 2016)*. Botanical Journal of the Linnean Society.

Corá Segat, J., Lopes Alves, P. R., Barreta, D., Nogueira Cardoso, E. J. B. (2015) Ecotoxicological evaluation of swine manure disposal on tropical soils in Brazil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 122. Elsevier. Pp 91-97. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.07.017>

Costa, M., Shigaki, F., Alves, B., Kleinman, Pereira, M. (2014) Swine manure application methods effects on ammonia volatilization, forage quality, and yield in the Pre-Amazon region of Brazil. *Chilean Journal of Agricultural Research*, vol 73, núm. 3. doi: 10.4067/S0718-58392014000300009

Da Silva Oliveira, D. M., Paiva de Lima, R., Sampaio Carneiro Barreto, M., Jan Verburg, E. E., Ventura Mayrink, G. C. (2016) Soil organic matter and nutrient accumulation in areas under intensive management and swine manure application. *Journal of Soils and Sediments*. DOI 10.1007/s11368-016-1474-6

De Moura, A. C., Sampaio, S. C., Remor, M. B., Da Silva, A. P., Pereira, P. A. M. (2016) Long-term effects of swine wastewater and mineral fertilizer association on soil microbiota.

Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering. Engenharia Agricola. Jaboticabal, vol 36, núm 2. Pp 318-328. ISSN 1809-4430. Doi:<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n2p318-328/2016>

De Sá Vanin, L. G., Luiz Magalhães, J., Almeida Rodrigues, A., Scherrer Menezes, J. F., Simon, A. G., Selaysim Di Campos, M., Borges do Cuoto Magalhães, D. (2017). Swine biosolids in initial growth. Revista Espacios. ISSN 0798 1015. Vol. 38, número 41.

Delmas Marty, M. (2014). La utopia según la jurista. En Denis, J.P. y Nouchi, F. El atlas de las utopías. Valencia: Fundación Mondiplo: página 16.

Deutsche Welle (2018) Glifosato: no solo mata maleza, también a las abejas. Alemania. Documental visto en línea en 2020 en <https://p.dw.com/p/35UMA>

Dong, H., Mangino, J., McAllister, T. A., Hatfield, J. L., Johnson, D. E., Lassey, K. R., Aparecida de Lima, M., Romanovskaya, A. (2006) Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Capítulo 10: Emisiones resultantes de la gestión del Ganado y del estiércol. Vol 4

Drucker, A. G., Escalante Sermena, R., Gómez González, V., Magaña Rueda, S. (2004) La industria porcina en Yucatán: un análisis de la generación de aguas residuales. Problemas del desarrollo. Revista Latinoamericana de economía. Vol. 34, núm. 135. Programa Universitario de Estudios de la Diversidad Cultural Interculturalidad. PUIC, UNAM.

Elsevier (2021) Elsevier at a glance. Visto en línea en julio 2021 en [https://www.elsevier.com/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0010/1143001/Elsevier-corporate-brochure-2021.pdf](https://www.elsevier.com/__data/assets/pdf_file/0010/1143001/Elsevier-corporate-brochure-2021.pdf)

Garzón Zúñiga, Marco, Buelna Gerardo. (2014). Caracterización de aguas residuales porcinas y su tratamiento por diferentes procesos en México. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Revista Internacional de Contaminación Ambiental 30(1) 65-79.

Gutiérrez, E. (2012). Aparecen zonas anóxicas en la costa de Chile. Periódico digital La Opinión. Visto en línea en junio de 2017 en <https://www.jornada.com.mx/2012/11/07/opinion/a02n2cie>

FAO. (2015) Estado Mundial del Recurso Suelo. Resumen Técnico. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura y Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo, Roma, Italia. ISBN 978-92-5-308960-4.

FAO. (2017) Reflexiones sobre el sistema alimentario y perspectivas para alcanzar su sostenibilidad en América Latina y el Caribe. Visto en línea en julio 2021 en <https://www.fao.org/3/i7053s/i7053s.pdf>

FEGA, SF. Guía de campo para el control de la aplicación de lodos de depuradora de aguas residuales en el sector agrario. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Gobierno de España. Visto en línea en [https://www.fega.es/sites/default/files/imported/Pwfgcp/imagenes/es/Fega\\_Guia\\_Lodos.pdf](https://www.fega.es/sites/default/files/imported/Pwfgcp/imagenes/es/Fega_Guia_Lodos.pdf) en junio 2021.

