

Alternativas para la revalorización de los efluentes de la de la Empresa Porcina Cienfuegos

Alternatives for the revalorization of the effluents in a pig company. Cienfuegos, Cuba

DOI: 10.17981/ijmsor.02.01.04

Case Study - Reception Date: October 29, 2016 - Acceptance Date: December 17, 2016

Justo Morales Veraz.

Empresa Porcina Cienfuegos.
Cienfuegos. Cuba. justomorales@hispavista.com

Teresa Barceló Sánchez.

Universidad de Cienfuegos.
Cienfuegos. Cuba. tbarcelo@ucf.edu.cu

Hernán Hernández Herrera.

Universidad de la Costa.
Barranquilla. Colombia. hhernand16@cuc.edu.co

To reference this paper:

J. Morales Veraz, T.Barceló Sánchez and H. Hernández Herrera "Alternativas para la revalorización de los efluentes de la de la Empresa Porcina Cienfuegos" IJMSOR, vol. 2, no. 1, pp. 22-29, 2017. DOI: 10.17981/ijmsor.02.01.04

Resumen-- En el trabajo se realizan mediciones del consumo de agua y de los efluentes líquidos estimándose la emisión de purín y el volumen que potencialmente puede aprovecharse. Se demuestra el sobreconsumo de agua en la limpieza de los corrales y se proponen medidas para reducirlo. Se realiza una evaluación preliminar de la revalorización de los residuos mediante la producción de biogás, abono orgánico y suplemento para la alimentación animal.

Palabras claves-- residuales porcinos, purín de cerdo, revalorización de residuos, impacto ambiental, biogás.

Abstract-- In paper are carry out measurements of water consumption and the effluent liquid, also slurry emission is estimated and volume with potentially benefit. The overconsumption of water in cleaning the pens is demonstrated and mitigation measures are proposed. Also a preliminary evaluation of revaluation of waste through biogas production, organic fertilizer and feed supplement are performed.

Keywords-- Waste pigs, pig slurry, revaluation of waste, environmental impact, biogas.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se debate mucho sobre el cuidado del medio ambiente lo que es de gran importancia por la influencia que éste tiene sobre el desarrollo económico, la calidad de vida y salud de la población. La creciente sensibilidad y conciencia ecológica de la opinión pública ha contribuido a que la protección ambiental constituya uno de los objetivos prioritarios de la sociedad actual [1].

Cuba, según concluyó el Fondo Mundial de la Naturaleza el 2006, era el único país en el mundo con un progreso hacia el desarrollo sostenible. Además marcha hoy a la vanguardia en tareas ecológicas y medioambientales. Se está realizando un trabajo de educación social y ambiental que se ha traducido en un aumento de la conciencia ciudadana.

La Unidad Porcina Integral No 1 de la Empresa Porcina No 1 de Cienfuegos genera residuales líquidos y sólidos, que impactan el medio ambiente debido al manejo y tratamiento que se le realiza a los mismos, dado por la cría de más de 5000 animales en las distintas categorías. El presente trabajo está enfocado al desarrollo de una Evaluación de Producción Más Limpia que permita cuantificar la emisión de residuos en esta instalación y la búsqueda de alternativas para su reducción o reutilización.

II. MATERIALES Y METODOS

Las excretas porcinas generalmente son consideradas como un residuo y lo más usual en nuestro país es aplicarle algún tratamiento al final del tubo para minimizar su impacto ambiental, desde un punto de vista de producción más limpia, es un material con numerosos usos y deben ser consideradas un subproducto, entre las principales aplicaciones están: su uso como fertilizante orgánico, mejorador de suelos, alimento para rumiantes, materia prima para generar energía, insumo en la elaboración de compost y substrato en lombricultura [2]- [8].

En un estudio realizado en nuestro país se estimó la cantidad de subproductos que se pueden obtener en una granja de 20000 cerdos, estimándose potencialidades de producir hasta un millón de m³ de metano, 600 toneladas de materia orgánica con un contenido aproximado de 40 t de nitrógeno, 100 t de fósforo y 10 t de potasio [9].

A. Centro Integral Porcino No 1.

El Centro Integral Porcino No. 1, perteneciente a la Empresa Porcina de Cienfuegos, se encuentra situado en la Finca "La Caridad", km 2, Carretera Central (tramo de Cienfuegos a Palmira).

B. Descripción del proceso productivo de la Unidad Integral 1.

En la Unidad Integral No 1 la producción porcina se desarrolla en naves acondicionadas con los requisitos de producciones epizooticas y zootécnicas lo que permite asegurar el mayor control de la masa desde la gestación hasta la pre-ceba.

