



EDUCACIÓN AMBIENTAL: TRATAMIENTO DE EXCRETAS DE SUINOS EN EL CENTRO NACIONAL DE REHABILITACIÓN (CNR).

Nombre de los Autores: Bach. Javier Marrero Cruz ⁽¹⁾, Ing. Gimena Bentos Pereira Eguren ⁽¹⁾, Dra. Ing. Alice Elizabeth González ⁽¹⁾, Insp. Gustavo Belarra ⁽²⁾

(1) Departamento de Ingeniería Ambiental, Instituto de Mecánica de Fluidos e Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Udelar.

(2) Centro Nacional de Rehabilitación, Ministerio del Interior.

Dirección ⁽¹⁾:

Calle: Julio Herrera y Reissig 565

Ciudad: Montevideo

Uruguay

CP: 11300

Tel: 598 (2) 711 3386 int 131

Fax: 598 (2) 711 5277

e-mail: jmarrero@fing.edu.uy

RESUMEN

La Facultad de Ingeniería, Universidad de la República Oriental del Uruguay, a través del Fondo Central de Extensión de la Facultad de Ingeniería, se encuentra realizando un proyecto en conjunto con el Centro Nacional de Rehabilitación (CNR) cuyos objetivos son: la búsqueda de alternativas de tratamiento y disposición final de excretas de suinos y la mejora en la gestión del consumo de agua potable. En el presente artículo será desarrollado solamente el primer objetivo.

La producción de suinos dentro del CNR es una de las actividades desarrolladas en el marco de la política de formación laboral de los reclusos.

En el proyecto se busca determinar la alternativa que sea más adecuada desde el punto de vista costo-eficiente y que se ajuste al contexto. Luego de analizar diferentes alternativas, se plantea la construcción de biodigestores de polietileno tubulares. Se consideran estos sistemas como una alternativa apropiada para pequeños productores con espacio físico limitado, con la ventaja de la producción de biofertilizante y biogás, productos necesarios para actividades que se realizan dentro del CNR tales como jardinería, huerta y la propia producción de suinos.

En el desarrollo y la implementación del proyecto se involucra a los funcionarios del CNR, los internos que trabajan en el establecimiento de cría de suinos y a sus propietarios. Se instruye a los mismos en el funcionamiento básico de un biodigestor, sus limitaciones y beneficios. Se pretende además que, luego de finalizado este proyecto, la población involucrada se responsabilice de la operación de los biodigestores.

Este proyecto tiene una componente de ingeniería ambiental y una importante componente educacional, dirigida a un sector de la población que difícilmente accede a una formación de estas características.



INTRODUCCIÓN

El presente proyecto se concreta luego de obtener financiación mediante concurso, a través del Fondo Central de Extensión de la Facultad de Ingeniería. Este tipo de proyectos tiene como objetivo diferenciador el intercambio directo de saberes entre la Universidad y el medio. El equipo de trabajo cuenta con docentes de Facultad de Ingeniería del área hidráulica ambiental y funcionarios del CNR del área social y técnica (sociólogos, psicólogos y educadores de diversas áreas).

El CNR trabaja bajo un nuevo modelo de rehabilitación de jóvenes infractores; se desarrollan en él actividades educativas y sociales de rehabilitación que permiten una reinserción social efectiva, propendan a la disminución de la reincidencia y, por ende, de la violencia.

En el recinto viven actualmente 110 internos y trabajan 62 funcionarios entre técnicos, administrativos, personal de salud y de seguridad.

Los infractores que ingresan al CNR son varones entre 18 y 29 años, provenientes del sistema penitenciario nacional. Deben tener un informe técnico favorable respecto del ingreso y voluntad expresa de participar de un proceso de preselección, diagnóstico y construcción de un plan individual de trabajo.

Cada interno participa de un programa individual de preparación para una adecuada reinserción en la sociedad, que consiste en tres componentes de intervención interconectados: componente educativo, componente grupal y proyecto de egreso. El objetivo del programa es contribuir directamente al desarrollo progresivo de competencias y habilidades en la esfera conductual, cognitiva y psicosocial, aumentando así el potencial de recursos personales que habiliten al proceso de integración social del interno en el egreso.