Folke, C. (2013) Respetar los límites del planeta y recuperar la conexión con la biosfera. En Worldwatch Institute, The state of the world 2013: Is sustainability still possible? New York: W. W. Norton. Capítulo 2.

Franco González, F. (2018) Evaluación de la respuesta productiva de maíz y frijol con la aplicación de lodos porcinos como fertilizante orgánico. Tesis profesional para obtener

el título de Licenciado en Ingeniería Agronómica y Zootecnia. Facultad de Ingeniería Agrohidráulica. Pp 4- 7.

Gagnon, B., Ziadi, N., Chantigny, M. H., Bélanger, G., Massé, D. I. (2012) Biosolids from treated swine manure and papermill residues affect corn fertilizer value. *Agronomy Journal*, vol. 104, num. 2. Pp 483-492. doi:10.2134/agronj2011.0327

García-González, M.C., Riaño, B., Teresa, M., Herrero, E., James Ward, A., Provolò, G., Moscatelli, G., Piccinini, S., Bonmati, A., Bernal, M.P., Wisniewska, H., Proniewicz, M. (2016) Treatment of swine manure: case studies in European 's N-surplus areas. *Scientia Agricola*. Vol 73, número 5. Manure management in Europe. Pp 444-454. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0057>

Gaucín, D. (2019) Carne de cerdo, un sector con perspectivas de expansión (II). Periódico digital *El Economista*. Sección Agronegocios. Visto en línea en julio 2021 en <https://www.eleconomista.com.mx/opinion/Carne-de-cerdo-un-sector-con-perspectivas-de-expansion-II-20190212-0145.html>

Gil Pérez, D., Vilches, A., Toscano, J. C., Macías, O. (2006). *Década de la educación para un future sostenible (2005-2014). Un necesario punto de inflexión en la atención a la situación del planeta*. Revista Iberoamericana de Educación.

Granjas Carroll de México. (2019) Reporte de sustentabilidad 2017-2018. Visto en línea en junio de 2021 en <https://granjascarroll.com/reportes/>

Hennig, W. (1950) *Una teoría de la sistemática filogenética*. Editorial Central Alemana. Berlín.

Herring, P. L., Noah, A. C., Kraus H. T. (2018) Swine lagoon compost as transplant substrate for basil, chives and dill. *HorTechnology Research Reports*. Vol. 28, número 3. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH03947-17>

Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey. (2021). Una zona muerta crece bajo el golfo de México. *Revista digital TecReview*. Visto en línea en agosto de 2021 en [https://tecreview.tec.mx/2021/08/08/tendencias/una-zona-muerta-crece-bajo-el-golfo-de-mexico/?utm\\_source=facebook&utm\\_medium=boost&utm\\_campaign=similares&fbclid=IwAR2v2X6jqhCzU3q1a3KnjRCmMPTJQ1e0iYH60qYv0UMKXl4e3ZWEb0QavvU](https://tecreview.tec.mx/2021/08/08/tendencias/una-zona-muerta-crece-bajo-el-golfo-de-mexico/?utm_source=facebook&utm_medium=boost&utm_campaign=similares&fbclid=IwAR2v2X6jqhCzU3q1a3KnjRCmMPTJQ1e0iYH60qYv0UMKXl4e3ZWEb0QavvU)

Kowalski Z., Makara A., Fijorek K. (2013) Changes in the properties of pig manure slurry. *Cracow University of Technology. ACTA ABP Biochimica Polonica*. Vol 60, número 4. Pp 845-850.

Kumar Awasthi, M., Sarsaiya S., Wainaina S., Rajendran K., Kumar S., Quan W., Duan Y., Kumar Awasthi, S., Chen H., Pandey A., Zhang Z., Jain A., Taherzadeh M. (2019). A critical review of organic manure biorefinery models toward sustainable circular bioeconomy: Technological challenges, advancements, innovations and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier. Pp 115 - 131. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.017>

Kumari P., Choi H. L., Sudiarto S. (2015) Assessment of bacterial community assembly patterns and processes in pig manure slurry. *PLoS ONE* 10(9): e0139437. [doi:10.1371/journal.pone.0139437](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0139437)

Leite Moretti, M. S., Bertoncini, E. I., Abreu-Junior, C. H. (2021). Characterization of raw swine waste and effluents treated anaerobically: parameters for Brazilian environmental

regulation construction aiming agricultural use. *Journal of material cycles and waste management*. <https://doi.org/10.1007/s10163-020-01115-1>