La alimentación de la masa porcina se recibe de la planta de pienso líquido, planta de pienso seco, piensos nacionales y piensos importados.

1) Área de Reproducción:

En esta área se ubican las reproductoras vacías, celadores y verracos. Las puercas vacías que fueron destetadas con 26 días de lactancia, de 4 a 7 después presentan celos y son trasladadas a la sala de monta donde son cubiertas por el verraco y luego pasan 72 horas las puercas a los cepos, luego de los cepos pasan a la nave de cubierta donde están 5 semanas hasta la confirmación, después que se corrobora su gestación pasan a la nave de gestación donde están 11 semanas hasta que pasan al área de maternidad, este proceso de reproducción dura 16 semanas aproximadamente, es decir 110 días. En esta unidad los sábados son los días de cambio de área de reproducción.

2) Área de Maternidad:

Se alojan las reproductoras próximas al parto, las paridas y sus crías. La hembra ingresa a esta etapa 7 días antes del parto, es llevada a jaulas cuna donde permanecerá entre 21 y 28 días, que es el tiempo de lactancia del lechón. Esta etapa es muy delicada debido a la susceptibilidad de los lechones a factores externos como el ambiente, enfermedades, etc; por lo tanto, requiere de una atención más personalizada. Aquí cada reproductora tiene su tarjeta viajera, en esta área los jueves se realizan los destetes.

3) Área de Pre-ceba:

Se reciben los animales que vienen del destete a los 26 días, vienen con un peso aproximadamente de 6 kg, permanecen en esta área 49 días alcanzando un peso promedio de 22 kg. Este proceso dura 75 días y en el centro los viernes se realizan cierre del proceso con la venta u otros fines.

C. Caracterización de los residuales de la Unidad Integral 1.

1) Residuos sólidos.

Durante todo el proceso productivo desarrollado en esta unidad en todas sus etapas se generan residuos los cuales están constituidos por las excretas de los cerdos, son el conjunto de orina y heces que produce el animal. La orina representa aproximadamente el 45% y las heces el 55% del contenido volumétrico total de excretas. Otros residuos que se pueden considerar son los generados por los comederos y bebederos, desechados por su mal estado, así como las jeringas y material veterinario utilizado durante la crianza. En efecto por cada 50 kg de peso vivo en granja se producen 2.25 kg de excretas al día.

La excreta porcina contiene sólidos que flotan y sólidos que sedimentan, además de sólidos en suspensión.

Diariamente, se generan alrededor de 0,968 kg de demanda biológica de oxígeno (DBO) y 0,75 kg de demanda química de oxígeno (DQO) por cada 100 kilos de peso vivo.

2) Residuos líquidos.

En la Unidad Integral 1 la mayor producción de residuos líquidos se genera por la orina de los cerdos y por el agua de lavado de los corrales. Estos residuos requieren de un tratamiento previo ya sea a través de lagunas de oxidación o plantas de tratamiento que remuevan los contaminantes presentes en el efluente, hasta llevarlo a los parámetros establecidos en la Norma Técnica para el Vertido de Aguas Residuales en Cuerpos Receptores.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

No existe una solución única y universal de tratamiento de deyecciones ganaderas que asegure la eliminación del problema. La solución es una combinación de gestión y tecnología, adaptada a cada realidad, y siempre con el objetivo, u objetivos, que se definan en cada zona en función del balance de nutrientes realizado en ésta, del problema de transporte que se deba resolver y de otros requerimientos que se deban cumplir [10].

Los residuos de la producción porcina potencialmente valorizables deben verse como recursos a gestionar, en lugar de contaminantes a eliminar. Las deyecciones deben considerarse un subproducto de la producción animal y ser tratadas adecuadamente para convertirlas en fuente de recursos. Esta gestión depende de condicionantes locales, tales como la accesibilidad a los cultivos, los costos de transporte o los precios de los fertilizantes minerales [11]- [16].

A. Estimación de la producción de purín en el Integral Porcino No 1.

Los principales factores que influyen sobre la cantidad de purín producido son la cantidad de cerdos en la granja y la distribución por tamaño de dicha población. [17]

En la tabla 1 se puede apreciar la cantidad promedio de animales estratificada por distintas categorías que durante el año 2010 estuvieron en el Integral 1.

