



FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS y NATURALES

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA

TESINA PRESENTADA PARA OBTENER  
EL GRADO ACADÉMICO DE  
INGENIERO EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE

*“ANALISIS DE FACTIBILIDAD DE UN BIODIGESTOR PARA EL  
TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS GENERADOS EN LA  
COLONIA PENAL (U4) DE SANTA ROSA LA PAMPA”.*

**AUTOR:** RAÚL SEBASTIÁN GAITÁN.

**DIRECTOR:** Ing. Agr. M.Sc. JORGE ALBERTO CAVIGLIA.

**CO-DIRECTOR:** Lic. M.Sc. JORGE LUIS MARANI.

SANTA ROSA (LA PAMPA)

ARGENTINA

Año 2010

## PREFACIO

“Esta Tesina es presentada como parte de los requisitos para optar al grado Académico de Ingeniero en Recursos Naturales y Medio Ambiente, de la Universidad Nacional de La Pampa y no ha sido presentada previamente para la obtención de otro título en esta Universidad ni en otra Institución Académica. Se llevó a cabo en la Cátedra de Economía de los Recursos Naturales, dependiente del departamento de Recursos Naturales, durante el período comprendido entre el... (Fecha de aceptación del proyecto poner fecha que corresponda) y el... (Fecha de presentación de la tesina), bajo la dirección de Ing. Agr. Jorge Alberto Caviglia y la codirección del Ing. Jorge Luis MARANI. El trabajo fue realizado con datos relevados en la Colonia Penal (U4) de Santa Rosa LP. y la información secundaria que obra en las referencias.

### **Agradecimientos**

Se desea expresar el agradecimiento a las siguientes personas e instituciones que han apoyado y posibilitado la realización del presente trabajo de final de carrera:

Ing. Jorge Alberto CAVIGLIA.

Lic. Jorge Luis MARANI.

Lic. Maria Marta MELAZZI.

-----

Fecha

-----

Firma del autor

**Departamento de Recursos Naturales-Cátedra de Economía de los Recursos Naturales.**

**“FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES”**

**“UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA”.-**

## ÍNDICE.

1. RESUMEN.....	4
2. INTRODUCCIÓN.....	5
2.1. Antecedentes	
2.1.1. Biodigestión como proceso.	
2.1.2. Biodigestor.	
2.1.3. Composición del Biogás.	
2.1.4. Tipos de Biodigestores.	
2.1.5. Tiempo de Digestión de los Residuos Sólidos Orgánicos.	
2.1.6. Parámetros para la construcción de un Biodigestor.	
2.1.7. Biodigestor de Emilia, Santa Fé.	
3. OBJETIVO.....	14
3.1. Objetivo Principal.	
3.2. Objetivos Parciales.	
4. RESULTADOS ESPERADOS.....	15
5. MATERIALES y METODOS.....	15
5.1. Hipótesis de Trabajo.	
5.2. Área de Estudio.	
5.3. Métodos Utilizados.	
5.3.1. Estimación de la Generación de Residuos Sólidos Orgánicos.	
5.3.2. Análisis Económico.	
5.3.3. Estimación de la Producción de Biogás.	
5.3.4. Temperatura suministrada por un invernadero.	
6. RESULTADOS.....	19
7. CONCLUSIONES.....	34
8. CITA BIBLIOGRÁFICAS.....	37

*ANEXO I. Fotos Biodigestor de Emilia, Santa Fé.*

*ANEXO II. Planillas para determinar VAN y TIR.*

*ANEXO III. Plano de Construcción del Biodigestor.*

## 1. Resumen

Uno de los problemas más críticos que presenta el mundo, es el manejo inadecuado de los residuos. Éstos habitualmente se eliminan sin un tratamiento previo, por lo que pueden constituirse en agentes contaminantes de considerable alcance, afectando los ecosistemas, alterando el equilibrio ecológico y finalmente nuestra calidad de vida (3)<sup>1</sup>.

La digestión anaeróbica o biodigestión es una herramienta efectiva en el manejo de desechos orgánicos y la producción de metano (CH<sub>4</sub>) como fuente de energía renovable (1).

En el presente trabajo se estudió la factibilidad y beneficio económico de instalar un biodigestor en una comunidad poblacional reducida (Colonia Penal Unidad 4 de Santa Rosa La Pampa) para el tratamiento ecológico de los residuos allí generados.

Para ello, primero se determinaron los residuos orgánicos e inorgánicos que se generan en la población penal y la biomasa generada en los sectores productivos. Luego de realizar los análisis correspondientes, se determinó que el biodigestor permite el tratamiento ecológico de 205.560 Kg/Año de residuos sólidos orgánicos y reciclar 29.520 Kg/Año de residuos sólidos inorgánicos.

El análisis económico permitió comprobar la sustentabilidad y beneficio económico de esta tecnología, así como la recuperación de la inversión en tiempos económicamente aceptables. Asimismo, y si bien no son valorados económicamente en el presente trabajo los beneficios ambientales asociados al proceso, estos resultan cualitativamente muy importantes como mitigación de la contaminación, y las posibilidades que brinda la selección de los residuos para el reciclado de gran parte de los mismos.

**PALABRAS CLAVES:** biodigestión, biodigestor, producción estiércol, Servicio Penitenciario Federal.

### *ABSTRACT*

One of the most critical problems in the world is the inadequate handling of waste. These usually can be removed without prior treatment, so they can become pollutants of considerable scope affecting ecosystems, altering the ecological balance and finally our quality of life. Anaerobic digestion and bio-digestion is an effective tool in the management of organic wastes and the production of methane (CH<sub>4</sub>) as a source of renewable energy.

---

<sup>1</sup> Los números remiten a las citas bibliográficas.

