

EVALUACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA DEL TRATAMIENTO ANAERÓBICO DE LOS EFLUENTES DE UN TAMBO DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA

TECHNICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF ANAEROBIC TREATMENT OF EFFLUENTS FROM A DAIRY FARM IN BUENOS AIRES PROVINCE, ARGENTINA

Claudia Dido¹, Franco Mieres¹, Gustavo Rinaldi¹, Patricia Benedetti², Horacio Campaña²

(1) Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Trenque Lauquen, Racedo 298,
Trenque Lauquen, Buenos Aires - Argentina

(2) Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Bahía Blanca, 11 de Abril 461,
Bahía Blanca, Buenos Aires - Argentina
(e-mail: hcampana@frbb.utn.edu.ar)

Recibido: 12/08/2013 - Evaluado: 07/10/2013 - Aceptado: 11/11/2013

RESUMEN

El presente trabajo desarrolla una alternativa de saneamiento a los impactos negativos en el ambiente, causados por la intensificación del sistema de producción y el manejo inadecuado de los residuos de un tambo de 1050 vacas, perteneciente al partido de Trenque Lauquen (Buenos Aires, Argentina). Utilizando la tecnología de digestión anaeróbica, que permite la degradación biológica de la materia orgánica en un ambiente sin oxígeno, se propuso un sistema de tratamiento, que permite la valoración de los subproductos obtenidos a través de la generación de electricidad y biofertilizante. La metodología de trabajo incluyó el análisis de datos preliminares de digestión anaeróbica de estiércol vacuno, caracterización del residuo generado, diseño del sistema de tratamiento y análisis técnico económico del mismo. Este proyecto demuestra la factibilidad de alcanzar el saneamiento del tambo con beneficios energéticos, desarrollando una gestión sustentable de los recursos y el ambiente.

ABSTRACT

This paper develops an alternative sanitation to the negative environmental impacts caused by the intensification of the production system and the inadequate management of waste from a dairy farm with 1050 cows, belonging to Trenque Lauquen, Buenos Aires Province of Argentina. Anaerobic digestion technology allows the biological degradation of organic material in an oxygen free environment and it is proposed to develop a treatment system that allows evaluation of the products obtained through electricity generation and biofertilizer. The working methodology includes an analysis of preliminary data from anaerobic digestion of cattle manure, characterization of the generated waste, the design of the treatment system and a technical economic analysis. This study shows that it is possible to reach the dairy sanitation with energy benefits developing a sustainable resource and environmental management.

Palabras clave: digestión anaeróbica; residuo de tambo; producción de biogás; biofertilizante
Keywords: anaerobic digestion; manure from dairy farm; biogas production; biofertilizer

INTRODUCCIÓN

Actualmente, un gran porcentaje de los tambos del territorio nacional, destinan sus efluentes a través de tratamientos de sistemas de lagunas abiertas y, en menor proporción se utiliza el sistema de lagunas en serie (aeróbicas, facultativas y anaeróbicas) que no produce completamente la transformación de los residuos con el agravante de la generación de emisiones de gases efecto invernadero (GEI). La falta de conciencia en el tema ambiental también es un déficit en esta área, lo cual provoca la creciente contaminación de los recursos naturales (Charlón, 2007).

Es importante tener en cuenta que la mayoría de los tambos no posee instalaciones adecuadas para el correcto tratamiento de estos efluentes (Taverna *et al.*, 2004). Cuando los mismos quedan retenidos en lagunas abiertas sin impermeabilización que se ubican cercanas al tambo, los efluentes pasan por diferentes etapas de descomposición, generando el riesgo de producir la contaminación de las aguas subterráneas, pudiendo afectar muchas veces a la propia perforación que se utiliza como abastecimiento de agua potable en la instalación.

En la mayoría de los casos no se controla ni el tiempo de residencia de los efluentes en las mismas, ni su calidad en la descarga, la que habitualmente se distribuye dentro del mismo predio del establecimiento con fines de riego o de "fertilización", aún sin conocer los niveles de nutrientes que pudiera aportar al sistema ni la capacidad de amortiguación del ecosistema para absorber los mismos.

Los efluentes de tambo generalmente contienen excretas, orina y agua de lavado de las instalaciones, además de restos de leche, detergentes y otros productos químicos utilizados. Debido a ello, la composición del efluente es elevada en sólidos, nutrientes, materia orgánica y microorganismos que son capaces de degradar el medioambiente que reciba esta descarga (cuerpo de agua y/o suelo) (Taverna *et al.*, 2004; Vieytes, 2011).