La estimación o medición del flujo de purines para el diseño de los sistemas de tratamiento en las explotaciones porcinas o la evaluación de alternativas de uso de los residuales se debe realizar para un día común de actividad, estableciendo los flujos máximo y mínimos. [18]

La estimación del flujo de purines que produce la masa porcina en el Integral I se realizará en base al promedio de animales por cada categoría entre los doce meses del año 2010, esta será la población diaria que se utilizará como base de cálculo y se muestra en la tabla 1.

TABLA 1. BASE DE CÁLCULO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EMISIÓN DE PURÍN. [19]-[26]

Categoría	Número de animales día	Peso total, t	Estiércol kg/(cabeza-día)
Verraco	64	12	7,4
Reproductora	986	158	6,3
Cría	1742	12	0,3
Lechonas	143	6	2.2
Cochinatos	12	1	5
Atas	63	8	5
Atas desarrollo	169	20	5
Pre-cebas	1241	47	1,22

SOURCE:

La orina representa aproximadamente el 45% de la excreta y las heces el 55 %. El contenido de humedad de la excreta esta alrededor del 88 % el contenido de materia seca es del 12%. Cerca del 90 % de los sólidos se excretan en las heces y la orina contiene el 10% de los sólidos [27]-[30].

La densidad de la excreta fresca es ligeramente menor de 1,0 kg/l (aunque son comunes los valores ligeramente superiores a 1,0). El total de los sólidos tiene una densidad baja, de 0,84 kg/l. La excreta porcina contiene sólidos que flotan y sólidos que se sedimentan, además de sólidos en suspensión [16]. En el presente trabajo se adoptará la densidad de la excreta como 0,84 kg/l y el orine como 1 kg/l.

En la tabla 2 se pueden apreciar los resultados de la estimación de la emisión de purín en el Integral No I.

TABLA 2. ESTIMACIÓN DE LA EMISIÓN DE PURÍN EN EL INTEGRAL NO I.

Categoría	Purín, kg/día	Orina, l/día	Heces	
			l/día	kg/día
Verraco	473	213	260	218
Reproductora	6211	2795	3416	2869
Cría	522	235	287	241
Lechonas	314	141	173,	145
Cochinatos	60	27	33,	27
Atas	315	141	173	145
Atas desarrollo	845	380	464	390
Precebas	1514	681	832	699
Total	10 256	4615	5641	4738

SOURCE:

B. Mediciones del flujo de agua de limpieza.

Es evidente que la principal fuente de incorporación de agua a la corriente de efluente del integral porcino es el proceso de limpieza de los corrales, que en este caso se realiza a través de mangueras convenientemente situadas en las naves, en la figura 1 se puede apreciar su realización. El objeto fundamental de este proceso es eliminar las heces acumuladas ya que la mayor parte del orine fluye directamente hacia el sistema de recolección según los cerdos lo emiten.

La limpieza la realizan dos o tres operarios por nave y el tiempo estimado de realización es del orden de una hora diaria, los operarios alternan las mangueras según la zona de la nave que estén limpiando.

El agua mezclada con las heces se recoge en los colectoras situados a ambos lados de la nave que lo conducen hacia el sistema de recolección que termina en las lagunas para el tratamiento final de los efluentes.

La medición del flujo de agua de limpieza se realizó en todas las naves del integral en cinco días hábiles. Se dio seguimiento al proceso de limpieza y se midió el tiempo utilización de cada manguera mediante un cronómetro y el flujo correspondiente mediante un recipiente graduado.

Para la estimación de gasto de agua en la limpieza de las naves se trabajó con los valores promedio del tiempo de uso de las mangueras cada nave y del flujo promedio de agua por ellas, determinándose el

agua utilizada como promedio en cada operación de limpieza por cada nave.

En la tabla 3 se muestran los estimados de consumo de agua de limpieza por cada categoría de nave y el volumen total estimado de agua utilizada en limpieza diariamente.

TABLA 3. ESTIMADO DEL VOLUMEN DE AGUA UTILIZADA EN LA LIMPIEZA DE LAS NAVES.

Categoría	Consumo de agua de limpieza, l/día	Cantidad de animales	Gasto de agua por animal l/animal día
Maternidad	76 434	1 960	39.0
Reproducción	149 920	833	180.0
Preceba	205 543	1 628	126.3
Total	431 897	4 421	97.7

SOURCE:

De la tabla se puede concluir que el consumo de agua en la limpieza es muy superior a la norma de consumo de 25 litros animal/día para animales de 90kg de peso, según el Manual de Procedimientos Técnicos para la Crianza Porcina, 2008. La situación real es peor aún al no considerarse en el agua de consumo de los cerdos.