Létourneau V., Duchaine C., Coté C., Letellier A., Topp E., Massé D. (2010). Presence of zoonotic pathogens in physico-chemically characterized manures from hog finishing houses using different production systems. *Bioresource Technology* 101. Elsevier. Pp 4048 – 4055. doi:10.1016/j.biortech.2010.01.009

Li, F., Li, Z., Mao, P., Li, Y., Li, Y., McBride, M. B., Wu, Jingtao, Zhuang, P. (2018) Heavy metal availability, bioaccessibility, and leachability in contaminated soil: effects of pig manure and earthworms. *Sustainable urban agriculture: vector por ecological transition. Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2080-5>

Luceño M., Bravo, M. (2013). *El árbol de la vida: sistemática y evolución de los seres vivos*. Capítulo 13. Editorial: Reverté. pp 124-133.

Luo W., O'Brien P., Hatfield J. L. (2019) Crop yield and nitrous oxide emissions following swine manure application: a meta analysis. *Agricultural and environmental letters*. Pp 1-5. doi:10.2134/aer2019.07.0024

Manitoba agriculture, food and rural development. (2015) *Properties of manure*. Government of Manitoba, Canada: páginas 1-37

Martínez, R. (2009) La negra historia de Granjas Carroll. Reportajes. *Revista digital Proceso*. Visto en línea en octubre de 2021 en <https://www.proceso.com.mx/reportajes/2009/5/4/la-negra-historia-de-granjas-carroll-14999.html>

Meade, Robert H. (1995). Contaminantes en el Río Mississippi, 1987-1992. US Geological Survey Circular 1133. USGS. Science for a changing world <https://pubs.usgs.gov/circ/circ1133/>

Medina Tiznado, J. (2013). Lodos residuales como alternativa para la recuperación de suelos. Monografía. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. Saltillo, Coahuila, México. Visto en junio de 2021 en <http://usi.earth.ac.cr/glas/sp/unarrow/0092.pdf> en junio de 2021.

Menezes, J.F.S., Da Silva, M. P., Caetano, J. O., Cantão, V. C. G., Benites, V. de M. (2017) Maize yield after long-term application of pig slurry. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, vol 21, núm 10. ISSN 1807-1929. Pp 686-690. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n10p686-690>

Mergen Junior, C. A., Loss, A., Dos Santos Junior, E., Dupont Giumbelli, L., De Pinho, D., De Abreu, L., Rogério Lourenzini, C., Comín, J. J., Brunetto, G. (2019) Caracterización física de agregados de suelo sometido a 10 años de aplicación de efluentes porcinos. Artículo de investigación: ciencias del suelo. Revista de Ciencias Agrícolas. e-ISSN 2256-2273, vol 36, núm 1. Pp 79-92. <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.193601.100>

Michel, J., Weiske, A., Möller, K. (2010) The effect of biogas digestion on the environmental impact and energy balances in organic cropping and energy balances in organic cropping systems using the life-cycle assessment methodology. Renewable agriculture and Food Systems: 25 (3). Pp 204-218. doi:10.1017/S1742170510000062

Moreno Ayala, L., Cadillo Castro, J. (2018) Uso del estiércol porcino sólido como abono orgánico en el cultivo del maíz chala. Anales científicos, vol 79, núm 2. Pp 415-419. ISSN 2519-7398. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú. DOI: <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v79i2.914>

Morín, Edgar. (2014). La utopía buena y la utopía mala. Cuando el sueño se convierte en pesadilla. En Denis, J.P. y Nouchi, F. El atlas de las utopías. Valencia: Fundación Mondiplo: páginas 20-21.

Nikièma, P., Buckley, K. E., Enns, J. M., Qiang, H., Akinremi, O. O. (2013) Effects of liquid hog manure on soil available nitrogen, status, nitrogen leaching losses and wheat yield on a sandy loam soil of western Canada. Canadian Journal of Soil Science, 93. Pp 573-584. doi:10.4141/CJSS2012-070

North Carolina Interagency Nutrient Management Committee. (2013) Revision of North Carolina Waste Data Tables for Use in Waste Management Planning. Fact Sheet.