In this work, we studied the feasibility and economic benefit of installing a digester in a reduced community population (Penal Colony U4 of Santa Rosa La Pampa) for the ecological treatment of waste generated there. To do this, we first identified the organic and inorganic waste generated by the prison population and the biomass generated by the productive sectors. After a series of tests we determined that the digester allows the ecological treatment of 205.560 kg / year of organic solid waste and the recycle of 29.520 kg / year of inorganic solid waste.

The economic analysis confirmed the sustainability and economic benefit of this technology, as well as the recovery of the investment in an economically acceptable time. Although in the present study the environmental benefits associated with the process are not valued in monetary terms, they are very important such as the mitigation of pollution and the possibilities offered by the selection of waste for the recycle of a big part of them.

**KEYWORDS:** bio-digestion, bio-digester, manure production, Federal Penitentiary Service.

## 2. INTRODUCCIÓN

La humanidad enfrenta un cambio de paradigma, que se impone en forma muy rápida en el mundo, referido a la acumulación de residuos, usos y explotación de la energía. El mismo radica en la búsqueda de la reducción de los desechos, la diversificación de las fuentes de energía y la consideración creciente de los efectos ambientales diferenciales, en la utilización de las distintas fuentes. En este marco se ubica el aprovechamiento integral de la biomasa con fines energéticos (7).

En las grandes urbes, los residuos sólidos orgánicos constituyen un gran problema ya que estos son dispuestos en rellenos sanitarios los cuales pueden contaminar las napas subterráneas y favorecer la generación de patógenos (16).

Existe lo que se conoce como tecnologías socialmente apropiadas para tratar dichos residuos, entre los que se encuentran los biodigestores, que presentan como características: ser ecológicamente adecuados; satisfacer necesidades (tratamientos de los residuos, obtención de energía renovable y fertilizante); contribuir al mejoramiento de las condiciones de vida sin degradar el ambiente; su costo de instalación es accesible y resulta redituable; rinde ganancia durante un largo tiempo; son socialmente equitativas (6).

La bioenergía es la más versátil de las energías renovables, dado que puede servir tanto para la generación de electricidad y calefacción como para la producción de combustibles. Se

puede quemar de forma directa para producir calor o electricidad, convertirse en combustible líquido como etanol y biodiesel, o en combustible gaseoso, como el biogas (8).

La aplicación de la digestión anaeróbica para el tratamiento de los residuos pecuarios es una tecnología ampliamente difundida a nivel mundial y los países desarrollados la han adoptado en busca de una mejor calidad ambiental (8). Por otro lado, debido a las ventajas que tiene ha sido implementada por parte de países con menos recursos económicos (10).

Una posibilidad de aplicación de esta tecnología a niveles localizados, es su instalación en unidades carcelarias para la transformación de biomasa en energía mediante la implementación de la digestión anaeróbica. El trabajo responde a un proyecto a realizarse en la Colonia Penal U4 de Santa Rosa, La Pampa.

La Colonia Penal por su parte, presentaba un total de 302 internos y 191 agentes penitenciarios para el año 2004, lo que representa una comunidad penitenciaria total de 493 personas (15). El Sector Productivo de la Unidad fue dividido en tres sectores para su análisis: el Tambo, con una cantidad 30 vacas para ordeño; la Chanchería, con un total de 35 madres y 5 padrillos; y el sector Avícola, con un total de 375 gallinas ponedoras.

## **2.1. ANTECEDENTES**

### **2.1.1. La Biodigestión como proceso**

Es la fermentación realizada por bacterias anaeróbicas sobre la materia orgánica, siendo los componentes más habituales en un 80% las excretas (2). La digestión anaeróbica se trata de un proceso natural, que corresponde al ciclo anaerobio del carbono. Cuando se acumula materia orgánica en un ambiente acuático, los microorganismos aerobios, actúan primero, para lo cual consumen el oxígeno disuelto que pueda existir. Al consumirse el oxígeno aparecen las condiciones necesarias para que la flora natural anaeróbica se pueda desarrollar y como consecuencia la característica respiratoria de las bacterias genera una cantidad importante de metano, anhídrido carbónico y trazas de nitrógeno, hidrógeno y ácido sulfúrico (6).

#### **Beneficios de la biodigestión:**

- Proporciona combustible (biogás).
- Reduce la contaminación ambiental al convertir las excretas en residuos útiles.

- Produce abono orgánico, con un contenido mineral similar al de las excretas frescas e igualmente útil para los suelos, los cultivos y para el desarrollo del fitoplancton y del zooplancton utilizado por algunas especies acuáticas en su alimentación.
- Se destruyen microorganismos, huevos de parásitos y semillas de malezas contenidos en las excretas frescas, quedando el fertilizante residual libre de tales gérmenes y plantas indeseables.

Según datos tomados en CHINA y publicados por McGARRY y STAINFORTH (1978) es posible destruir, en un rango de temperatura interna de biodigestor, hasta el 95% de los huevos de parásitos y casi todas las bacterias y protozoarios causante de disentería (2).

### **2.1.2. Biodigestor.**

Por definición un biodigestor es un tanque o pozo cerrado, donde ocurre la fermentación anaeróbica (6).

El biogás se produce en un recipiente cerrado o tanque denominado biodigestor el cual puede ser construido con diversos materiales como ladrillo y cemento, metal o plástico. El biodigestor, de forma cilíndrica o esférica posee un ducto de entrada a través del cual se suministra la materia orgánica (por ejemplo, estiércol animal o heces humanas, las aguas sucias de las ciudades, residuos de matadero) en forma conjunta con agua, y un ducto de salida en el cual el material ya digerido, por acción bacteriana, abandona el biodigestor. El proceso de digestión que ocurre en el interior del biodigestor libera la energía química contenida en la materia orgánica, la cual se convierte en biogás. Los biodigestores se constituyen en una valiosa alternativa para el tratamiento de los desechos orgánicos de las explotaciones agropecuarias pues permiten:

- 1) disminuir la carga contaminante,
- 2) mejorar la capacidad fertilizante del material,
- 3) eliminar los malos olores y,
- 4) generar un gas combustible denominado biogás el cual tiene diversos usos.