Algunos de los efectos que surgen de la falta y/o inadecuado manejo de los efluentes de tambo, según Canet *et al.* (2006), en función del medio afectado pueden ser clasificados de la siguiente manera:

- Impacto en la atmósfera: emisión de olores, liberación de gases con efecto invernadero, destrucción de la capa de ozono, llegada de microorganismos mediante bioaerosoles, etc.
- Impacto en el agua: contaminación de aguas subterráneas y superficiales por compuestos orgánicos e inorgánicos, tanto por lixiviación, como por vertido o escorrentías, contaminación biológica, eutrofización de ecosistemas acuáticos, etc.
- Impacto en el suelo: contaminación por componentes orgánicos e inorgánicos de las deyecciones, degradación por salinización o por desestabilización de su estructura, contaminación microbiana, parasitaria, etc.
- Impacto en los alimentos: contaminación microbiológica de productos para consumo humano o animal por contacto directo o indirecto con gérmenes procedentes de las deyecciones.

Se presenta un estudio sobre los residuos de tambos que en la actualidad van a una laguna sin impermeabilización en donde se disponen los efluentes durante un periodo indeterminado. Y una vez retirado el efluente de la laguna, este se destina a riego. En este trabajo se propone estabilizar esos residuos mediante digestión anaeróbica, que es un proceso de degradación de la materia en ausencia de aire.

La digestión anaeróbica surge como potencial tratamiento, teniendo además la ventaja de aprovechar la generación de biogás como fuente de energía (García *et al.*, 2009). Se llama biogás a la mezcla constituida por Metano (CH₄) (en una proporción que oscila entre un 50% y un 70%), dióxido de carbono y pequeñas proporciones de otros gases tales como hidrógeno, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno (Tobares, 2012). El efluente obtenido se usa como biofertilizante, su uso a nivel de pequeños establecimientos lecheros disminuye la contaminación producida por la acumulación de estiércol en torno a las salas de ordeño, y evita las emanaciones de gas Metano que se producen en estas "pilas" de estiércol (Bazzani, 2012).

La instalación de la planta de tratamiento de efluentes de tambo tiene dos objetivos principales:

- El primero es lograr una reducción alta de la carga orgánica de los efluentes.
- El segundo es la generación de biogás y biofertilizante.

METODOLOGIA

Para el diseño de la planta de tratamiento de los efluentes se utilizó el Software Biodigestor Pro.4 (Moncayo Romero, 2009) y el resultado de los ensayos de caracterización de los mismos.

Se realizó una caracterización de un estiércol de vaca típico, encontrándose que su pH es de 7,47; su CE, de 2,67; el porcentaje de humedad de 81,27; % MO 81,10%; C orgánico 47,04; NTK-SS (g/kg) 13,95 y el % MS 18,73.

Para los ensayos de laboratorio se utilizaron reactores de 2000 ml, por duplicado, partiendo del estiércol vacuno y utilizando como inóculo biosólidos de origen agroindustrial estabilizados, se hizo una toma periódica del biogás generado, se muestran los resultados en la Figura 1 (Campaña *et al.*, 2008; 2011).

