

CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA DE UN EFLUENTE PORCINO

MICROBIOLOGICAL CHARACTERIZATION OF A SWINE EFFLUENT

Bañuelos Maldonado O. M.¹, Utrera Quintana F.¹, Becerra Peralta F.¹, Cruz-Aviña J. R.*¹, Navarro Frómata A. E.², Herrera Cárdenas J. A.²

¹Posgrado de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, 4 Sur 304, Col. Centro, CP 75482, Tecamachalco, Puebla, Mexico. ²Universidad Tecnológica de Izúcar de Matamoros. Dirección: Prolongación Reforma # 168, Barrio Santiago Mihuacán, Izúcar de Matamoros, Puebla, México, CP. 74420

*Autor para correspondencia: juan.cruzavina@correo.buap.mx

Recibido: 24/abril/2023

Aceptado: 27/junio/2023

RESUMEN

Las aguas residuales porcinas contienen concentraciones importantes de antibióticos, materia orgánica, nutrientes, hormonas; sustancias que generan problemas ambientales severos en aire, agua y suelo. El objetivo de este trabajo fue evaluar y caracterizar fisicoquímicamente y microbiológicamente los efluentes porcinos derivados de un módulo de cerdos, (N=70), como primer paso para proponer estrategias biotecnológicas de remoción a escala que permitan su certificación CONSERVET y NOM-001-SEMARNAT- 1996, NOM-003-SEMARNAT-1997 (SEMARNAT 1997) por las autoridades sanitarias correspondientes. En este sentido, se estimaron conforme a

métodos estándar los valores de pH, temperatura, demanda bioquímica de oxígeno, sólidos totales, nitrógeno total, nitratos, nitritos y fósforo total entre otros. Del mismo modo se determinaron, coliformes totales, coliformes fecales, *E. coli*, helmintos y *Salmonella sp.* durante un año (2020-2021). Los resultados obtenidos determinaron un volumen de excretas de (163.55 kg. día⁻¹) y casi (60 t. año⁻¹). Por su parte derivado de la caracterización de los efluentes el (60%) de las muestras rebasaron débilmente los límites establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996, para la protección de la vida acuática, por lo que se sugirió un tratamiento de remoción híbrido (aerobio +anaerobio) proponiéndose por tanto; en el mediano

plazo, un aprovechamiento para uso agrícola y pecuario.

Palabras clave: Caracterización de aguas residuales, Certificación, Efluentes porcinos, Sustentabilidad.

ABSTRACT

Swine wastewater contains important concentrations of antibiotics, organic matter, nutrients, hormones; substances that generate severe environmental problems in air, water and soil. The objective of this work was to evaluate the physicochemical and microbiological characterization of the swine effluent derived from a swine module, (N=70), as a preliminary stage to propose biotechnological strategies of remision at scale that will allow its NOM certification and the certification by the corresponding health authorities. Relating to the values of pH, temperature, biochemical oxygen demand, total solids, total nitrogen, nitrates, nitrites and total phosphorus, among others, were estimated according to standard methods. In the same way, total coliforms, fecal coliforms, E. coli, Helminths and Salmonella sp. for one year (2020-2021). The

results obtained determined a volume of excreta of (163.55 Kg.day⁻¹) and almost (60 Ton.year⁻¹). Futhermore derived from the characterization of the effluents, (60%) of the samples slightly exceeded the limits established in NOM-001-SEMARNAT-1996, for the protection of aquatic life. Therefore, a hybrid removal treatment (aerobic + anaerobic) was suggested, thus proposing, in the medium term, a utilization for agricultural and livestock use.

Keywords: Wastewater characterization, Certification, Pig effluents, Sustainability.