La utilización de los biodigestores además de permitir la producción de biogas ofrece enormes ventajas para la transformación de desechos: mejora la capacidad fertilizante del estiércol. Todos los nutrientes tales como el nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio así como los elementos menores son conservados en el efluente.

En el caso del nitrógeno, buena parte del mismo, presente en el estiércol en forma de macromoléculas es convertido a formas más simples como amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), las cuales pueden ser aprovechadas directamente por las plantas (12). Los biodigestores son máquinas simples que convierten la materia prima en subproductos aprovechables, en este caso biogás y abono orgánico. El principio básico de funcionamiento es el mismo que tienen todos los animales, descomponer el alimento en compuestos más simples para su absorción mediante bacterias alojadas en el intestino, con condiciones controladas de humedad, temperatura y pH (12). De esta manera los residuos sólidos orgánicos son introducidos en el biodigestor donde son descompuestos, de modo tal, que el ciclo natural se completa y la basura es convertida en fertilizante y biogás.

### **2.1.3. Composición del biogás.**

El biogás lo constituye una mezcla de gases y su composición (CUADRO 1) depende del tipo de residuo orgánico utilizado para su producción y de las condiciones en que se procesan.

COMPONENTE	PORCENTAJE
Metano ( $\text{CH}_4$ )	55 a 70%
Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ )	27 a 45%
Anhídrido Sulfuroso ( $\text{SH}_2$ )	Menor a 1%
Nitrógeno ( $\text{N}_2$ )	0,5 a 3%
Hidrógeno ( $\text{H}_2$ )	1 a 3%

**Cuadro 1:** Fuente, Gropelli E. y Giampaoli A. 2001.

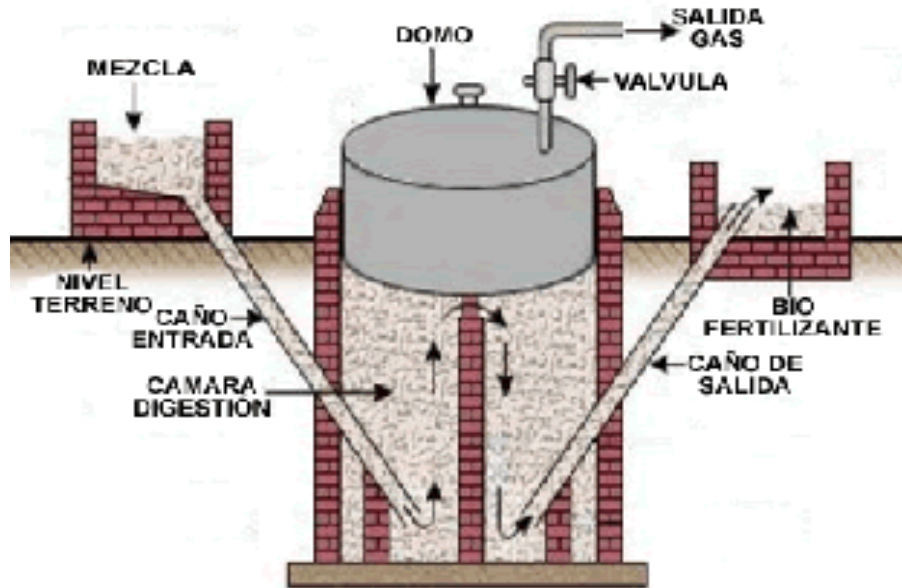
### **2.1.4. Tipos de Biodigestores.**

Existen dos tipos generales de biodigestores: el sistema Hindú y el Chino.



### **Biodigestor del domo flotante (sistema Indio).**

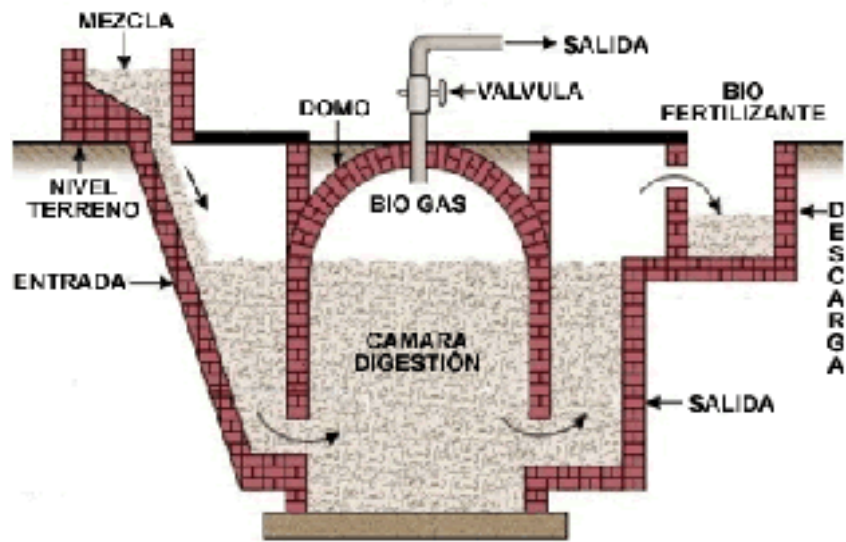
El biodigestor hindú fue desarrollado después de la segunda guerra mundial en los años '50, debido a la necesidad de los campesinos de conseguir combustibles. Como India es pobre en combustibles se organizó el proyecto KVICK (Kaddi Village Industri Commision) donde tuvo origen el digestor Hindú y el nombre del combustible obtenido conocido como biogás. Este biodigestor trabaja a presión constante y es muy fácil su operación ya que fue ideado para ser manejado por campesinos de muy poca preparación.