OCDE (2019). Exámenes de mercado en México: Estudio de caso del mercado de la carne de cerdo. p(57-90). Cooperativa entre la OCDE y la Secretaría de Economía de México para fortalecer la competitividad en México. Visto en línea en junio en <https://www.oecd.org/daf/competition/market-examinations-mexico-pork-meat-market-web-esp.pdf>

Orr, D. W. (2013). Gobernanza durante la emergencia de larga duración. En Worldwatch Institute, The state of the world 2013: Is sustainability still possible? New York: W. W. Norton. Capítulo 26.

Owusu Twum M., Sharara M. (2020) Sludge management in anaerobic swine lagoons: A review. Journal of environmental management 271. Elsevier. Pp 2 - 12. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110949>

Pandley, P. K., Soupir, M. L. (2011) Escherichia coli inactivation kinetics in anaerobic digestion of dairy manure under moderate, mesophilic and thermophilic temperatures. AMB Express. Vol 1. Pp 1-10.

Palczewski Pacheco, F., Pereira Nóbrega, L. H, Tonini, M., Spiassi, A., Medina Rosa, D., De Araújo Da Cruz-Silva, C. T. (2017) Physical attributes of soil after swine wastewater application as cover fertilizer on maize crop and black oats sequence. Revista Caatinga, Mossoró, vol 30, núm 4. Pp 955-962. E- ISSN 1983-2125 <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252017v30n416rc>

Pérez-Gutiérrez, A., Dzul-Mukul, C. R., Borges-Gómez, L. del C., Latournerie-Moreno, Ruiz-Sánchez, E., Ayora-Ricalde, G. (2015) Uso potencial de aguas residuales de criaderos de cerdo en la producción de Capsicum chinense. Revista Fitotecnia Mexicana volume 38, número 4. Pp 383-387.

Pinasco Horacio, Ontivero Tamara, Sosa Nicolás. (2014). Uso de efluentes de granjas porcinas. VII Congreso de Producción Porcina de Mercosur. Foro agropecuario técnico en línea. Visto en Julio 2021 en <https://www.engormix.com/porcicultura/articulos/uso-efluentes-granjas-porcinas-t31505.htm>

Porcicultura Revista Digital (2020). Producción mexicana de carne de cerdo crecería 4% este año. Visto en línea en junio en <https://www.porcicultura.com/destacado/La-produccion-de-carne-de-cerdo-en-Mexico-creceria-4%C2%AC-este-ano>.

Pradilla, A. (2020) Espacios naturales ocupados y agua contaminada: las irregularidades de las granjas porcícolas en Yucatán. Revista crítica en línea Animal Político. Visto en línea en octubre de 2021 en <https://www.animalpolitico.com/2020/05/irregularidades-granjas-porcicolas-yucatan-greenpeace/>

Prado García, J. (2013). Manual de lombricompostaje de pulpa del café para los cafecultores de la región Otomí-Tepehua de Hidalgo. Instituto Nacional de Desarrollo Social. INDESOL. México.

Qian, X., Wang, Z., Shen, G., Chen, X., Tang, Z., Guo, C., Gu, H., Fu, K. (2018) Heavy metals accumulation in soil after 4 years of continuous land application of swine manure: A field-scale monitoring and modeling estimation. *Chemosphere*, 210. Pp 1029-1034. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.07.107>

Riaño, B., García González, M.C. (2013) On-farm treatment of swine manure based on solid-liquid separation and biological nitrification-denitrification of the liquid fraction. *Journal of environmental management* 132. Science Direct. Pp 87-93. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.10.014>

Riera, N.I. (2009) Evaluación del manejo de residuos porcinos de un sistema intensivo y semi-intensivo. Su caracterización, estabilización y aplicación de efluente y compost sobre la matriz suelo y planta. Laboratorio de Transformación de Residuos. Instituto de Microbiología y Zoología Agrícola. CICV y A - INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agorpecuaria)

Ritchie, H. (2019) Qué países del mundo consumen más carne. BBC NEWS. Mundo. Visto en línea en octubre de 2021 en <https://www.bbc.com/mundo/noticias-47119001>

Rodríguez de Jesús, E., Alonso Pesado, F. A. (2020) La carne de cerdo en el mundo y las importaciones y exportaciones del producto por México. Departamento de economía, administración y desarrollo rural. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México. Revista digital BM Editores. Visto en línea julio 2021 en <https://bmeditores.mx/secciones-especiales/la-carne-de-cerdo-en-el-mundo-y-las-importaciones-y-exportaciones-del-producto-por-mexico/>

Ruíz-Toledo y Sánchez-Guillén. (2014) Efecto de la concentración de glifosato presente en cuerpos de agua cercanos a campos de soya transgénica sobre la abeja *apis mellifera* y la abeja sin aguijón *tetragonisca angustula*. Nota científica. *Acta Zoologica Mexicana*, 30 (2): 408-413. ISSN 0065 1737.