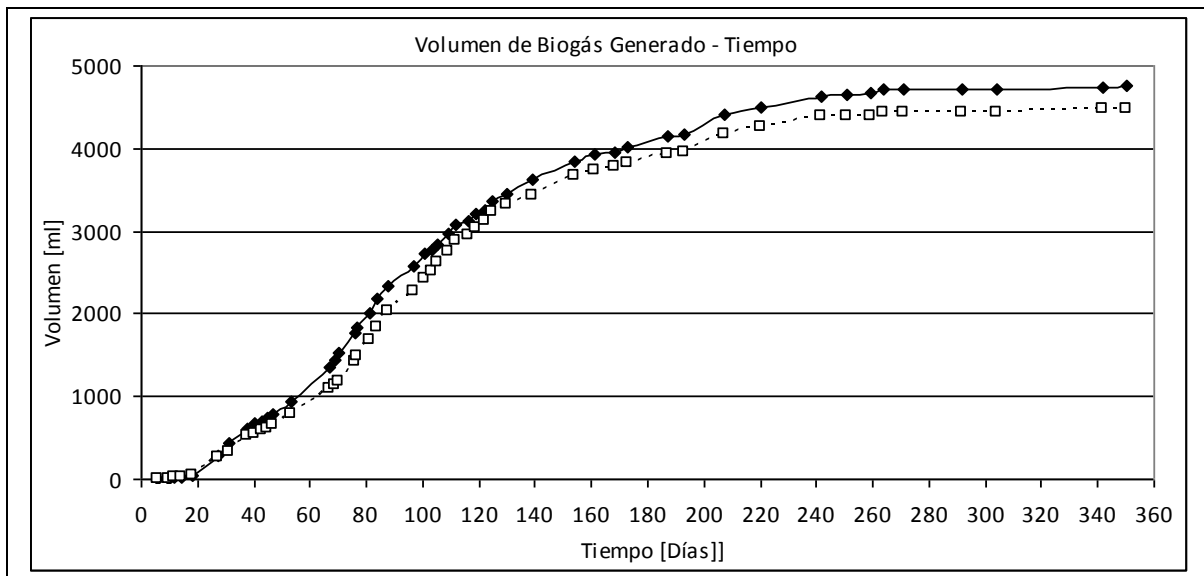


Fig. 1: Producción de biogás, en ensayos de laboratorio

Para cumplir con los objetivos propuestos, se tuvieron en cuenta los siguientes factores durante el dimensionamiento:

- Cantidad de residuo disponible para el digestor.
- Temperatura de ingreso del residuo.
- Características físico químicas de la biomasa.
- Condiciones climáticas.
- Condiciones topográficas.
- Requerimientos de energía en las instalaciones del tambo.
- Requerimientos de biofertilizante en suelo propio.
- Condiciones socioeconómicas.
- Variables de control del proceso de digestión.
- Materiales de construcción.
- Personal capacitado.
- Plan de contingencia.

Variables de dimensionamiento y operación:

- Cantidad de vacas.
- Volumen total de biomasa: La cantidad de residuo diario es 38,6 tn/d.
- Datos climáticos:
 - Temperatura mínima: 9,2 °C.
 - Temperatura media: 16,5 °C.
 - Temperatura máxima 24, 5 °C.
- La temperatura de la biomasa es alrededor de 18°C.
- Masa seca (MS): el porcentaje de masa seca es de 8%, aproximadamente 3.088 kg/d. Aproximadamente una vaca adulta produce entre 4 y 5 kgMS por día (Taverna *et al.*, 2004).
- Sólidos volátiles (MV): el porcentaje de masa volátil es de 83%, 2.562,73 kg/d.
- El porcentaje de masa volátil resistente a la degradación por sustancias tóxicas o inhibidores es del 3%.
- La eficiencia de conversión de sólidos volátiles a biogás es de 65,09%.
- La eficiencia de degradación de orgánicos es de 67,10%.
- La Carga orgánica volumétrica (COV) es de 1,63 kg/ (m³.d).
- El proceso funcionará a una temperatura de 34°C.
- El Tiempo de retención hidráulica será de 34 días.
- La tasa de dilución es del 10%, lo cual para este residuo no es necesario agregar agua.
- El pH se mantendrá controlado en un intervalo de 6,5 a 7,5.
- La relación Carbono / Nitrógeno es de 25:1 para este sustrato.
- La producción de biogás estimada estará en los 765,67 m³/d o 279470 m³/año, con un porcentaje de Metano del 61%. Se agrega un margen de seguridad del 20% al volumen del digestor para amortiguar variaciones en la cantidad de biomasa.

La planta de tratamiento de efluentes de tambos quedaría conformada por las siguientes estructuras:

- Tanque de alimentación: mezcla de la alimentación (residuo de tambo) que recibirá el digestor.
- Sistema de alimentación por gravedad: la carga orgánica mezclada al digestor (24 horas).
- Digestor: el tanque fermentador será construido mediante una cava impermeabilizada con una membrana, lo que comúnmente se denomina digestor bajo tierra de membrana.
- Tanque de descarga: este tanque rectangular recibirá la descarga del digestor. Un volumen mayor al de alimentación permitirá tener mayor flexibilidad, dado que se utilizará el sustrato como biofertilizante en el propio establecimiento.
- Lecho de secado de lodos: Los lodos y parte del biofertilizante enviados a este sector son secado por acción del viento y el sol.
- Tuberías de captación y conducción de biogás. Se instalarán puntos de captación de biogás ubicados en lados opuestos en la pared del sello hidráulico. Se deberán instalar válvulas antideflagrantes de sobrepresión y vacío, además de la trampa de condensados en cada cambio de pendiente.
- Sistema de acondicionamiento de biogás. El sistema de acondicionamiento se ve afectado principalmente por el destino que se le va a dar al biogás, en este caso, la generación de energía eléctrica mediante una microturbina. El sistema de acondicionamiento de biogás requiere la extracción de todo el vapor de agua contenido en el biogás, esto resta importancia al H₂S, ya que al ser soluble en agua, se eliminará en gran porcentaje. Además del filtro, el biogás deberá tener una presión elevada por lo que será necesario un compresor de gas.
- Sistema de cogeneración para energía eléctrica y agua caliente. Como ya se indicó anteriormente, la generación de energía eléctrica se realizará mediante una microturbina con recuperador de calor, el cual proporciona el agua caliente para mantener el digestor a la temperatura de trabajo.
- Antorcha de biogás.
- Tanque cisterna rodante y estercolera.
- Laguna impermeabilizada para plan de contingencia.