Biodigestor hindú

### **Biodigestor del domo fijo (Chino):**

El biodigestor chino fue desarrollado al observar el éxito del biodigestor hindú. El gobierno chino adaptó esta tecnología a sus propias necesidades, ya que el problema en China no era energético sino sanitario. Los chinos se deshicieron de las heces humanas en el área rural y al mismo tiempo obtuvieron abono orgánico. El biodigestor chino funciona con presión variable ya que el objetivo no es producir gas sino obtener abono orgánico ya procesado.



Biodigestor Chino

A través de los años se fueron desarrollando distintas alternativas a los dos modelos mencionados anteriormente, en la búsqueda de hacerlos más eficientes y de menor costo. Algunos ejemplos:

- ❖ Biodigestores de bajo costo hechos con estructuras flexibles como el polietileno.



Biodigestor flexible (polietileno). Fuente: Fundación Hábitat.

- ❖ Existen otras alternativas que derivan de modificaciones hechas a los dos modelos mencionados, como es el biodigestor de tanque tradicional y cúpula de polietileno.



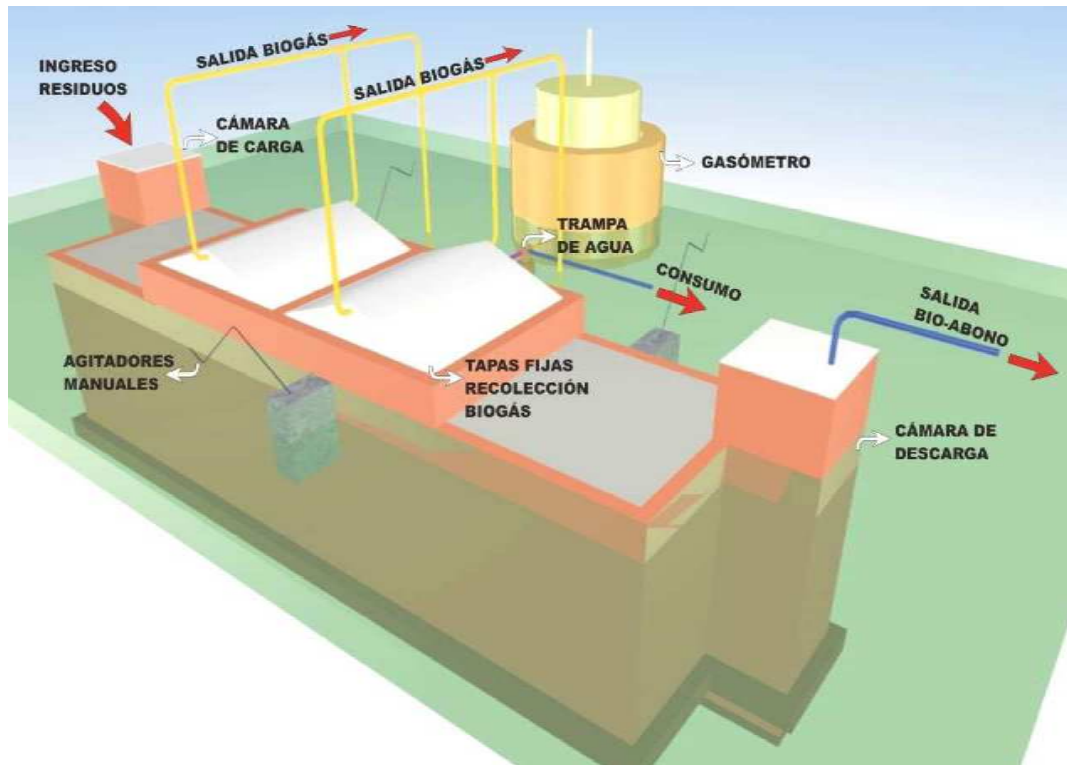
Biodigestor de tanque tradicional y cúpula de polietileno. Fuente: Fundación Hábitat.

- ❖ Las instalaciones industriales de producción de biogás emplean tanques de metal que sirven para almacenar la materia orgánica y el biogás por separado.



Planta Industrial. Fuente: Fundación Hábitat.

- ❖ Biodigestores con desplazamiento horizontal (modificación de sistema hindú), los cuales se utilizan cuando se trabaja con volúmenes mayores a 15 metros cúbicos.



Fuente: Universidad Nacional del Litoral.

### 2.1.5. Tiempo de digestión de los residuos sólidos orgánicos:

Datos sobre el tiempo de degradación de los desechos orgánicos a distinta temperatura de trabajo del biodigestor.

<b>Temperatura (°C)</b>	10	15	20	25	30	35
<b>Tiempo de Digestión Recomendado (Días)</b>	90	60	45	32	30	25

Fuente: Gropelli y Giampaoli, 2001.