C. Medición de la emisión de efluentes líquidos.

Para la medición del flujo de la corriente de residuales líquidos se utilizó el método descrito en la figura 5 del capítulo I, pero adaptado a canales cerrados.

El emisario final del Integral No1 está construido con tubos de concreto de 30 pulgadas de diámetro (762 mm), en la figura 2 se muestra el interior del emisario en una foto tomada a través de uno de los registros abiertos. El emisario tiene registros abiertos cada 30 metros.

La medición del flujo del emisario final se realizó en los mismos cinco días en que se midió el consumo de agua de limpieza. La medición consistió en arrojar un flotante en un registro y medir el tiempo en llegar al registro consecutivo y la altura de la corriente dentro del emisario, en la figura 4 se puede apreciar el momento de introducir el flotante.

Las mediciones de la altura del efluente en el emisario se replicaron 6 veces a intervalos de 10 minutos en los horarios comprendidos entre las 9 y 10 h; 11 y 12 h; 13 y 14 h y entre las 15 y 16 horas y en los cinco días en que se realizó el trabajo de campo en correspondencia con lo recomendado por [31].

En la tabla 10 se muestran los resultados de las mediciones de flujo horario en el emisario de salida y en el anexo III se pueden apreciar los resultados de las mediciones.

TABLA 4. RESULTADOS DE LAS MEDICIONES DE FLUJO EN EL EMISOR DE SALIDA.

Hora	Flujo medio, m ³ /h
9 a 10	68.12
11 a 12	56.50
14 a 15	18.68
16 a 17	7.50

SOURCE:

En la tabla se puede apreciar que el mayor flujo se produce en la mañana durante las operaciones de limpieza, lo que se corrobora también en la figura 1 en la que se grafican los resultados medios de las mediciones del flujo en cada hora en los cinco días investigados.

El flujo medio de 8 a las 13 horas es de 62.3 m³/h que es aproximadamente el horario de limpieza, por lo que el volumen total estimado de la emisión de efluente líquido en este horario sería de 437 m³, ligeramente mayor que el resultado de la medición del consumo de agua en la limpieza, de haber sido posible realizar con mayor precisión y en todas las horas la medición el resultado hubiera sido algo mayor aún si se considera que en la medición de las 14 horas aún está fluyendo parte del agua utilizada en la limpieza, el purín producido por los animales, las pérdidas en los sistemas de agua para beber, las fugas en las mangueras de limpieza y el agua de usos social que se utiliza en la cocina y en los baños del personal.

El flujo promedio de las 14 a 18 horas es de 12,4 m³/h por lo que en esas horas se puede estimar el volumen del efluente vertido en 60 m³ y considerando en la noche un flujo medio estimado como la mitad de la medición de las 17 horas el volumen de agua en la noche madrugada sería de 45 m³.

La estimación del volumen de residuales diarios a partir de la medición del flujo en el emisario de salida es del orden de los 542 m³/día de los que 431 m³ se incorporan como resultado de la limpieza de los corrales y el resto como resultado de salideros, pérdidas del agua de beber, consumo social y el orine de los animales.

Aunque estas estimaciones son resultado de mediciones realizadas con un alto nivel de incertidumbre como consecuencia de los métodos rústicos utilizados, en la literatura especializada se señala reiteradamente que es mejor una aproximación como esta que no disponer de datos.

Las mediciones realizadas en el emisario final ratifican el resultado obtenido de la medición del agua utilizada en la limpieza acerca del sobre consumo de agua que se produce en esta instalación. Según las mediciones y estimaciones realizadas en el emisario final el consumo de agua por animal está en el orden de los 128 l/animal día, seis veces su-

perior a la norma de 25 l/animal día e incluso al estimado realizado por [32]- [36] para este método de limpieza predominante en Cuba, de 60 a 80 litros día por animal de 100 kg de peso.

Este sobreconsumo de agua es resultado en primer lugar del hecho de que el combinado porcino no pague el agua, esto produce la total despreocupación tanto de los directivos como de los operarios acerca de su consumo, un desconocimiento total sobre el gasto de agua y más aún sobre el volumen del efluente líquido ignorándose totalmente el costo energético del agua y los nefastos resultados ambientales que trae sobrecargar los sistemas para el tratamiento de residuales.

D. Estimación de las potencialidades de producir biogás.

El tratamiento aeróbico en un biodigestor para producir biogás es uno de los tratamientos más recomendados para los efluentes de las granjas porcinas.