Sachs, J. (2008). *Economía para un planeta abarrotado*. Barcelona: Debate.

Sadaka, S. S., Engler, C. R. (2003) Effect of initial total solids on composting of raw manure with biogas recovery. *Compost. Sci. Util.* Vol 11. Pp 361-369.

Santos, A., Bustamante, M.A., Tortosa, G., Moral. R., Bernal, M.P. (2016) Gaseous emissions and process development during composting of pig slurry: the influence of the proportion of cotton gin waste. *Journal of cleaner production* 112. Pp 81-90. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.084>

Salcedo Pérez, Eduardo; Vázquez Alarcón, Antonio, Krishnamurthy Laksmy; Zamora Natera Francisco, Hernández Alvarez Efrén, Rodríguez Macías Ramón. (2007). Evaluación de lodos residuales como abono orgánico en suelos volcánicos de uso agrícola y forestal en Jalisco, México. *Revista Scielo*, vol. 32, número 2, pp 115-120. ISSN 0378-1844.

Schlegel, A. J., Assefa, Y., Bond, H. D., Haag, L. A., Stone, L. R. (2017) Changes in soil nutrients after 10 years of cattle manure and swine effluent application. *Soil and Tillage Research* 172. Pp 48-58. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2017.05.004>

Scheid, D. L., Ferreira da Silva, R., Rodrigues da Silva, V., Da Ros, C. O., Bison Pinto, M. A., Gabriel, M., Cherubin, M. R. (2019) Soil and plant nutrition. *Scientia Agricola*, vol 77, núm 5. Pp 1-10. ISSN 1678-992X. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-992X-2019-0017>

Schoebitz, M., Vidal, G. (2016) Microbial consortium and pig slurry to improve chemical properties of degraded soil and nutrient plant uptake. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, vol 16, núm 1. Pp 226-236.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2018). Los granos, cereales y plantas forrajeras. Visto en línea en Julio de 2021 en <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/los-granos-cereales-y-plantas-forrajeras>

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2020) Por qué decir NO al glifosato. Artículos Gobierno de México. Visto en línea en octubre de 2021 en <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/por-que-decir-no-al-glifosato?idiom=es>

Shashvatt, U., Aris, H., Blaney, L. (2017). Evaluation of animal manure composition for protection of sensitive water supplies through nutrient recovery processes. *Chemistry and Water*. Elsevier. (13) pp 469 – 501 <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-809330-6.00013-1>

Shen, X., Huang, G., Yang, Z., Han, L. (2015) Compositional characteristics and energy potential of Chinese animal manure by type and as a whole. *Applied Energy* 160. Elsevier. Pp 108-119. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.09.034>

Sonne, C., Sik Ok, Y., Dietz, R., Alstrup, A. (2019). Pig slurry needs modifications to be a sustainable fertilizer in crop production. *Environmental research* 178. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108718>

Soria, F. M. J., R. Ferrera, J. Etchevers, G. Alcántar, J. Trinidad, L. Borges C., G. Pereyda P. (2001). Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo. *Revista Terra Latinoamericana*, 19:353-362. Universidad Autónoma de Chapingo.

Torres-Salinas, D., Ruíz-Pérez, R, Delgado-López-Cózar. (2009) Google Scholar como herramienta para la evaluación científica. El profesional de la información. Vol. 18, núm. 5. Pág. 501-510. Doi: 10.3145/epi.2009.sep.03

UICN. (1980) Estrategia mundial para la conservación: la conservación de los recursos vivos para el logro de un desarrollo sostenido. ISBN: 2-88032-104-2, 2-88032-101-8.

Vázquez Francisco (SF). Lagunas de estabilización. Extensionismo, innovación y transferencia tecnológica. Claves para el desarrollo. Volumen 3.