### **2.1.6. Parámetros a considerar para el diseño de un biodigestor (6).**

- ❖ **Volumen de carga:** representa el volumen total de material orgánico diluido con el agua necesaria, ya listo para ser introducido al biodigestor.
- ❖ **Tiempo de retención:** indica el tiempo conveniente que debe dejarse el material dentro del biodigestor, para que en las condiciones ambientales del lugar (temperatura, viento, etc.) pueda degradarse y así lograr la estabilización (humificación) de la biomasa en digestión. Se calcula dividiendo el volumen (útil) del biodigestor por el volumen de la carga diaria; en consecuencia se expresa el volumen en días.
- ❖ **Volumen del biodigestor:** se lo define como el espacio ocupado por la biomasa en digestión; representa el volumen efectivamente útil para realizar la biodigestión. Se lo expresa normalmente en metro cúbico ( $m^3$ ).
- ❖ **Volumen de gasómetro:** Indica el valor máximo de almacenamiento de biogás que puede contener este reservorio. Su capacidad dependerá de las necesidades particulares de cada proyecto en función de la distribución de los consumos durante el día.
- ❖ **Velocidad de carga:** representa la cantidad de materia orgánica que se introduce por unidad de volumen de biodigestor por día. Se lo expresa habitualmente como kilogramos de sólidos volátiles (kg SV) por metro cúbico ( $m^3$ ) de biodigestor por día. Este parámetro determina la capacidad de tratamiento de residuos del biodigestor y el rendimiento en biogás en función de la temperatura.

### **2.1.7. Visita al Biodigestor en la Localidad de Emilia, Santa Fé.**

En la búsqueda de antecedentes de biodigestores en funcionamiento, se realizó una visita al biodigestor que se encuentra en la localidad de Emilia (SANTA FE). El mismo fue construido por especialistas de la Universidad Nacional del Litoral y tiene como finalidad el tratamiento ecológico de los residuos sólidos domiciliarios generados en esa localidad. A su vez el biogás producido es utilizado en la escuela agrotécnica con fines productivos, lo mismo que el abono orgánico producido.

Este es un biodigestor de desplazamiento horizontal, construido de hormigón con una cámara de acero móvil, en la superficie donde se almacena el biogás. Tiene 12 metros de largo por dos de ancho y 2,30 de profundidad. Se encuentra semienterrado, a fin de mantener una temperatura relativamente constante (18°C en invierno y 24°C en verano) lo que favorece al proceso biológico de descomposición de la materia orgánica por parte de las bacterias.

-en la página 10 se encuentra un plano del biodigestor y en el Anexo III las fotos del mismo-.

El funcionamiento y mantención del mismo es muy simple y demuestra la simplicidad de esta tecnología a la hora del tratamiento de la materia orgánica.

Los alumnos del colegio secundario donde se encuentra instalado el biodigestor, son los encargados de “alimentarlo” y utilizar el biogás para producir mermeladas, y el abono orgánico como fertilizante de los frutales.

Según testimonio personal del subdirector de la escuela – Sr.Fabro A. - el costo de construcción fue aproximadamente de 13.000 dólares.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO PRINCIPAL**

El objetivo del trabajo es determinar la factibilidad y beneficios de un biodigestor para el tratamiento ecológico de los residuos sólidos orgánicos (RSO) que se generan en una comunidad reducida (U. 4 de Santa Rosa, la Pampa, SPF)

#### **3.2. OBJETIVOS PARCIALES**

a) \_ Estimar la biomasa que se genera en el sector productivo.

b) \_ Estimar el volumen de desechos orgánicos (restos de comida que se generan dentro del penal) y de residuos inorgánicos.

- c) \_ Determinar el volumen y costo del biodigestor para el tratamiento de dichos residuos.
- d) \_ Estimar la probable producción de biogás y abono orgánico.
- e) \_ Evaluar posibles beneficios ambientales producidos por el biodigestor.
- f) \_ Evaluar la factibilidad y beneficio económico del proceso.

#### **4. RESULTADOS ESPERADOS.**

El principal resultado es determinar la factibilidad del tratamiento de los residuos sólidos orgánicos de una manera ecológica y económicamente viable.

Dado que se utiliza información relevada en trabajos sobre el tema; de visitas y levantamiento de datos de biodigestores en funcionamiento y en tanto la tecnología presenta una importante variedad de modelos y materiales para desarrollar estos procesos, hace que los resultados cuantitativos puedan tener restricciones para su generalización y, asimismo, el fuerte condicionamiento del clima local en la degradación de la materia orgánica (MO), podrá también presentar alguna subestimación de la producción del proceso.

Asimismo se espera cuantificar la cantidad de residuos generados en una comunidad carcelaria, su potencial como generador de biogás y su utilización como fuente de energía alternativa.