En la Figura 2 puede observarse el detalle de la planta de biogás.

http://www.exeedu.com/publishing.cl/av_cienc_ing/

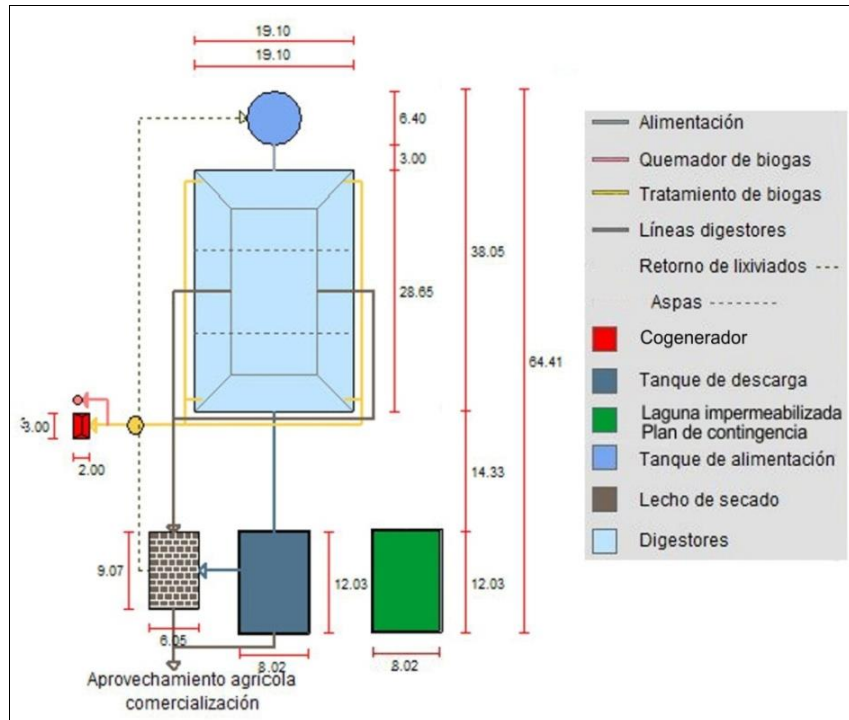


Fig. 2: Planta de biogás

El tanque de alimentación estará compuesto por:

- Un tanque circular.
- Tuberías de descarga de material extraño o arena depositadas en el fondo.
- Tuberías de carga con una rejilla antes de ingreso al digestor.
- Medidor de caudal.
- Entrada de agua o recirculación de biofertilizante.
- Llaves de paso o compuertas.
- Mezclador – Homogeneizador.

El digestor comprende los siguientes sistemas:

- Una laguna rectangular.
- Membrana de fondo de polietileno de alta densidad (HDPE).
- Membrana de cubierta AQFlex.
- Paredes de hormigón para sujetar membrana de cubierta y formar el sello hidráulico.
- Entradas de tuberías de captación de biogás a través de las paredes del sello.
- Tuberías de carga, descarga efluente y descarga de lodos.
- Agitadores (Figura 3).
- Sensores de temperatura, pH y Redox.
- Medidor de caudal de biogás.
- Medidor de composición de biogás.
- Sistema de extracción de lodos.
- Sistema de Aislamiento.
- Sistema de calefacción.

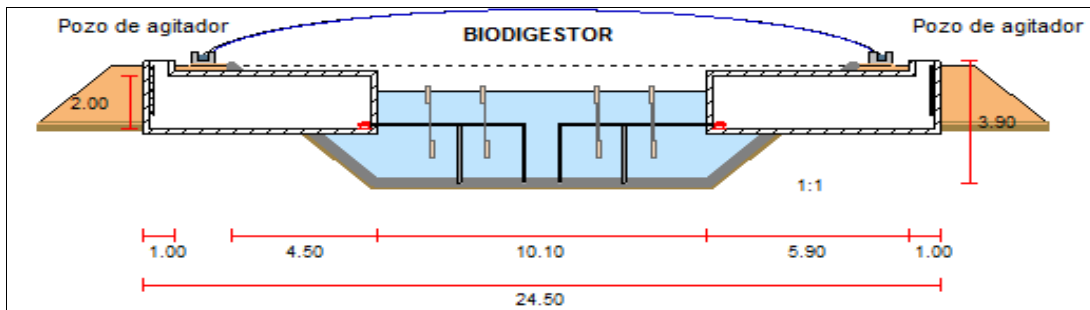


Fig. 3: Corte B-B, Sistema de agitación

Al tanque de descarga lo componen las siguientes estructuras:

- Tanque de membrana.
- Pozo de bombeo para extracción de lodos asentados en el fondo.
- Sistema de bombeo para extracción de lodos.