Vilches, Amparo, Gil Pérez, Daniel, Toscano, Juan Carlos y Macías, Oscar. (2014). La transición a la sostenibilidad (o sustentabilidad) como revolución cultural, educativa, tecnocientífica y política. OEI. ISBN 978-84-7666-213-7. Visto en línea en noviembre 2020 en [www.oei.es/decada/accion.php?accion=1](http://www.oei.es/decada/accion.php?accion=1)>

Villanueva Patricia. (2016). Qué es Yandex: un elemento clave para competir en el mercado ruso. Revista digital Marketing4eCommerce. Visto en línea en julio de 2021 en <https://marketing4ecommerce.net/que-es-yandex/>

Wójcik, P., Filipczak, J. (2015) Growth and early fruit production of 'Tiben' blackcurrants fertilised with pre-and post-planting applications of mineral fertilisers and swine manure. Scientia Horticulturae. Elsevier. Pp 90-97. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2015.01.027>

Xinhua News. (2019) Más de la mitad de carne de res importada por China en 2018 proviene de Latinoamérica, según aduanas. Xinhua en español. Visto en línea en octubre de 2021 en [http://spanish.xinhuanet.com/2019-01/29/c\\_137784080.htm](http://spanish.xinhuanet.com/2019-01/29/c_137784080.htm)

ZEO (2020) ¿Cuánto CO2 emite realmente la ganadería intensiva? Sección Alimentación, emisiones, naturaleza, salud. Plataforma digital de Zero Emissions Objective. Visto en línea en octubre de 2021 en <https://plataformazeo.com/es/cuanto-co2-emite-realmente-la-ganaderia-intensiva/>

Zhang, J., Wang, M., Cao, Y., Liang, P., Wu, S., Wah Leung, A. O., Christie, P. (2015) Replacement of mineral fertilizers with anaerobically digested pig slurry in paddy fields: assessment of plant growth and grain quality. Environmental Science and Pollution Research. Doi 10.1007/s11356-015-5125-z

Zhu, N. M., Guo, X. J. (2014) Sequential extraction of anaerobic digestate sludge for the determination of partitioning of heavy metals. Ecotoxicological Environmental Safety. Vol 102. Pp 18-24.

Zubair M., Wang S., Zhang P., Ye J., Liang J., Nabi M., Zhou Z., Tao X., Chen N., Sun K., Xiao J., Cai Y. (2020) Biological nutrient removal and recovery from solid and liquid livestock manure: Recent advance and perspective. Bioresource Technology. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122823>

Zurita, A, GIZ. (2017) Programa EnRes. Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México. Un programa de cooperación entre México y Alemania. XXV Congreso Internacional Ambiental.

## X. Anexos y apéndices

Motor de búsqueda	Fecha	Ecuación	Número de resultados
<a href="#">Google académico</a>	30-marzo-21	"swine biosolids"	17

11/10/21 4:54 PM  
Con formato: Fuente: Source Sans Pro

Google académico	30-marzo-21	"biosólidos" and "rendimiento" and "avena" and "cerdos"	7
Google académico	30-marzo-21	"pig manure swine"	4
Scielo	31-marzo-21	swine manure	162
World Wide Science	31-marzo-21	biosólidos en agricultura	1731
World Wide Science	31-marzo-21	biosólidos de cerdo	859
PubMed	31-marzo-21	swine biosolids	34
SCOPUS	31-marzo-21	"swine" and "biosolids" and "agriculture" and "crops"	64
Science Direct	31-marzo-21	swine biosolids AND yield AND crops	19
Science Direct	1-abril-21	"swine biosolids AND yield"	28
Science Direct	2-abril-21	"pig manure sewage AND oat"	243
Science Direct	3-abril-21	"swine manure AND yield" NOT "biogas"	2106
Science Direct	3-abril-21	"swine manure AND yield AND NOT "biogas"	1310
Science Direct	3-abril-21	"swine manure AND yield AND NOT biogas" AND NOT "biochar"	1028
Science Direct	4-abril-21	"application of swine manure AND yield AND NOT biogas"	53
Yandex	6-abril-21	"swine management AND soil"	5 millones
Yandex	8-abril-21	"swine management AND soil"	375