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, el mayor problema que enfrentan las explotaciones porcinas es la generación de excretas que contaminan el ambiente y pueden llegar a constituirse en el principal obstáculo para el futuro desarrollo de la industria animal, pese a este problema, las excretas porcinas tienen un gran potencial económico debido a su alto contenido de nutrientes, aprovechando las proteínas que estas nos brindan por medio de fermentación en estado sólidos por medio de microorganismos (Castrillón et al. 2004). En

México, la producción porcina ha jugado un papel fundamental dentro del abasto de carne, en la década de los noventa la oferta de carne de cerdo creció a una tasa anual de 3.5% para ubicarse al final de la década en 994,186 t, lo que la colocó como la tercera carne de importancia en México. Así mismo, se caracterizó por ser uno de los principales consumidores de granos forrajeros ($4.1 \cdot 10^6$ t) y de pastas de oleaginosas (777,000 t), cantidades que representan el 25.8 y el 21.9% respectivamente de la demanda pecuaria del año 2000. Este incremento en la producción ha ido emparejado a un incremento en el tamaño de las granjas porcinas, el INEGI en 2021 indica a través de los resultados del Censo Agrícola - Ganadero que en el país existían $1.96 \cdot 10^6$ unidades de producción porcina. Las explotaciones con menos de 20 cabezas (99% del total) contaban solamente con el 52% de la población porcina del país, y el 1% de las explotaciones contabilizaban el 48% del inventario. Esta situación trajo como consecuencia un aumento en la capacidad contaminante de las granjas porcinas, sobre todo en regiones del país que presentan una alta densidad de población porcina, ya que la porcicultura en México independientemente de ser practicada en todo el país, muestra una gran concentración en pocas entidades, donde

la operación de grandes grupos de productores y empresas permite ofertar grandes volúmenes de carne para el abasto interno e inclusive para la exportación, de tal forma que el 68.7% de la producción nacional es generada en seis entidades del país: Jalisco, Sonora, Guanajuato, Puebla, Yucatán y Michoacán (Mariscal 2007). El manejo inadecuado de los efluentes de producciones intensificadas de cerdos redundará en un grave problema por su indudable y probado impacto negativo. Los cerdos son animales monogástricos que excretan, aproximadamente, el 77 % de los nutrientes a través de la orina y la materia fecal. La cantidad y la composición de los excrementos, junto con la forma en que se manejan y almacenan, son los principales factores que determinan los niveles de emisión de contaminantes (Errecat et al. 2015, Domínguez-Araujo et al. 2014, Ducey & Hunt 2013). Las descargas de granjas porcinas deben cumplir con los límites máximos de contaminantes especificados en la NOM-001-SEMARNAT-1996 (SEMARNAT 1996) si descargan en un cuerpo de agua y con la NOM-003-SEMARNAT-1997 (SEMARNAT 1997) si descargan al suelo para riego agrícola. Las aguas residuales porcinas contienen

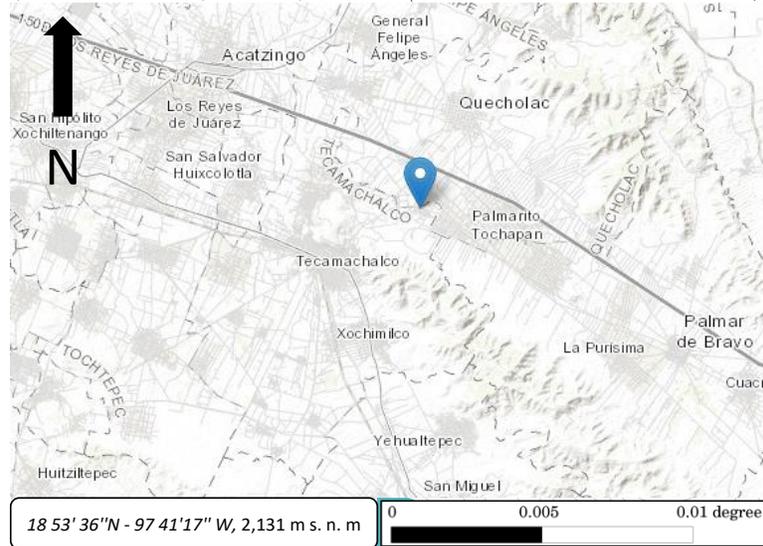
concentraciones importantes de antibióticos, materia orgánica, nutrientes, hormonas; sustancias que generan problemas ambientales severos en aire, agua y suelo. El objetivo de este trabajo fue evaluar y caracterizar fisicoquímicamente y microbiológicamente los efluentes porcinos derivados del módulo de cerdos de la Posta Zootécnica-FMVZ-BUAP, como primer paso para proponer estrategias biotecnológicas de remoción a escala que permitan su certificación y por las autoridades sanitarias correspondientes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio.- El módulo de cerdos se encuentra en la Posta Zootécnica de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, de la Universidad Autónoma de Puebla (MC-FMVZ-BUAP), se encuentra en la localidad de “El Salado”, Municipio de Tecamachalco, Puebla. El clima predominante es cálido seco, presenta una temperatura media anual de 18°C, con máximas de 21°C y mínimas de 15°C. El 85% de la superficie municipal forma parte del Eje Neovolcánico y el 15% restante de la Sierra Madre del Sur. En relación con el sistema de topografías, el 49% del territorio municipal es