Las características principales del lecho de secado serán:

- Paredes de ladrillo.
- Piso conformado por grava, arena y ladrillos para crear un filtro.
- Tuberías de drenaje debajo de la grava.
- El lecho de secado será de dos celdas.
- Una pequeña rampa para retirar los lodos.

En la Figura 4 se observa un esquema de los flujos de alimentación y descarga de la planta de biogás.

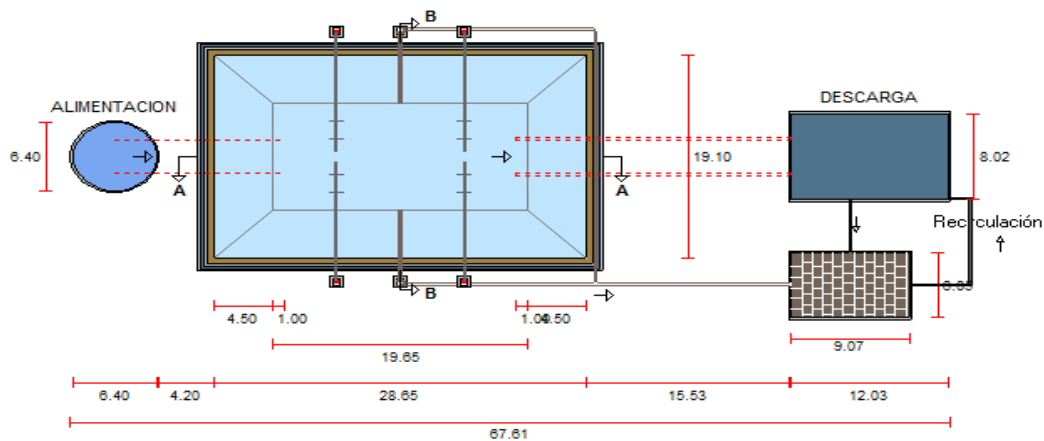


Fig. 4: Esquema de alimentación y descarga.

El sistema de quema de biogás contendrá:

- Antorcha de acero inoxidable.
- Rampa de entrada de gases conteniendo elementos como corta llamas, electroválvulas de corte, etc.
- Tablero de control y maniobra.
- Sistema automático de encendido.
- Pararrayos

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La selección del reactor se realizó en base a las condiciones económicas del sector tambero, del mercado y experiencias desarrolladas en América Latina.

El costo de inversión de la planta de biogás asciende a un total de \$ 884.414,38 (US\$ 205.677,763). El tiempo estimado para construcción del biodigestor es de 6 meses y un período de 6 meses para la puesta en marcha.

El costo de funcionamiento de la planta asciende a \$138.277,7 (US\$ 32.157,60) anuales (35% respecto de los ingresos), compuesto por un 20% correspondiente a la operación y mantenimiento de las estructuras físicas, un 3% al transporte de materia prima, un 64% del costo de mano de obra y un 13% de seguros.

La depreciación de los activos tangibles y la amortización de los activos intangibles se incurre en el beneficio impositivo correspondiente al Decreto Reglamentario de la Presidencia de la Nación N° 562/09 que aprueba la reglamentación de la Ley Nacional de la República Argentina N° 26.190 del Régimen de Fomento Nacional para el Uso de Fuentes Renovables de Energía, destinada a la Generación de Energía Eléctrica.

Este proyecto posee dos vías de ingresos: la primera mediante el valor de la energía eléctrica producida a través de la transformación de biogás. La valoración de la energía se realizó mediante un análisis de tendencia y estacionalidad del precio monómico del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM, vigente al 2012 en la República Argentina). El ingreso estimado por energía eléctrica sería de \$ 124.268,48 (US\$ 28.899,64) anuales que implican aproximadamente 500.000 kWh generados.

Se representa en la Tabla 1 la estimación de la producción anual de biogás de la planta para la capacidad instalada.