Sobre las potencialidades del Integral 1 para producir biogás se han realizado varios estudios, particularmente [37] realizaron la evaluación de factibilidad para la instalación de un biodigestor de 55 m³ de capacidad que trabajaría con carga libre e ininterrumpida mientras transcurre la limpieza de las naves, sin previa elaboración de la mezcla. Su capacidad de producción sería del orden de los 18 m³ de biogás día y el costo de la inversión estaría en el orden de los 71 000 pesos asegurando las necesidades para la cocción de alimentos de los trabajadores y calentamiento de agua requerida en el proceso productivo. [38]

Otra variante más ambiciosa evaluada fue la de construir dos tanque de 90 m³ de capacidad que permitirían una producción de 60 m³ de biogás día, que excede la demanda del Integral I y debe buscársele destino, la inversión requerida en este caso está en el orden de los 100 000 pesos y se amortiza en menos de un año por el ahorro en la leña utilizada para la cocción de alimentos.

El volumen requerido para procesar el nivel de vertimiento actual estaría entre 4300 y 8600 m³, como ya se señaló este nivel de vertimiento es sobredimensionado por el derroche de agua, si se aplicaran estrategias de ahorro de agua y la instalación se aproximara a las normativas para el consumo de agua, este volumen se reduciría notablemente y estaría en el orden de los 2200 m³ requeridos,

Teniendo en cuenta que aproximadamente el 90 % de los sólidos se excretan en las heces y solo el 10 % en la orina [39] se puede realizar una estimación del potencial de producción de biogás si se recogen las heces antes de limpiar y se utilizan mezcladas con agua para la carga del biodigestor. Esto tendría además la ventaja de reducir notablemente la demanda de agua para la limpieza de los corrales,

La emisión de sólidos totales es de 498 kg por día, de los que 448 se encuentran en las excretas, con los que se podría obtener hasta 112 m³ de biogás por día y el volumen requerido en los biodigestores sería mucho menor.

La emisión de excretas es de 5641 litros por día, logrando una recolección del 90 % la carga diaria del biodigestor sería de 5 m³ de excretas y 15 m³ de agua y el volumen requerido en los depósitos estaría entre 240 y 500 m³, mucho menor que el requerido para la carga directa de la corriente efluente.

Esta opción tiene el inconveniente de que se requiere un mecanismo eficaz para la recolección de la excreta, que generalmente consiste el barrido de los corrales hacia las canales colectoras de donde el agua de lavado que posteriormente se aplique las llevara hacia trampas colectoras donde quedarán retenidas para su posterior recolección y traslado a la zona de preparación de la carga de reactor.

Otra importante desventaja de la revalorización de la excreta porcina a través de la producción de biogás lo constituye la infraestructura logística requerida para su aprovechamiento en gran escala a nivel doméstico y de aprovechamiento interno en el integral, que solo tiene capacidad para consumir.

Por esta causa en los países desarrollados se procura que el aprovechamiento final del biogás sea en la producción de energía eléctrica

Este tipo de instalación generalmente no tiene rendimiento económico ya que la electricidad producida no cubre la amortización de la alta inversión que requiere y de los costos de operación (Angulo, 2012).

E. Estimación del potencial de la utilización del purín como abono orgánico.

Las excretas de cerdo constituyen una excelente fuente de nutrientes para el desarrollo de las plantas, en forma de abono orgánico. Son un recurso valioso que puede ser reutilizado en las explotaciones aplicándolo al suelo durante los períodos de cultivo, con el método que más se adapte a las necesidades del productor, en base a las características de la explotación y a las exigencias ambientales. [40]

La aplicación al suelo está definida como la aplicación controlada de los efluentes al suelo con el objeto de alcanzar un tratamiento y remoción de los constituyentes que normalmente transportan estos efluentes, como asimismo, una forma de reutilización de agua y de nutrientes en la producción agrícola. [41]

En este tipo de aplicaciones, el suelo cumple dos funciones, por un lado es el medio receptor de los efluentes evitando de esta manera el vertido a otros medios, y a la vez, actúa como agente activo ya que en la superficie como en su interior se producen procesos de degradación, eliminando nutrientes, materia orgánica, microorganismos y reteniendo otros componentes como metales pesados.

En la tabla 5 se puede estimar la emisión de nutrientes en el purín por día de operaciones en el Integral 1.