llanura aluvial con lomerío, el 22% es llanura con lomerío de piso rocoso o cementado, el 16% es sierra baja, el 9% es llanura de piso rocoso o cementado y el 4% es lomerío de tobas, en cuanto a la conformación geológica del territorio municipal el 65% pertenece al periodo Cuaternario, 17% al Cretácico, 2% al Neógeno y 1% al Paleógeno (1%); en tanto los tipos de rocas que se registran son: Ígnea extrusiva: basalto (2%), Sedimentaria: caliza (17%), caliche (1%) y arenisca-conglomerado (1%), mientras que el 64% del suelo es: aluvial (64%). Esta localidad pertenece a la Región Hidrológica del Balsas, a la cuenca del Río Atoyac, subcuenca del Río Atoyac-Balcón del Diablo y además es atravesado por la corriente de agua intermitente del Río Alseseca. Cabe destacar que las zonas urbanas, con 2 mil 500 habitantes o más, están creciendo sobre suelo aluvial y rocas sedimentarias del periodo Cuaternario, en llanura aluvial con lomerío, llanura de piso rocoso o cementado y llanura con lomerío de piso rocoso o cementado. En la comunidad del Salado habitan 312 personas, que básicamente se dedican a la actividad agrícola, donde se siembran hortalizas principalmente, (18 53' 36" N - 97 41'17" W, a 2,131 m s.n.m.) (PND, 2021; INEGI 2022) **Figura 1.**

Figura 1. Ubicación de la Posta Zootécnica y Módulo de Cerdos de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (MC-FMVZ-BUAP), en El Salado, Tecamachalco, Puebla, México ($18^{\circ} 53' 36''$ N - $97^{\circ} 41' 17''$ W, 2,131 m s.n.m.



Fuente: Google Earth 2023, modificado.

Colecta de muestras.- Se realizó la toma de muestras del agua residual (efluentes de salida del MC-FMVZ-BUAP) por triplicado de manera mensual durante un año (2020-2021) en frascos de plástico estériles rotulados de 2 L. Posteriormente fueron puestos en hielo (-4°C) y trasladados al Laboratorio de Patogenicidad Bacteriana del Centro de Investigación en Ciencias Microbiológicas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (LPB-CICM-BUAP) para su caracterización correspondiente.

Caracterización microbiológica. - Se determinaron conforme a (APHA, 2005 y

NOM-001-SEMARNAT-1996), coliformes totales (CT), coliformes fecales (CF), presencia de *E. coli*, *Salmonella* sp. y cuantificación e identificación de huevos de helmintos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización del volumen de excretas por sección. - Se resume de manera general la caracterización de volumen de purines (excretas + orines) en agua residual por etapa de desarrollo (sementales, lechones, crías) y manejo de los animales del módulo de cerdos (N=70) de FMVZ-BUAP en donde en total se

produjeron (163.55 kg. día⁻¹ y casi 60 t. año⁻¹) durante el periodo 2020-2021. **Cuadro 1.**

Cuadro 1. Producción de excretas (kg. día⁻¹), conforme al consumo de agua y alimento (N=70) del Módulo de cerdos de la Posta Zootécnica FMVZ-BUAP.