.. 11/10/21 4:54 PM  
**Con formato:** Fuente: Source Sans Pro

.. 11/10/21 4:54 PM  
**Con formato:** Fuente: Source Sans Pro

.. 11/10/21 4:54 PM  
**Con formato:** Fuente: Source Sans Pro

.. 11/10/21 4:54 PM  
**Con formato:** Fuente: Source Sans Pro

.. 11/10/21 4:54 PM  
**Con formato:** Fuente: Source Sans Pro

.. 11/10/21 4:54 PM  
**Con formato:** Fuente: Source Sans Pro

.. 11/10/21 4:54 PM  
**Con formato:** Fuente: Source Sans Pro

.. 11/10/21 4:54 PM  
**Con formato:** Fuente: Source Sans Pro

.. 11/10/21 4:54 PM  
**Con formato:** Fuente: Source Sans Pro

.. 11/10/21 4:54 PM  
**Con formato:** Fuente: Source Sans Pro

.. 11/10/21 4:54 PM  
**Con formato:** Fuente: Source Sans Pro

.. 11/10/21 4:54 PM  
**Con formato:** Fuente: Source Sans Pro

.. 11/10/21 4:54 PM  
**Con formato:** Fuente: Source Sans Pro

.. 11/10/21 4:54 PM  
**Con formato:** Fuente: Source Sans Pro

.. 11/10/21 4:54 PM  
**Con formato:** Fuente: Source Sans Pro

.. 11/10/21 4:54 PM  
**Con formato:** Fuente: Source Sans Pro

Yandex	10-abril21	"swine biosolids" AND "production"	57
Yandex	10-abril21	"pig manure AND yield"	1000
Yandex	10-abril21	"pig manure AND "yield" AND "production"	1000
Academia	10-abril21	"Pig manure"	-
Yandex	10-abril21	"swine manure" AND "effects on yield" AND "crop production"	160
Baidu	10-abril21	"swine manure" AND "effects on yield"	?
Yandex	12-abril-21	"swine manure" AND "crop yield"	371
Yandex	12-abril-21	"corn yield" AND "DuPont" AND "swine manure"	11
Yandex	12-abril-21	melfort 2007 swine manure	383
BioOne	18-abril-21	"swine slurry"	2
CABI	18-abril-21	"swine manure"	0
CABI	18-abril-21	swine manure	6
CABI	18-abril-21	swine biosolids	0
CABI	18-abril-21	swine manure properties	0
CABI	18-abril-21	swine slurry	5
BioOne	18-abril-21	"swine biosolids treatment"	0
BioOne	18-abril-21	"swine manure treatment"	0
BioOne	18-abril-21	swine manure treatment	82
Google académico	24-abril-21	physical quematical biological characterization AND swine slurry	1370

Extracto de bitácora de búsqueda usada para realizar búsquedas en diferentes motores de búsqueda con sus respectivas ecuaciones.

.. 11/10/21 4:54 PM  
**Con formato:** Fuente: Source Sans Pro

.. 11/10/21 4:54 PM  
**Con formato:** Fuente: Source Sans Pro

.. 11/10/21 4:54 PM  
**Con formato:** Fuente: Source Sans Pro

.. 11/10/21 4:54 PM  
**Con formato:** Fuente: Source Sans Pro

.. 11/10/21 4:54 PM  
**Con formato:** Fuente: Source Sans Pro

.. 11/10/21 4:54 PM  
**Con formato:** Fuente: Source Sans Pro

.. 11/10/21 4:54 PM  
**Con formato:** Fuente: Source Sans Pro

.. 11/10/21 4:54 PM  
**Con formato:** Fuente: Source Sans Pro

.. 11/10/21 4:54 PM  
**Con formato:** Fuente: Source Sans Pro

.. 11/10/21 4:54 PM  
**Con formato:** Fuente: Source Sans Pro

.. 11/10/21 4:54 PM  
**Con formato:** Fuente: Source Sans Pro

.. 11/10/21 4:54 PM  
**Con formato:** Fuente: Source Sans Pro

.. 11/10/21 4:54 PM  
**Con formato:** Fuente: Source Sans Pro

.. 11/10/21 4:54 PM  
**Con formato:** Fuente: Source Sans Pro

.. 11/10/21 4:54 PM  
**Con formato:** Fuente: Source Sans Pro

.. 11/10/21 4:54 PM  
**Con formato:** Fuente: Source Sans Pro

.. 11/10/21 4:54 PM  
**Con formato:** Fuente: Source Sans Pro

.. 11/10/21 4:54 PM  
**Con formato:** Fuente: Source Sans Pro

.. 11/10/21 4:54 PM  
**Con formato:** Fuente: Source Sans Pro

.. 11/10/21 4:54 PM  
**Con formato:** Fuente: Source Sans Pro

.. 11/10/21 4:54 PM  
**Con formato:** Fuente: Source Sans Pro