TABLA 5. ESTIMACIÓN DE LA EMISIÓN DE NUTRIENTES EN EL PURÍN. [42]

Etapa animal	Nitrógeno (kg/día)	Fósforo (kg/día)	Potasio (kg/día)
Verraco	2.6	1.9	1.9
Reproductora	29.6	19.7	19.7
Cría	17.4	17.4	17.4
Lechonas	2.9	2.1	2.1
Cochinatos	0.2	0.2	0.2
Atas	1.6	1.3	1.3
Atas desarrollo	4.2	3.4	3.4
Pre-cebas	24.8	18.6	18.6
Total	83.3	64.6	64.6

SOURCE:

El potencial máximo de aportación de nutrientes por el Integral I estaría en el orden de las 30 toneladas al año de Nitrógeno y 23 de Fósforo y Potasio respectivamente.

En las condiciones del Integral No 1 y su zona circundante existen varios inconvenientes que obstaculizan en gran medida la revalorización del purín mediante la aplicación directa al suelo.

En la figura 8 se puede apreciar la aplicación de purín de manera directa al suelo en España donde se producen 45 millones de toneladas anuales de purines, que equivalen a 500.000 toneladas anuales de nutrientes agrícolas, un estimado del 20 % del total de fertilizantes utilizados anualmente en ese país. [43] La creación de la infraestructura logística para este tipo de aplicación requeriría inversiones cuantiosas.

VI. CONCLUSIONES

El consumo de agua en las operaciones de limpieza es de 128 l/animal día, lo que quintuplica la norma de consumo de 25 l/animal día.

El volumen de residuales diarios a partir de la medición del flujo de salida es del orden de los 542 m³/día, sobredimensionado por el derroche de agua lo que dificulta su tratamiento y sobreexplota las instalaciones.

Para aprovechar todo el efluente de la granja en producir biogás se necesitaría un volumen en los biodigestores de 4300 y 8600 m³ con el nivel de vertimiento actual y del orden de los 2200 m³ si se

cumple la norma de consumo de agua, y además una inversión de más de 3 millones de €, pues sería imprescindible una instalación para la producción de energía eléctrica.

La Unidad Integral 1 potencialmente podría aportar anualmente 30 toneladas al año de Nitrógeno y 23 de Fósforo y Potasio respectivamente para la aplicación como abono orgánico. La aplicación directa al campo requiere grandes inversiones en el equipamiento para la aplicación y transporte del purín, además de establecer controles rigurosos en la planificación y aplicación. La aplicación como compost es más viable e incluso la elaboración final la puede hacer el cliente.

La Integral 1 potencialmente podría producir aproximadamente 470 kg de excreta diarios con un contenido estimado de 52 kg de masa seca, 52 kg de proteína cruda y 53 kg de fibra cruda con un contenido energético de 82 Mcal. Aunque tecnológicamente no entraña gran complejidad desde el punto de vista sanitario puede ser complicado y sobre todo para los productores.

La separación de los sólidos representaría una reducción de más del 20 % de la carga contaminante que hoy se arroja a las lagunas.