ESTADO PRODUCTIVO	CONSUMO DE ALIMENTO/ DIA (kg)	CONSUMO DE AGUA (L)	PRODUCCIÓN DE EXCRETAS/DIA (kg)	PRODUCCIÓN EXCRETAS/ AÑO (Kg)
ACTIVO	3	10	4.3	1569.5
GESTANTES	2.5	15	22.8	8322
LACTANTES	6	40	21.9	7993.5
LACTANTES	0.8 LECHE	0.8	10.85	3960.25
DESTETE	1	0.9	20	7300
DESARROLLO	2.5	4.5	22.8	8322
ENGORDA	3	6	60.9	22228.5
TOTAL	18.8	77.2	163.55	59695.75

Fuente: elaboración propia

Caracterización microbiológica. - Se expresa de manera específica la caracterización microbiológica promedio (purines) de los efluentes derivados del módulo de cerdos (N=70) de la PZ-FMVZ-BUAP, durante el periodo 2020-2021. **Cuadro 2.**

La concentración de residuos y el volumen promedio de los purines generados (orín + heces) en los efluentes que produce un cerdo. día⁻¹ corresponde al (7%) de su peso vivo (kg), teniendo un gasto aproximado de (7 L. día⁻¹) en donde los diversos factores como

sitio geográfico, altitud, clima, cercanía al mar, tipo de suelo, raza o cruce, edad, estado de salud, dieta y la época del año, pueden alterar estos valores (Bernet et al. 1996; INEGI 2017; De Victorica-Almeida et al. 2018). En este sentido, conforme los resultados obtenidos la caracterización de las descargas residuales por proceso ocurren de la siguiente manera: maternidad (vientres y lechones de 0 a 20 días); destete (lechones de 20 a 45 días); engorda (cerdos de 45 a 150 días o de 10 a 110 kg de peso), gestación

(vientres preñados) y mezcla (dos o más etapas de desarrollo se mezclan). En contraparte, los efluentes derivados de granjas de cerdos de MC-FMVZ-BUAP presentan una alteración en la concentración de contaminantes dependiendo de los insumos utilizados (aditivos, medicamentos,

hormonas, vacunas etc.), y a su propósito productivo (maternidad, destete, cría, engorda, mezcla, ciclo completo, etc.), capacidad de producción, tamaño de la granja y eficiencia en el manejo del agua, todo esto conforme a lo reportado por (Cheng et al. 2018).

Cuadro 2. Caracterización microbiológica (N=70) de los efluentes porcinos (purines) del módulo de cerdos de la Posta Zootécnica FMVZ-BUAP en el periodo (2020-2021).

CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA EFLUENTES PORCINOS DE LA POSTA ZOOTECNICA-BUAP

Numero mas probable NMP	coliformes totales CT	coliformes fecales CF	<i>E. coli</i>	<i>Salmonella sp.</i>	huevos de Helmintos
	9.99×10^3 /100 mL	9.96×10^3 /100 mL	8.40×10^3 /100 mL	negativo	negativo

Fuente: elaboración propia

Del mismo modo el tipo de clima es un factor importante para considerar, en este tenor, los resultados obtenidos denotan que los efluentes porcinos derivados del MC-FMVZ-BUAP, corresponden a una caracterización típicamente de clima cálido-seco, del mismo modo corresponde a la disponibilidad de agua, que en este caso es de gasto tipo medio. Por tanto, como puede apreciarse, existe una correlación positiva entre el tamaño de la granja y el uso eficiente del recurso agua conforme lo reportado por (Bortone et al.