#### **5. MATERIALES Y MÉTODO**

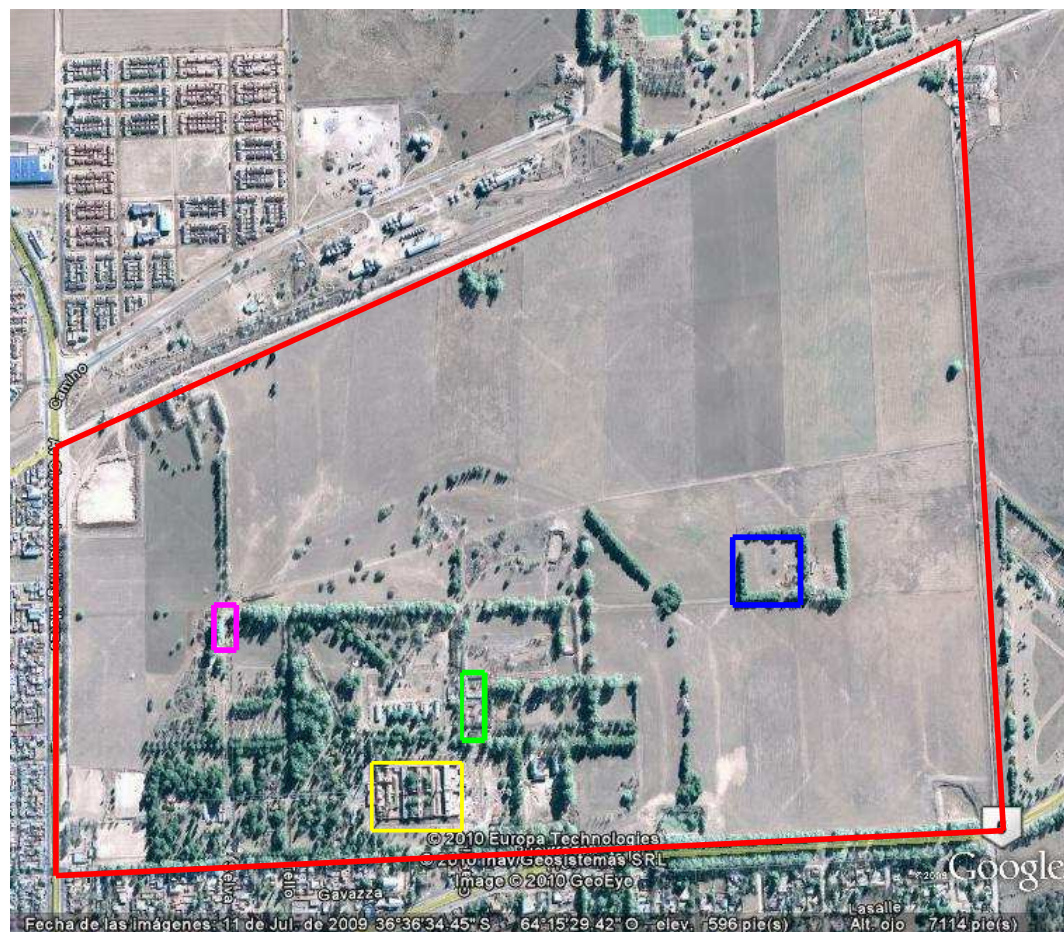
##### **5.1 Hipótesis de Trabajo**

Corroborar la factibilidad y beneficios de un biodigestor como tecnología ecológicamente apropiada, en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos generados en la Colonia Penal (U. 4 de Santa Rosa, La Pampa).

## 5.2. Área de Estudio.

El estudio se llevó a cabo en la Colonia Penal de Santa Rosa La Pampa. La misma se encuentra ubicada sobre la calle Pueyrredón al 1099. Su ubicación geográfica es 36°36'56,17" Sur y 64°15'42,30" Oeste. La superficie sobre la cual está instalada la Unidad es de 250 Ha (13).

La Colonia Penal cuenta con una capacidad para alojar 336 internos, de los cuales 180 plazas son utilizadas por la provincia. Actualmente se está trabajando para ampliar la Unidad en 120 plazas destinada al uso provincial, haciendo de esta manera un total de 456 plazas. Hacia el año 2004 la Colonia Penal contaba con un total de 302 internos y 192 agentes del S.P.F., lo que representa una comunidad carcelaria de 493 personas (15).



**Figura 1:** Colonia Penal (U4), delimitada por las líneas rojas.

- Sector Tambo ———
- Sector Porcicultura ———
- Sector Avícola ———
- Penal ———



### **5.3. Métodos utilizados**

#### **5.3.1 Estimación de los residuos sólidos orgánicos generados.**

La estimación de los desechos se dividió en dos partes: el sector productivo (tambo, porcino y aviar) y la población penal.

Para el sector productivo la estimación fue indirecta, a partir de datos de trabajos publicados, se estimó la biomasa que allí se produce a partir de la cantidad de animales que hay en cada sector.

Se tomó como base para la estimación los sectores de cada área que son limpiados de forma periódica.

#### **Sector Productivo:**

##### **Sector tambo:**

La limpieza del tambo se realiza una vez por día, luego del ordeño.

- La producción de estiércol vacuno con un promedio es de 2kg/día/animal (6).

##### **Sector porcino:**

La estimación se realizó sobre los corrales de los padrillos y madres en lactancia.

- La producción de estiércol porcino, para madres lactancia de 6,4 Kg/día y de 3 Kg/día para padrillos (6).

##### **Sector aviar:**

La estimación fue estimada sobre corral de las gallinas ponedoras.

- La producción de estiércol de gallinas ponedoras es de aproximadamente 0.150 kg/día (6).

### **Población penal:**

En cuanto a los desechos producidos por la población penal la estimación se realizó de forma directa, a través de muestreos. Los mismos se realizaron durante 5 días, separando en orgánico e inorgánico y pesando las muestras en una balanza convencional.

### **5.3.2. Análisis Económico:**

El análisis económico se realizó pensando en el biogás como fuente de energía alternativa capaz de reemplazar el gas envasado utilizado en el sector aviar. Al mismo tiempo se incluye la utilización del abono orgánico en reemplazo de fertilizante para uso en los invernaderos y la posibilidad de comercialización de los residuos inorgánicos obtenidos de la separación de los desechos del penal.

El análisis se basó en la determinación de dos indicadores de evaluación, como son el criterio del valor actualizado neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR). Al mismo tiempo se realizó un análisis de sensibilidad, de manera de incorporar el riesgo en el proyecto.

El VAN es definido como el valor presente de un beneficio futuro. Por su parte la TIR es aquella tasa interna de interés que iguala el valor actualizado de los beneficios y los costos, es decir donde el VAN es igual a cero (11).

El análisis de sensibilidad se utiliza para comprobar qué ocurre con la rentabilidad y los indicadores del proyecto frente a variaciones en los supuestos en los cuales se basan la proyecciones (14).

En este caso particular, el análisis de sensibilidad más pertinente para el proyecto son los derivados de la producción de biogás (posibles mermas) y las posibles variaciones en el ingreso al no considerarse la producción de abono y el reciclado.