REFERENCIAS

- [1] Atiyeh, R. M., Arancon, N., Edwards, C. A., & Metzger, J. D. (2000). Influence of earthworm-processed pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoes. *Bioresource Technology*, 75(3), 175-180.
- [2] C. Saavedra Sueldo, S. Urrutia, D. Paravié, C. Rohvein, and G. Corres, "Una propuesta metodológica para la determinación de capacidades estratégicas en pymes industriales," INGE CUC, vol. 10, no. 2, pp. 43-50, 2014.
- [3] Makara, A., & Kowalski, Z. (2015). Pig manure treatment and purification by filtration. *Journal of environmental management*, 161, 317-324.
- [4] Atiyeh, R. M., Edwards, C. A., Subler, S., & Metzger, J. D. (2001). Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth. *Bioresource technology*, 78(1), 11-20.
- [5] J. C. Cabarcas Reyes, M. J. Wilches-Arango, A. F. Chaves, and S. M. Sanmiguel, "Análisis y mejoramiento de la cadena de valor de la línea de producción de láminas de una empresa del sector metalmeccánico mediante la aplicación de herramientas de manufactura Lean," INGE CUC, vol. 7, no. 1, pp. 27-42, 2011.
- [6] Eras, J. J. C., Varela, D. C., Pérez, G. D. H., Gutiérrez, A. S., Lorenzo, D. G., Vandecasteele, C., & Hens, L. (2014). Comparative study of the urban quality of life in Cuban first-level cities from an objective dimension. *Environment, development and sustainability*, 16(1), 195-215.
- [7] Huang, G. F., Wong, J. W. C., Wu, Q. T., & Nagar, B. B. (2004). Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust. *Waste management*, 24(8), 805-813.
- [8] M. E. Spina, C. Rohvein, S. Urrutia, G. Roark, D. Paravié, and G. Corres, "Aplicación del modelo SCOR en pymes metalmeccánicas de Olavarría," INGE CUC, vol. 12, no. 2, pp. 50-57, 2016.
- [9] Hsu, J. H., & Lo, S. L. (1999). Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformations during composting of pig manure. *Environmental Pollution*, 104(2), 189-196.
- [10] Tiquia, S. M., Tam, N. F. Y., & Hodgkiss, I. J. (1996). Effects of composting on phytotoxicity of spent pig-manure sawdust litter. *Environmental Pollution*, 93(3), 249-256.
- [11] Astals, S., Nolla-Ardèvol, V., & Mata-Alvarez, J. (2012). Anaerobic co-digestion of pig manure and crude glycerol at mesophilic conditions: Biogas and digestate. *Bioresource Technology*, 110, 63-70.
- [12] Gutiérrez, A. S., Eras, J. J. C., Billen, P., & Vandecasteele, C. (2016). Environmental assessment of pig production in Cienfuegos, Cuba: alternatives for manure management. *Journal of Cleaner Production*, 112, 2518-2528.
- [13] C. E. Gómez Montoya, L. E. Sepúlveda Rodríguez, and C. A. Candela Uribe, "Servidor proxy caché: comprensión y asimilación tecnológica," INGE CUC, vol. 8, no. 1, pp. 149-162, 2012.
- [14] Sengeløv, G., Agerse, Y., Halling-Sørensen, B., Baloda, S. B., Andersen, J. S., & Jensen, L. B. (2003). Bacterial antibiotic resistance levels in Danish farmland as a result of treatment with pig manure slurry. *Environment international*, 28(7), 587-595.
- [15] Angelidaki, I., & Ellegaard, L. (2003). Codigestion of manure and organic wastes in centralized biogas plants. *Applied biochemistry and biotechnology*, 109(1-3), 95.
- [16] Eras, J. J. C., Santos, V. S., Gutiérrez, A. S., Plasencia, M. Á. G., Haeseldonckx, D., & Vandecasteele, C. (2016). Tools to improve forecasting and control of the electricity consumption in hotels. *Journal of Cleaner Production*, 137, 803-812.
- [17] Amon, T., Amon, B., Kryvoruchko, V., Bodiroza, V., Pötsch, E., & Zollitsch, W. (2006, July). Optimising methane yield from anaerobic digestion of manure: effects of dairy systems and of glycerine supplementation. In *International Congress Series (Vol. 1293, pp. 217-220)*. Elsevier.
- [18] Ferrer, I., Gamiz, M., Almeida, M., & Ruiz, A. (2009). Pilot project of biogas production from pig manure and urine mixture at ambient temperature in Ventanilla (Lima, Peru). *Waste Management*, 29(1), 168-173.
- [19] Xie, S., Lawlor, P. G., Frost, J. P., Hu, Z., & Zhan, X. (2011). Effect of pig manure to grass silage ratio on methane production in batch anaerobic co-digestion of concentrated pig manure and grass silage. *Bioresource Technology*, 102(10), 5728-5733.
- [20] Suárez, O. J. (2016). Aproximación al origen de la noción de objeto de aprendizaje: revisión histórico - bibliográfica. INGE CUC, 12(2), 26-40.
- [21] Páramo Bermúdez, G., & Benítez Lozano, A. (2013). Deformación incremental de lámina sin matriz (DIELESS) como alternativa viable a procesos de conformación de lámina convencionales. INGE CUC, 9(1), 115-128.
- [22] Tiquia, S. M., Tam, N. F. Y., & Hodgkiss, I. J. (1996). Microbial activities during composting of spent pig-manure sawdust litter at different moisture contents. *Bioresource Technology*, 55(3), 201-206.
- [23] Murto, M., Björnsson, L., & Mattiasson, B. (2004). Impact of food industrial waste on anaerobic co-digestion of sewage sludge and pig manure. *Journal of environmental management*, 70(2), 101-107.
- [24] Chae, K. J., Jang, A. M., Yim, S. K., & Kim, I. S. (2008). The effects of digestion temperature and temperature shock on the biogas yields from the mesophilic anaerobic digestion of swine manure. *Bioresource Technology*, 99(1), 1-6.
- [25] Carrère, H., Sialve, B., & Bernet, N. (2009). Improving pig manure conversion into biogas by thermal and thermo-chemical pretreatments. *Bioresource Technology*, 100(15), 3690-3694.
- [26] Hens, L., Cabello-Eras, J. J., Sagastume-Gutiérrez, A., García-Lorenzo, D., Cogollos-Martínez, J. B., & Vandecasteele, C. (2017). University-industry interaction on cleaner production. The case of the Cleaner Production Center at the University of Cienfuegos in Cuba, a country in transition. *Journal of Cleaner Production*, 142, 63-68.