Tabla 1: Producción de biogás

Periodo (Año)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cantidad de vacas	1050	1150	1150	1150	1150	1150	1250	1250	1250	1250
Biogás (m ³)	279470	306086	306086	306086	306086	306086	332702	332702	332702	332702
Metano (m ³)	170477	186713	186713	186713	186713	186713	202949	202949	202949	202949

Casas Prieto *et al.* (2009), revalida la utilización de la tecnología de digestión anaeróbica para el tratamiento de los efluentes generados en establecimientos lecheros con un potencial de generación de 1.732 m³/día de biogás para 1000 vacas en ordeño. La diferencia en la producción de biogás radica en que dicho estudio considera una producción de 75,2 kg de estiércol por vaca por día en contraste con los 56,55 kg considerados en el presente estudio. Por otro lado Filippin *et al.* (1999), estiman una generación de 48 kg de estiércol por vaca por día.

La segunda vía de ingreso corresponde a la obtención del biofertilizante, que reduce el gasto en fertilizantes comerciales para el productor en un total de \$274.709 (US\$63.886) anuales. El biofertilizante fue valorado en función de su composición de NPK, porcentuales que ascienden a un 0,135% de Nitrógeno, 0,075% de Fósforo y 0,65% de Potasio.

La cantidad de biofertilizante generado anualmente durante el tratamiento de los residuos de tambo se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2: Producción de fertilizante

Periodos (Anual)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cantidad de vacas	1050	1150	1150	1150	1150	1150	1250	1250	1250	1250
Toneladas de fertilizante	3800	12487	12487	12487	12487	12487	13573	13573	13573	13573

La Tabla 3 representa el flujo de fondos del inversionista, información sobre la que se estima la evaluación financiera del proyecto. El flujo de caja sintetiza las inversiones previas a la puesta en marcha, los egresos e ingresos de operación y el valor residual del proyecto, es decir mide la rentabilidad de toda la inversión. El flujo de fondos incorpora el apalancamiento de la deuda y mide la rentabilidad de los recursos propios.

Tabla 3: Flujo de fondos del inversionista

		FLUJO DE FONDOS DEL INVERSIONISTA										
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	Vta. de energía	\$ -	\$ 37.820,84	\$ 124.268,48	\$ 124.268,48	\$ 124.268,48	\$ 124.268,48	\$ 124.268,48	\$ 124.268,48	\$ 135.074,43	\$ 135.074,43	\$ 135.074,43
	Vta. de fertilizante	\$ -	\$ 83.607,33	\$ 274.709,81	\$ 274.709,81	\$ 274.709,81	\$ 274.709,81	\$ 274.709,81	\$ 274.709,81	\$ 298.597,62	\$ 298.597,62	\$ 298.597,62
Costos de operación y mantenimiento		\$ -	\$ 49.176,81	\$ 138.277,69	\$ 138.277,69	\$ 138.277,69	\$ 138.277,69	\$ 138.277,69	\$ 138.277,69	\$ 138.277,69	\$ 138.277,69	\$ 138.277,69
Costo legal		\$ -	\$ -	\$ -	\$ 15.981,00	\$ -	\$ 15.981,00	\$ -	\$ 15.981,00	\$ -	\$ 15.981,00	\$ -
Gastos de venta de energía	2%	\$ -	\$ 5.552,76	\$ 16.658,29	\$ 16.658,29	\$ 16.658,29	\$ 16.658,29	\$ 16.658,29	\$ 16.658,29	\$ 16.658,29	\$ 16.658,29	\$ 16.658,29
Intereses préstamo		\$ -	\$ 49.441,2	\$ 113.929,8	\$ 62.338,9	\$ 12.897,7	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Depreciación		\$ -	\$ 85.114,41	\$ 255.343,24	\$ 255.343,24	\$ 170.743,82	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Amortización de act. Intangibles		\$ -	\$ 11.309,60	\$ 33.928,79	\$ 33.928,79	\$ 45.238,38	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Utilidades antes del impuesto		\$ -	\$ -79.166,6	\$ -159.159,5	\$ -123.549,6	\$ 15.162,4	\$ 228.061,3	\$ 244.042,3	\$ 262.755,1	\$ 278.736,1	\$ 262.755,1	\$ 278.736,1
Impuesto a las ganancias	35%	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 5.306,8	\$ 79.821,5	\$ 85.414,8	\$ 91.964,3	\$ 97.557,6	\$ 91.964,3	\$ 97.557,6
Utilidad Neta		\$ -	\$ -79.166,6	\$ -159.159,5	\$ -123.549,6	\$ 9.855,6	\$ 148.239,9	\$ 158.627,5	\$ 170.790,8	\$ 181.178,4	\$ 170.790,8	\$ 181.178,4
Remuneración Ley 26190 art. 14	\$ 0,015	\$ -	\$ 2.153,225	\$ 7.074,882	\$ 7.074,882	\$ 7.074,882	\$ 7.074,882	\$ 7.074,882	\$ 7.690,089	\$ 7.690,089	\$ 7.690,089	\$ 7.690,089
Depreciación		\$ -	\$ 85.114,4	\$ 255.343,2	\$ 255.343,2	\$ 170.743,8	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Amortización de act. Intangibles		\$ -	\$ 11.309,6	\$ 33.928,8	\$ 33.928,8	\$ 45.238,4	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Aporte de capital		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Inversión inicial		\$ -884.414,4	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Préstamo		\$ 884.414,4	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Amortización deuda		\$ -	\$ -98.268,3	\$ -294.804,8	\$ -294.804,8	\$ -196.536,5	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Valor de desecho		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 1.079.248,8
Flujo de caja		\$ -	\$ -78.857,7	\$ -157.617,4	\$ -122.007,5	\$ 36.376,1	\$ 155.314,7	\$ 165.702,4	\$ 178.480,9	\$ 188.868,5	\$ 178.480,9	\$ 1.268.117,3
VA del periodo		\$ -	\$ -67.112,9	\$ -114.163,8	\$ -75.209,6	\$ 19.083,8	\$ 69.346,3	\$ 62.965,3	\$ 57.720,0	\$ 51.982,4	\$ 41.807,2	\$ 252.802,2
VA acum		\$ -	\$ -67.112,9	\$ -181.276,7	\$ -256.486,2	\$ -237.402,4	\$ -168.056,1	\$ -105.090,8	\$ -47.370,8	\$ 4.611,7	\$ 46.418,9	\$ 299.221,0