Dentro del patio del penal existe un pequeño criadero de cerdos, el cual forma parte de la política de formación laboral de los reclusos. El estiércol generado actualmente es depositado sin ningún tratamiento en el terreno, lo cual implica un importante riesgo sanitario, ya que fomenta la reproducción de vectores como moscas y ratas, genera malos olores y lixiviados con un alto contenido de patógenos y nutrientes. El sitio donde se encuentra el criadero de cerdos es un recinto de dimensiones reducidas. A su vez, la población del penal reside permanentemente en el predio.

A través de este proyecto se diseña un sistema de tratamiento de las excretas generadas, y un manual con el fin de instruir a los reclusos en la construcción y operación de dicho sistema. De esta manera se mejorarán las condiciones sanitarias del patio del penal y de los operarios que trabajan en el criadero de cerdos.

Este proyecto busca la integración de las tres funciones de la Universidad: extensión, investigación y enseñanza. *Extensión* en el sentido de brindar y obtener conocimiento en forma integral, no sólo en lo que refiere al proyecto, sino también en el aspecto vivencial desde una y otra parte. *Investigación* en el sentido de estudiar las condiciones sanitarias del efluente sobrenadante de acuerdo a las características particulares del caso para ser empleado como biofertilizante. *Enseñanza* planteada para alcanzar la comprensión del proyecto y del contexto en donde se desarrolla por parte de todos los involucrados.

Se busca que los reclusos tomen contacto con conocimientos sanitarios, y que los mismos puedan ser utilizados en futuros emprendimientos luego de egresar del penal.



OBJETIVOS Y METAS

Los objetivos del proyecto son los siguientes:

1. *Análisis de alternativas que brinde una solución al problema sanitario debido a excretas de suinos en el establecimiento instalado en el CNR.*
2. *Diseño de la alternativa más adecuada al CNR.*
3. *Incorporación de pautas de educación ambiental vinculada al proceso de construcción, operación y mantenimiento del biodigestor como un aporte a la rehabilitación y educación de los internos y personal del CNR.*

METODOLOGÍA

Al comienzo del proyecto se efectúa una recopilación de información vinculada al tratamiento y disposición final de las excretas generadas en la cría de cerdos. Para recabar experiencias anteriores de sistemas de tratamientos similares al que se proyecta y las características realizan entrevistas con: funcionarios del CNR vinculados a la actividad laboral, los operarios y el propietario del recinto, así como a dos Ingenieros agrónomos con experiencia en la materia.



Figura 1 – Centro Nacional de Rehabilitación (CNR).

Se evalúan las posibles alternativas de tratamiento en función de los siguientes aspectos:

- Características del entorno
- Cantidad de suinos media, variación interanual y proyección de población
- Características de la alimentación de los suinos.
- Cantidad y calidad de las excretas generadas.
- Temperatura ambiente.
- Aspectos sanitarios.
- Normativa ambiental vigente.
- Factores socioeconómicos.



Dentro de las posibles alternativas se analizan tratamientos secundarios aeróbicos y anaeróbicos. Se evalúan sus ventajas y desventajas, así como su adecuación al entorno social y geográfico.

Luego se elige y se diseña la alternativa más adecuada, y un manual para su construcción, operación y mantenimiento.

Finalmente, se realiza un costeo pormenorizado de materiales y mano de obra que se requieren para la construcción del sistema de tratamiento elegido.

RESULTADOS

- Caracterización de la producción de suinos.

En el criadero de suinos del CNR se identifican dos tipos de actividades de producción:

1. Actividad de “cría de lechones”: se mantiene un grupo estable de cerdos adultos compuesto principalmente por cerdas en gestación y lactancia de lechones, unos pocos padrillos para inseminar a las mismas. Las crías o lechones se comercializan a la edad de dos meses, cuando llegan a pesar aproximadamente 20 kg en pie.
2. Actividad de “engorde”: consiste en engordar durante más tiempo a los lechones hasta alcanzar un peso en pie del orden de los 70 kg. Esto implica tener más cerdos en engorde y menos madres en gestación y lactancia.

Se determinó que la actividad principal durante el año es la de “cría de lechones”, la población media está compuesta por: 55 suinos adultos (33 madres adultas en período de gestación o lactancia, 19 futuras madres y 3 padrillos) y 144 lechones.

De acuerdo a lo consultado a los operarios del criadero el estiércol recolectado diariamente (sin incluir orina), es en promedio de 188 kg, valor muy similar a una estimación teórica realizada según bibliografía.