1992, Bernet et al. 1996). Del mismo modo existe una correlación entre el tamaño de la granja, y el gasto de agua o desperdicio, en este sentido el agua se utiliza de forma más eficiente en granjas altamente productivas. Por otra parte; debido al volumen alto de los insumos, la concentración de contaminantes en el agua residual es mayor en granjas altamente productivas (García-Sánchez 2013). En este sentido conforme a los resultados obtenidos para la MC-FMVZ-BUAP, se trata de una producción media, con

valores de concentraciones de contaminantes también de tipo medio. En contraste uno de los principales problemas asociados con la producción de carne de cerdo y la expansión de la producción es el desecho del estiércol animal y el olor que se asocian con los animales y las instalaciones de almacenamiento. En este sentido los olores vertidos de la MC-FMVZ-BUAP, si afectan de manera moderada el ambiente. De hecho de manera tradicional, el estiércol de cerdo combina en zonas de producción con suelo agrícola en zonas de producción de maíz y hortalizas; sin embargo, recientemente ha sido objeto de ataques en las comunidades rurales, debido a los problemas de olor durante la aplicación (Cruz-Avina 2017, Hatfield 2007). Por su parte, el potencial contaminante de los residuos está determinado por los parámetros: materia orgánica (MO), nitrógeno, fósforo, potasio y metales pesados, particularmente cobre. Algunas recomendaciones para bajar el potencial contaminante producidas por la excesiva producción de excretas, incluyen: Mejorar el conocimiento que los animales aprovecharan de manera más eficiente los nutrientes esenciales lo cual bajarían las emisiones de metano que a su vez es excretado por lo tanto se reducirá el NH_3

emitido en los alojamientos, la gestión de los estiércoles y su aplicación al campo, es por ello que se puede llevar a cabo la reducción de exceso de proteína en la dietas lo que logra reducir el nitrógeno excretado en la orina y disminuir una emisión de NH_3 , además también aplicar y modificar los niveles de fibras o grasas (Calvet 2015). Como alternativa subalterna de la disminución de contaminantes porcinos se mencionan los sistemas de producción de cría de cerdos a cama profunda y cerdos a campo. Estos sistemas son una opción factible para reducir los problemas ambientales causados por los residuos sólidos y líquidos, producto de los lavados de los corrales y la alta producción de excretas de cerdos por metro cuadrado en los sistemas de confinamiento; la producción de cerdos a campo es escasamente contaminante al ambiente debido a que las deyecciones se distribuyen en el suelo, aprovechando así esto como fertilizante (Rodríguez et al., 2010). En contraste, para el particular del MC-FMVZ-BUAP en el periodo evaluado se contó con (N=70) cerdos en diferentes etapas, cuyo primer propósito es académico y de investigación (prácticas de manejo, toma de muestras, diagnósticos de laboratorio, producción para la crianza, reproducción y de elaboración de nuevas biotecnologías),

conforme este estudio, se estimó que el volumen de purines en los efluentes fue de (163.55 kg. día⁻¹) y casi (60 t. año⁻¹), lo que correspondió a un promedio de (2.33kg. día⁻¹) por cerdo, valor por debajo de la media nacional y por tanto esta producción se clasifica como semi-intensiva o de pequeña escala (Cheng et al. 2018; Zeng et al. 2018).

CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación se propone como alternativa viable el uso de biotecnologías para alcanzar estándares de salud y buenas prácticas en la producción animal sostenible. Por tanto, se realizó la caracterización microbiológica de los efluentes porcinos derivados del módulo de cerdos de la FMVZ-BUAP, como primer paso para alcanzar estas certificaciones. Estas aguas residuales no rebasaron la normatividad vigente para descargas municipales (NOM-001-SEMARNAT-1996) y para riego agrícola (NOM-003-SEMARNAT-1997), sin embargo;

Se propondrán alternativas para su tratamiento primario y así evitar así la descarga a cielo abierto en los campos de

cultivo agrícola de la comunidad de El Salado en Tecamachalco, Puebla.

REFERENCIAS

APHA (2005). Standard methods for the examination of water and wastewater. 25a. ed. American Public Health Association. Washington, EUA. 1325 pp.

Bernet, N., Delgenès, N., Moletta, R. (1996). Denitrification by anaerobic sludge in piggery wastewater. *Environ. Technol.* 17 (1): 293–300.