La vida útil del biodigestor puede ser estimada en 20 años como mínimo. Si bien se tomaron sólo 10 para el análisis económico por razones metodológicas.

### **5.3.3. Producción de biogás:**

Los datos de producción de biogás que generan los distintos desechos orgánicos y la estimación probable de biogás que se puede lograr a partir del tratamiento de los desechos generados en la Unidad 4 se obtuvieron de Gropelli et al (6).

### **5.3.4. Temperatura dentro de un invernadero:**

Se consideró estimar la temperatura que un invernadero podría suministrar al biodigestor a fin de mejorar su funcionamiento y de esta manera incorporarlo en el presupuesto. Esto se realizó a partir de tomas de muestras de la temperatura ambiente y dentro del invernadero en distintas horas del día.

## **6. RESULTADOS**

### ***6.1. Estimación del volumen de biomasa (estiércol) del sector productivo (aviar, porcina y lechera).***

- Sector tambo cuenta con 30 vacas lecheras las cuales son ordeñadas 1 vez al día.
- Sector porcino cuenta con 5 padrillos y 35 madres.
- Sector aviar cuenta con 375 gallinas ponedoras.

<b>PRODUCCIÓN DE BIOMASA</b>	<b>TAMBO 30 VACAS</b>	<b>CRÍA CERDO 35 MADRES</b>	<b>CRÍA CREDO 5 PADRILLOS</b>	<b>CRÍA AVES 375 PONEDORAS</b>	<b>TOTAL KG/DÍA</b>
<b>ESTIMACIÓN KG/DÍA</b>	60	224	15	56	355

*TABLA 1: Producción de biomasa del sector productivo.*

6.2. Por su parte el volumen de desechos orgánicos generados por la población penal (restos de comida) se estimó a partir de un muestreo. Se tomaron 5 muestras, (una por cada día de la semana) y se determinó el promedio de residuos generado por día.

RESIDUOS ORGÁNICOS	KG/DÍA
DÍA 1	252
DÍA 2	155
DÍA 3	235
DÍA 4	209
DÍA 5	229
<b>TOTAL SEMANAL</b>	<b>1080</b>
<b>PROMEDIO KG/DÍA</b>	<b>216</b>
<b>TOTAL KG/MES</b>	<b>6.480</b>
<b>TOTAL KG/AÑO</b>	<b>77.760</b>

TABLA 2: Generación de Desechos Orgánicos (restos de comida).

PRODUC. DE DESECHOS	TOTAL KG/DÍA
SECTOR AGRICULTURA	355
PENAL	216
<b>TOTAL DESECHOS PROD. EN LA UNIDAD</b>	<b>571</b>

TABLA 3: Total de desechos generados por La Colonia Penal (U. 4).

6.3. Los residuos inorgánicos se estimaron a partir de la separación que se realizó para calcular los desechos orgánicos. El valor económico de dichos residuos fue tomado de una empresa recicladora de la ciudad.

RESIDUOS INORGÁNICOS	PLÁSTICO KG/DÍA	LATAS KG/DIA	PAPEL-CARTÓN KG/DÍA	RESTO KG/DÍA	TOTAL KG/DÍA
DÍA 1	29	4	25	41	99
DÍA 2	17	2	10	28	57
DÍA 3	22	3	23	34	82
DÍA 4	16	3	14	45	78
DÍA 5	18	3	21	52	94
<b>TOTAL KG</b>	<b>102</b>	<b>15</b>	<b>93</b>	<b>200</b>	<b>410</b>
<b>PROMEDIO KG/DÍA</b>	<b>20,4</b>	<b>3</b>	<b>18,6</b>	<b>40</b>	<b>82</b>
<b>TOTAL KG AL MES</b>	<b>612</b>	<b>90</b>	<b>558</b>	<b>1200</b>	<b>2460</b>

TABLA 4: Generación de Residuos Inorgánicos.

MUESTRAS	DESECHOS ORGÁNICOS KG/DÍA	RESIDUOS INORGÁNICOS KG/DÍA	TOTAL RS KG/DÍA	% RSO
DÍA 1	252	99	351	71,00%
DÍA 2	155	57	212	73,00%
DÍA 3	235	82	317	74,00%
DÍA 4	209	78	287	73,00%
DÍA 5	229	94	323	71,00%
<b>TOTAL SEMANAL</b>	1080	410	1490	72,40%
<b>PROMEDIO KG/ DÍA</b>	216	82	229	72,40%

*TABLA 5: Total de Residuos Sólidos generados y su porcentaje en Residuos Sólidos Orgánicos.*

RESIDUOS SÓLIDOS INORGÁNICOS	PRECIO X KG	PRECIO
ALUMINIO 90KG X MES)	\$2	\$ 180,00
PAPEL-CARTÓN (558 KG X MES)	\$0,25	\$ 139,50
PLÁSTICO-NYLON (612 KG X MES)	\$0,30	\$ 183,60
TOTAL KG X MES		\$ 503,10

*TABLA 6: Rédito económico del reciclado.*

#### **6.4. Datos de temperatura dentro y fuera del invernadero para el mes de junio:**

Estos datos fueron tomados en los invernaderos de la Unidad 13. Los mismos no se encontraban en óptimas condiciones. Notamos que la temperatura en ausencia del sol dentro del invernadero tiene una diferencia con el exterior que ronda los 5 °C, luego aumenta significativamente al ir teniendo horas de sol.