El valor de desecho del proyecto fue estimado a partir de lo que es capaz de generar desde el momento en que se evalúa en adelante (método económico) y su valor asciende a AR\$1.079.248,79 (US\$250.988,09).

El costo de inversión del proyecto es financiado en su totalidad por un sistema crediticio específico para proyectos alineados con la Producción Limpia y Preservación del medio Ambiente (Adquisición o Construcción de Plantas y/o Equipamiento con Aplicación Medioambiental) del Banco de la Provincia de Buenos Aires, (provincia donde está afincado el tambo en estudio) con una tasa del 17,5%. El préstamo se amortiza mediante el Sistema Alemán y se suma al flujo de caja un beneficio de 0,015 AR\$/kWh (US\$/kWh 0,0034) generado de acuerdo a la Ley 26.190 (Art.14), Ley Nacional sancionada para el Régimen de Fomento Nacional para el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de energía eléctrica.

De los resultados obtenidos en la evaluación económica de este proyecto, se puede afirmar que la ganancia acumulada neta del proyecto (expresada en unidades monetarias del año cero) es de AR\$A164.228,73 (US\$38.192) como indica la Tabla 4.

Así mismo la tasa de retorno promedio anual que generaría este proyecto es de 21,2%. El período de recuperación (sin financiamiento) indica que la inversión se recobrará en el período 10^{mo}.

De la evaluación financiera surge una contribución del proyecto en términos de valor presente (considerando una deuda de AR\$884.814,4 (US\$ 205.677,76), durante los 10 años es de AR\$299.221,02 pesos.

Por otro lado la tasa interna de rendimiento promedio anual que generaría la inversión de este proyecto es del 34,1%. El período de recupero de la inversión se logra en el 8^{vo} año.

Tabla 4: Criterio de evaluación, flujo de caja y flujo de fondos.

Criterios de evaluación			
	VAN	TIR	PR (años)
Flujo de caja	\$ 164.228,73	21,30%	10
Flujo de caja del inversionista	\$ 299.221,02	34,10%	8

El proyecto presenta sensibilidad frente a la variación del precio de la energía y del fertilizante, ante una variación del 32,48% y 14,7% respectivamente se dejan de percibir beneficios actualizados. Pero mediante un análisis estadístico del precio de la energía, se pudo determinar que la probabilidad de ocurrencia de esta variación es nula. Además, se evaluó la variación de los costos financieros frente al aporte de capital. Los resultados refieren a que con un aporte del 50%, el período de recuperación de la inversión se realiza en el 2^{do} año.

Es de destacar que además de los beneficios monetarios de este proyecto, se obtienen también beneficios implícitos o externalidades no cuantificadas que exceden a este proyecto.

Se dejan de generar 2.604 tCO₂ al año, valorizadas en el MDL a 41.664 AR\$/año (US\$69586,28), cabe aclarar que no se considera el ingreso al Mercado de Carbono.

CONCLUSIONES

El estudio demuestra la factibilidad económico-sustentable del sistema de tratamiento de efluentes propuesto.