Terreno	Etapa Animal	Cantidad de cerdos	S.T. (kg/día/cerdo)	S.V.T (kg/día/cerdo)	S.T. (kg/día)	S.V.T (kg/día)	Estiércol (kg/día)	% recolectado	Estiércol recol. (kg/día)
Corral techado Suelo Impermeable	Cría	144	0,09	0,08	13,0	11,5	64,8	90	58,3
	Gestación	17	0,37	0,30	6,3	5,1	31,5	90	28,3
	Lactancia	16	1,36	1,09	21,8	17,4	108,8	90	97,9
	Padrillo	2	0,45	0,38	0,9	0,8	4,5	90	4,1
Corral abierto Permeable	Futuras madres	19	0,37	0,30	7,0	5,7	35,2	20	7,0
	Padrillo	1	0,45	0,38	0,5	0,4	2,3	20	0,5
Total		199			49,4	40,9	247,0		196,1

Tabla 1 - Estimación del estiércol recolectado por día en el CNR.

- Elección del sistema de tratamiento.

Dadas las características restrictivas del recinto en cuanto al área y el uso para otras actividades se descartó de plano considerar alternativas de tratamiento aeróbico, ya que estos sistemas u ocupan mucha área respecto del terreno disponible o requieren incorporar oxígeno por medio de tecnología de elevado costo y mantenimiento.

Asimismo se ponderó que los sistemas anaeróbicos permiten la generación de biogás y biofertilizante. El biogás generado podría ser empleado para la calefacción de las cunas de lechones, la cocción de los alimentos para los



suinos o algunos alimentos del CNR. El biofertilizante puede emplearse en la jardinería del lugar así como en la huerta existente en el CNR.

Se evaluaron las diferentes alternativas constructivas para el tratamiento anaeróbico para este tipo de excretas. Se opta por la construcción de un biodigestor tubular de polietileno, el cual es compacto, de fácil construcción operación y mantenimiento.

- Parámetros de diseño.

La carga orgánica del biodigestor, está dada en función de la concentración de sólidos volátiles, la cual es un 80% de la concentración de sólidos volátiles en el caso del estiércol de suinos. Según diversos estudios citados el porcentaje de sólidos totales recomendado para este tipo de sistemas es de 6 %. Lo cual representa en promedio una dilución de 3 partes de agua por 1 parte de estiércol en volumen. Para lograr esta dilución se pueden emplear las aguas del lavado del establo con suelo permeable.

Los microorganismos presentes en el biodigestor tienen crecimientos de población y ritmos metabólicos dentro de rangos definidos. Dependiendo de la temperatura a la que se desarrollan en forma óptima, las bacterias existentes son psicofílicas, mesofílicas o termofílicas.

Bacterias	Mínimo (°C)	Óptimo (°C)	Máximo (°C)	Tiempo de fermentación
Psicofílicas	4-10	15-18	25-30	Mayor a 100 días
Mesofílicas	15-20	28-33	35-45	30-60 días
Termofílicas	25-45	50-60	75-80	10-15 días

Tabla 2 - Bacterias involucradas en la digestión anaeróbica

No sólo es importante el valor de la temperatura de trabajo sino también la variación de la misma. La temperatura puede variar durante el ingreso de material, durante el ciclo día – noche, en las diferentes estaciones, etc.

En general las variaciones rápidas mayores en más o menos de 2°C influyen negativamente en la estabilidad del biodigestor y en la producción del biogás.

Para este tipo de sistemas enterrados, se ha estudiado que la temperatura media interna es de 3 °C a 5 °C superior a la temperatura ambiente y amortiguan significativamente las variaciones bruscas de la temperatura ambiente.

En Uruguay las temperaturas medias extremas son:

- T (media, máxima) = 23°C (VERANO)
- T (media, mínima) = 12.5°C (INVIERNO)

Extrapolando estas temperaturas de acuerdo a los estudios anteriormente presentados, se puede asumir como rango de temperaturas internas para el biodigestor:

- T (media, máxima) = 26°C (VERANO)
- T (media, mínima) = 17°C (INVIERNO)

El tiempo de retención de diseño se determina de tal forma que se garantice un nivel sanitario aceptable del efluente para ser empleado como biofertilizante. El criterio adoptado es el que figura en el artículo 3 del decreto 253/979, donde se plantean las características sanitarias que deberán cumplir las “aguas destinadas al riego de hortalizas o plantas frutícolas u otros cultivos destinados al consumo humano en su forma natural, cuando éstas son



usadas a través de sistemas de riego que provocan el mojado del producto”, las cuales son clasificadas como Clase 2.a.