Bortone, G., Gemelli, S., Rambaldi, A., Tilche, A. (1992). Nitrification, denitrification and biological phosphate removal in sequencing batch reactors treating piggery wastewater. *Water Sci. Technol.* 26 (5–6): 977–985.

Calvet SS. 2015. Contaminación atmosférica mitigación y adaptación a través de la nutrición animal. *Nutrinews contaminación atmosférica y nutrición animal*. <http://nutricionanimal.info/download/0315-medioambiente.pdf>

Castrillon Q O, Jiménez PRA, Bedoya MO. (2004). Porquinaza en la alimentación

animal. *Revista Lasallista de Investigación*, 3(1): 72-76.

Cervantes F. J., Saldívar-Cabrales J. y Yescas J. F. (2007). Estrategias para el aprovechamiento de desechos porcinos en la agricultura. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales* 3, 3-12.

Cheng, D. L., Ngo, H. H., Guo, W. S., Chang, S. W., Nguyen, D. D., Mathava Kumar, S., Wei, D. (2018). Problematic effects of antibiotics on anaerobic treatment of swine wastewater, 263 (1): 642–653.

Errecat, V. (2015). Análisis del mercado mundial de carnes. Centro de economía regional, Universidad de San Martín. Bs. As. Argentina. Pp 1-35.

Domínguez-Araujo, G., Galindo-Barboza, A., Salazar-Gutiérrez, G., Barrera-Camacho, G., y Sánchez-García, F. (2014). Las excretas porcinas como materia prima para procesos de reciclaje utilizados en actividades agropecuarias, INIFAP, Folleto Técnico Núm. 6, Campo Experimental Centro-Altos de Jalisco, Tepatitlán de Morelos.

Ducey, T. F., Hunt, P. G. (2013). Microbial community analysis of swine wastewater anaerobic lagoons by next-generation DNA sequencing. *Anaerobe*, 21 (1): 50–57.

García-Sánchez, L., Garzón-Zúñiga, M. A., Buelna, G., Moeller-Chávez, G. E., Noyola, A., Avilez-Flores, M., & Estrada-Arriaga, E. B. (2013). Occurrence of tylosin in swine wastewater in Mexico. *Water Science and Technology*, 68(4): 894–900.

Hatfield LJ, Brumn CM, Melvin WS. (2007). Gestión del estiércol de cerdo. 14. INIFAB. 2015. Excretas Ensiladas de Cerdo, Para Alimentación de Rumiantes. INIFAB <http://utep.inifap.gob.mx/tecnologias/2.%20Bovinos%20Carne/2.%20Nutrici%C3%B3n/EXCRETAS%20ENSILADAS%20DE%20CERDO.pdf>(CONSULTADO 06/09/2015).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI. (2007). Censo Agropecuario. La Porcicultura En Sonora.

De Victorica-Almeida, J. L., Galván-García, M., Ayala-Ruiz, R. (2008). Sustainable management of effluents from small piggery farms in Mexico, *Am. J. Environ. Sci.* 4 (3):171–174.

Mariscal LG. (2007) G. Capítulo 7, Tecnologías disponibles para reducir el potencial contaminante de las excretas de granjas porcícolas. Sitio Argentino de Producción Animal.

<http://www.fao.org/wairdocs/lead/x6372s/x6372s08.htm>

Plan de Desarrollo Municipal, Tecamachalco, 2018-2021,

<https://planeader.puebla.gob.mx/PDF/Municipales2020/Tecamachalco.pdf>

Rodríguez C. 2002. Residuos ganaderos. Sitio argentino de producción animal. http://www.produccion-animal.com.ar/sustentabilidad/05-residuos_ganaderos.pdf

SEMARNAT (1996). Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. 6 de enero de 1997.

SEMARNAT (1997). Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. 21 de septiembre de 1998.

Zhang, M., Liu, Y.-S., Zhao, J.-L., Liu, W.-R., He, L.-Y., Zhang, J.-N., Ying, G.-G. (2018). Occurrence, fate and mass loadings of antibiotics in two swine wastewater treatment systems. *Science of the Total Environment*, 639 (1): 1421–1431.