Es importante destacar que las principales fuentes de ingreso del proyecto son generadas por la venta de la energía eléctrica y del biofertilizante. Dichos ingresos representaran gran parte de las ganancias netas en los segundos 10 años, ya que la planta tiene 20 años de vida útil (valor de desecho). Además de los beneficios monetarios, el sistema produce beneficios ambientales, como también mejoras en las condiciones de trabajo, salud, y bienestar animal, con la consecuente eficiencia en el manejo de los recursos productivos.

La inclusión de la tecnología para el tratamiento de efluente le confiere al sistema productivo mayor competitividad, sustentabilidad y rentabilidad con minimización del riesgo, permitiendo generar mayor independencia y solidez. Esto le genera al productor un mejor posicionamiento frente al sector secundario permitiéndole afrontar con mayor flexibilidad los cambios del mercado.

Se concluye entonces que la aplicación del sistema propuesto permitiría alcanzar el saneamiento del tambo, en cuanto a la generación de efluentes, con una tecnología que posibilita la reducción del impacto ambiental aportándole a su vez beneficios energéticos, estimulando el uso de tecnologías no aplicadas en forma masiva en el país que aportan a los sistemas productivos una gestión sustentable de los recursos y el ambiente.

REFERENCIAS

1. Bazzani, S. (2012). Construcción y funcionamiento de biodigestores plásticos de flujo continuo. Recuperado Enero 15, 2013, de Programa de Pequeñas Donaciones. PPD/FMAM/PNUD. Sitio web: sgp.undp.org/index.php?option=com_docman&Itemid=188&task=doc_download&gid=312.
2. Campaña, H., Benedetti, P., Airasca, A. & Fiotto S. (2011). Determinación del tiempo de retención en un reactor anaeróbico para optimizar la generación de biogás a partir de la digestión de barros activados residuales. XXXIV Congreso de ASADES (pp. 6.55 - 6.62), Río Hondo.
3. Campaña, H., Linquiman, P., Prieto, A. & Benedetti P. (2008). Anaerobic digestion of activated sludges from malting wastewaters. Proceedings. 4th Sequencing Batch Reactor Technology Conference (pp. 195-199) Roma.
4. Canet, R., Ribó, M., Pomares, F. & Albiach, M. (2006). Caracterización y potenciales impactos ambientales de las deyecciones ganaderas. Conferencia sobre gestión integral de deyecciones ganaderas. Giro, gestión integral de residuos orgánicos (pp. 23-37). Barcelona, España.
5. Casas Pietro, M., Rivas Lucero, B., Soto Zapata, M., Segovia Lerma, A., Morales Morales A., Cuevas Gonzalez, M., *et al.* (2009). Estudio de factibilidad para la puesta en marcha [versión electrónica]. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 8 (24), 1405-9282.
6. Charlón, V. (2007). Sector lechero. Desafíos y estrategias para implementar la digestión anaeróbica en los agrosistemas, INTA, Buenos Aires, 11-14.
7. Filippin, C., Follari, J. & Vigil, J. (1999). Obtener gas Metano y fertilizantes a partir de la fermentación de excrementos de vacas. Recuperado Febrero 1, 2012, de Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de la Pampa, Santa Rosa, La Pampa. Sitio web <http://www.produccion-animal.com.ar/Biodigestores/02-Biodigestor.pdf>
8. Garcia, K., Huerga, I. & Charlón, V. (2009). Estimación de la producción de biogás a partir de la degradación anaeróbica de efluentes provenientes del tambo. 3er Congreso Nacional – 2do Congreso Iberoamericano "Hidrógeno y Fuentes sustentables de Energía" HYFUSEN 2009 (pp. 114-115), San Juan.
9. Moncayo Romero, G., (2009). Dimensionamiento y diseño de biodigestores y plantas de biogás, manual de usuario 3.0. 1^{ra} ed. Aqualimpia Beratende Ingenierure.
10. Taverna, M., Charlón, V., Panigatti, C., Castillo, A., Serrano, P. & Giordano, J. (2004). Manejo de los residuos originados en las instalaciones de ordeño. Una contribución al logro de ambientes locales sano. Argentina: INTA. 1-11
11. Tobares, L. (2012). La importancia y el futuro del biogás en la Argentina. 3er. Congreso Latinoamericano y del Caribe de Refinación (pp.68-74), Buenos Aires.
12. Vieytes, A. (2011). El manejo de efluentes en el tambo. Recuperado, Marzo 2, 2011, del Área de Producción de Bovinos de Leche de Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad de Buenos Aires. Sitio web: [http://www.icaarg.com.ar/imCienciages/archivos/EL_MANEJO_DE_EFLUENTES_EN_EL_TAMBO\[1\].pdf](http://www.icaarg.com.ar/imCienciages/archivos/EL_MANEJO_DE_EFLUENTES_EN_EL_TAMBO[1].pdf)