Para estimar el tiempo de retención hidráulico se emplea el parámetro de Coliformes Fecales, fuertemente vinculado a la aptitud microbiológica y parasitológica del efluente. En ese sentido, en la siguiente tabla se presentan los estándares que debe cumplir el efluente del biodigestor para poder ser clasificado como Clase 2.a:

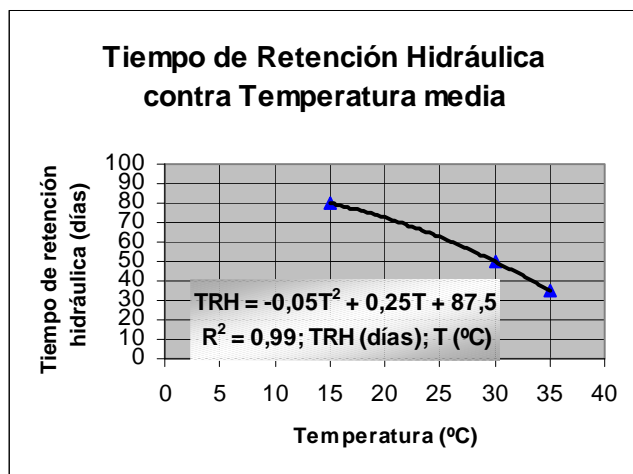
Parámetro	Estándar
COLIFORMES FECALES	No se deberá exceder el límite de 2000 CF/100mL en ninguna de al menos 5 muestras, debiendo la media geométrica de las mismas estar por debajo de 1000 CF/100mL

Tabla 3 – Estándar de calidad para aguas Clase 2.a. para CF

Según la bibliografía consultada, para cumplir con el estándar de coliformes fecales para clase 2.a) del decreto 253/79, la relación entre temperatura interna del biodigestor y el tiempo de retención hidráulico, son para los siguientes casos de:

- 35 días para 35 °C
- 50 días para 30 °C
- 80 días para 15 °C

Estos valores se interpolan con un polinomio de segundo grado, obteniéndose la fórmula presentada en la siguiente ilustración.



**Figura 3 – Relación entre Tiempo de retención hidráulica y temperatura media del biodigestor.
Fuente: elaboración propia.**

A partir de esta fórmula se calcula el Tiempo de Retención Hidráulico para la condición más desfavorable, la más favorable y el promedio.

Temperatura (°C)	TRH (días)
17	77
21.5	70
26	60

Tabla 4 – TRH en función de la Temperatura

Para el diseño, se considera que el biodigestor en la condición más desfavorable de temperatura, puede alcanzar la temperatura media a través de la premezcla de las excretas con agua tibia y con un adecuado aislamiento. En conclusión, se diseña el biodigestor con un Tiempo de Retención Hidráulico de 70 días.

El volumen del digestor se proyecta de 34,1m³, a partir de la siguiente ecuación:

$$V = \left(\frac{C \times R \times (1 + D)}{Y \times \rho_m} \right) \times TRH$$

En la que:

- **C:** es la capacidad de la planta en biogás por día (m³/día)
- **R:** es la relación entre el estiércol húmedo y el estiércol seco (kg/kg)
- **D:** es el peso de agua añadida por cada unidad de peso de estiércol húmedo (kg)
- **TRH:** es el Tiempo de Retención Hidráulico (días)
- **Y:** es el gas producido por unidad de peso de estiércol seco (m³/kg)
- **ρ_m :** es la densidad de la mezcla estiércol-agua (kg/m³)



Ilustración 2.a) Biodigestor de polietileno, con invernadero para mejorar el aislamiento térmico.



Ilustración 2.b) Sistema desarrollado para la calefacción de las cunas de lechones.

Se considera un volumen adicional de un 15% del volumen de diseño para almacenar el biogás generado. A los efectos del proyecto se toma la tasa de producción de biogás para 25 °C a los 25 días 0.063 m³ por kg de excretas frescas. Se verifica que el biogás generado con esta tasa en un día puede ser almacenado en el volumen previsto a tales efectos.



La estabilidad del biodigestor depende, principalmente, de la estabilidad de la temperatura interna y el rango de temperaturas en donde se encuentra el mismo. Por tal motivo se proyecta construir un invernadero que aporte un aislamiento térmico adicional, favoreciendo la estabilidad de la temperatura interna del biodigestor.