- [27] Ye, J., Li, D., Sun, Y., Wang, G., Yuan, Z., Zhen, F., & Wang, Y. (2013). Improved biogas production from rice straw by co-digestion with kitchen waste and pig manure. *Waste Management*, 33(12), 2653-2658.
- [28] Wu, X., Yao, W., Zhu, J., & Miller, C. (2010). Biogas and CH₄ productivity by co-digesting swine manure with three crop residues as an external carbon source. *Biore-source technology*, 101(11), 4042-4047.
- [29] Møller, H. B., Sommer, S. G., & Ahring, B. K. (2004). Methane productivity of manure, straw and solid fractions of manure. *Biomass and bioenergy*, 26(5), 485-495.
- [30] Thu, C. T. T., Cuong, P. H., Van Chao, N., Trach, N. X., & Sommer, S. G. (2012). Manure management practices on biogas and non-biogas pig farms in developing countries—using livestock farms in Vietnam as an example. *Journal of Cleaner Production*, 27, 64-71.
- [31] Hansen, K. H., Angelidaki, I., & Ahring, B. K. (1998). Anaerobic digestion of swine manure: inhibition by ammonia. *Water research*, 32(1), 5-12.
- [32] Frandsen, T. Q., Rodhe, L., Baky, A., Edström, M., Sipilä, I., Petersen, S. L., & Tybirk, K. (2011). Best available technologies for pig manure biogas plants in the Baltic Sea Region.
- [33] Cabello, J. J., Sagastume, A., López-Bastida, E., Vandecasteele, C., & Hens, L. (2016). Water Footprint from Growing Potato Crops in Cuba. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(1), 107-116.
- [34] Panichnumsin, P., Nopharatana, A., Ahring, B., & Chairasert, P. (2010). Production of methane by co-digestion of cassava pulp with various concentrations of pig manure. *Biomass and Bioenergy*, 34(8), 1117-1124.
- [35] Karakashev, D., Schmidt, J. E., & Angelidaki, I. (2008). Innovative process scheme for removal of organic matter, phosphorus and nitrogen from pig manure. *Water Research*, 42(15), 4083-4090.
- [36] Saeys, W., Mouazen, A. M., & Ramon, H. (2005). Potential for onsite and online analysis of pig manure using visible and near infrared reflectance spectroscopy. *Biosystems engineering*, 91(4), 393-402.
- [37] Dominguez, J., & Edwards, C. A. (1997). Effects of stocking rate and moisture content on the growth and maturation of *Eisenia andrei* (Oligochaeta) in pig manure. *Soil biology and biochemistry*, 29(3), 743-746.
- [38] Velthof, G. L., Nelemans, J. A., Oenema, O., & Kuikman, P. J. (2005). Gaseous nitrogen and carbon losses from pig manure derived from different diets. *Journal of Environmental Quality*, 34(2), 698-706.
- [39] Kerr, B. J., Ziemer, C. J., Trabue, S. L., Crouse, J. D., & Parkin, T. B. (2006). Manure composition of swine as affected by dietary protein and cellulose concentrations. *Journal of animal science*, 84(6), 1584-1592.
- [40] Tiquia, S. M., Tam, N. F. Y., & Hodgkiss, I. J. (1996). Effects of composting on phytotoxicity of spent pig-manure sawdust litter. *Environmental Pollution*, 93(3), 249-256.
- [41] Eras, J. J. C., Gutiérrez, A. S., Lorenzo, D. G., Martínez, J. B. C., Hens, L., & Vandecasteele, C. (2015). Bridging universities and industry through cleaner production activities. Experiences from the Cleaner Production Center at the University of Cienfuegos, Cuba. *Journal of Cleaner Production*, 108, 873-882.
- [42] Miller, D. N., & Varel, V. H. (2003). Swine manure composition affects the biochemical origins, composition, and accumulation of odorous compounds. *Journal of animal science*, 81(9), 2131-2138.
- [43] Dourmad, J. Y., & Jondreville, C. (2007). Impact of nutrition on nitrogen, phosphorus, Cu and Zn in pig manure, and on emissions of ammonia and odours. *Livestock Science*, 112(3), 192-198.