CONCLUSIONES

Este proyecto de extensión ha permitido el acceso a los reclusos a una tecnología de fácil aplicación para el tratamiento de excretas de cerdos y su vinculación con la salud y el desarrollo sostenible, aportando elementos técnicos a un sector de la sociedad que difícilmente accede al mismo.

Se diseñó un biodigestor tubular de polietileno de alta resistencia de 22 m de largo y 1.83 m de diámetro, tomando como criterio de diseño principal la mejora del efluente para su aplicación como biofertilizante. El sistema se adapta al contexto y a las condiciones locales de temperatura.

Se estima que con estas características el biodigestor genera anualmente 420 kg de nitrógeno y 4300 m³ de biogás.

Como producto del proyecto se elabora un manual práctico donde se explica, en un lenguaje simple, el funcionamiento, la construcción, la operación y el mantenimiento del biodigestor, aportando conocimientos para la reinserción del recluso en la sociedad.

Se considera que este proyecto más allá de la componente técnica o de ingeniería ha aportado significativamente, desde el punto de vista social, a todos los integrantes del equipo de trabajo.

Este proyecto le aporta tanto a la Universidad como a los estudiantes que en él participan el acercamiento a problemas reales, buscando soluciones técnicamente adecuadas y económicamente realizables según el contexto y la población involucrada.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. BEDRAN LEME GASPAR, R. M. ; “Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais, com ênfase na agregação de valor: un estudio de caso na regio de Toledo” – PR; Disertación presentada en el programa de posgraduación en ingeniería de Santa Catarina, para la obtención de Grado de Master en Ingeniería de Producción. Florianópolis 2003.
2. BOTERO B., R; PRESTON., T; “Biodigestores de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas – Manual para su instalación, operación y utilización” – Edición 1987
3. DA SILVA MONTEIRO, L. W.; et al; 2004; “Manejo ambiental dos dejetos suínos utilizando lagoas de armazenamento e um biodigestor”.
4. DE FÁTIMA SOUZA, C.; et al.; “Potencial de dejetos de suínos como subtrato na biodigestión anaerobia sob efeito de diferentes temperaturas e tempos de retencao hidráulica”. Revista Ceres, 52 (300): 255-265, 2005
5. FONTANA F. E.; “Análisis tecnológico de la generación de biogás”; UNESCO; 1984.
6. KUNZ, A.; et al . II-230 – “Eficiencia de um biodigestor estabilizaçao de dejetos de suínos durante os meses de inverno no oeste de Santa Catarina”. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitaria e Ambiental. 2005.
7. LÉEME, J. C.; “Instalaciones aplicadas a los edificios – Combustibles, Gas, Biogás”; 1985 – I.S.B.N:950-02-5253-9
8. DA SILVA MONTEIRO, L. W.; et al; 2004; “Manejo ambiental dos dejetos suínos utilizando lagoas de armazenamento e um biodigestor”.
9. Ing. Agr. Monteverde, G; Comunicación personal 2007.
10. NUÑEZ S., et al; “Estudio microbiológico y parasitológico de excretas de cerdo sometidas a biodigestión anaeróbica en laboratorio”; Revista: Avances de Medicina Veterinaria, Vol 2, N°1, Enero-Junio 1987.
11. NUÑEZ S., et al; “Determinación química en excretas de cerdo sometidas a biodigestión anaeróbica en laboratorio”; Revista: Avances de Medicina Veterinaria, Vol 2, N°1, Enero-Junio 1987
12. PEDRAZA, G.; et al.; “Evaluación de los biodigestores en geomembrana (PVC) y plástico de invernadero en clima medio para el tratamiento de aguas residuales de origen porcino”. – Centro de Investigación en Sistemas Sostenibles de Producción Agropecuaria (CIPAV), Cali, Colombia - Livestock Research for Rural Development 14 (1). 2002.
13. PERALTA, J. M., et al.; “Recomendaciones Técnicas para la Gestión Ambiental en el Manejo de Purines de la Explotación Porcina”, Ministerio de agricultura de Chile, Servicio Agrícola y Ganadero; 2005.
14. TORRES, M.; et al.; “Un biodigestor de boñigas de cabra calefaccionado con colectores solares”; Laboratorio de Energía Solar, U.N.S.L.
15. YANG, P.Y. & KUROSHIMA, M.; “A simple design and operation for de anaerobic treatment of highly concentrated swine waste in the tropics”. IAWC Vol 32- N° 12- 1995 – Pág. 91