**01/0709**

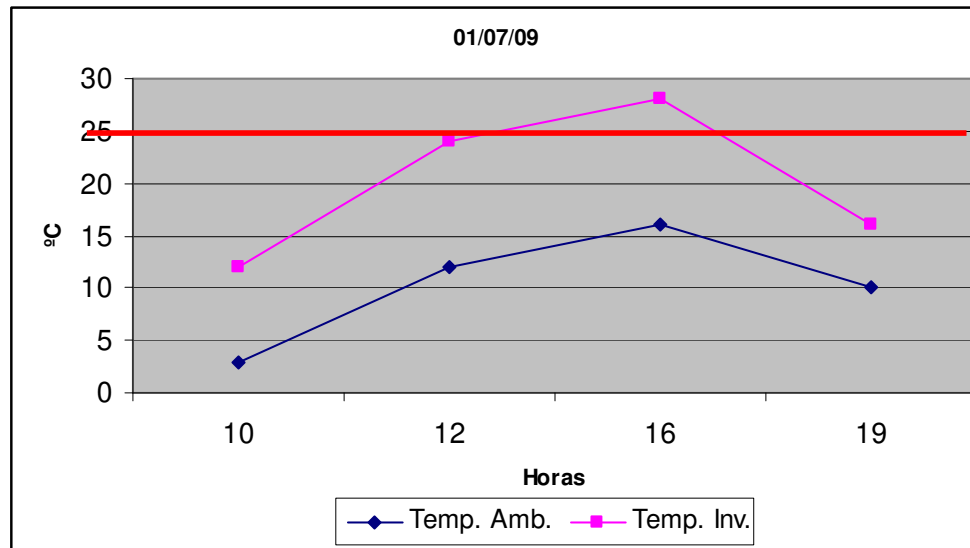
Ambiente	Invernadero	HS
3C°	12C°	10hs
12C°	24C°	12hs
16C°	28C°	16hs
10C°	16C°	19hs

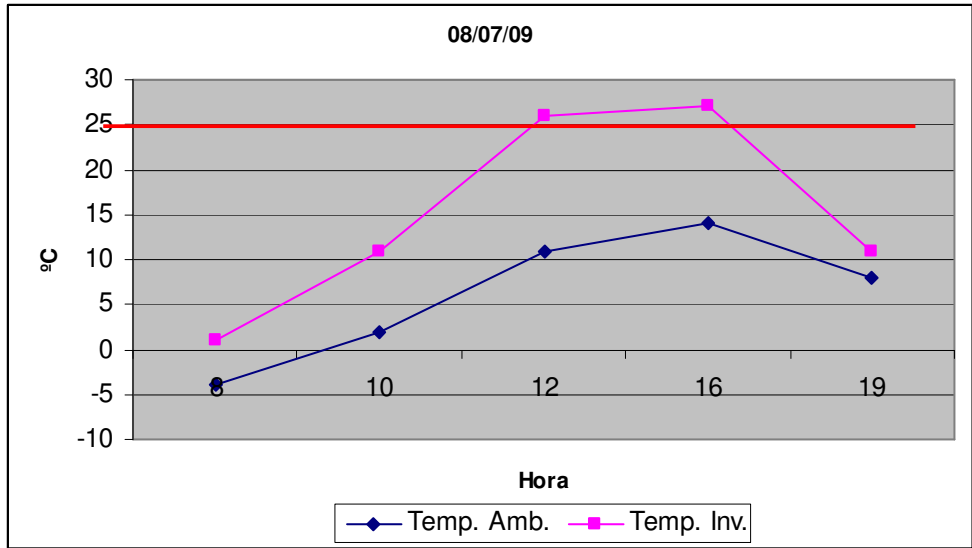
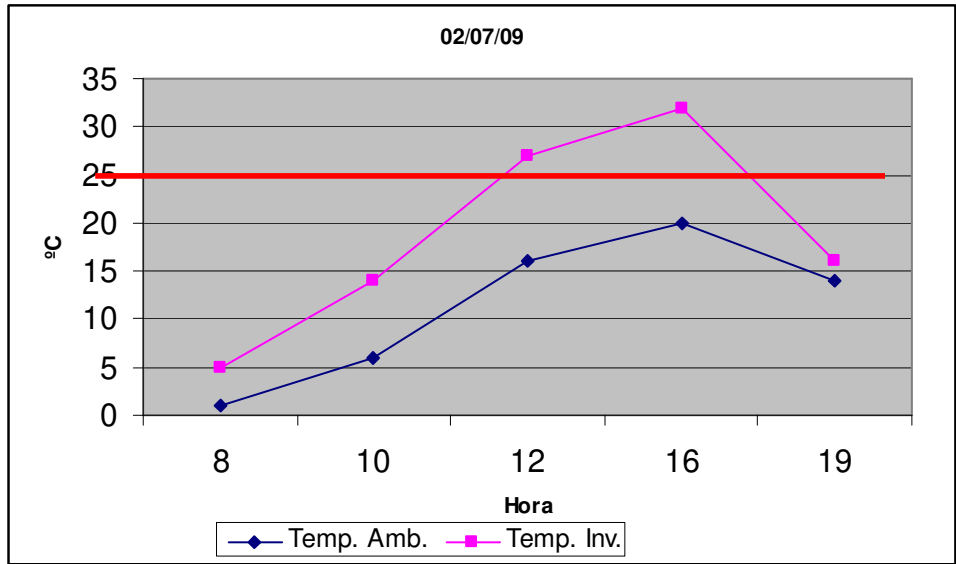
**02/07/09**

1C°	5C°	8hs
6C°	14C°	10hs
16C°	27C°	12hs
20C°	32C°	16hs
14C°	16C°	19hs

**08/07/09**

-4C°	1C°	8hs
2C°	11C°	10hs
11C°	26C°	12hs
14C°	27C°	16hs
8C°	11C°	19hs





Según datos de temperatura dentro de invernaderos obtenidos (18) los invernaderos fríos (los propuestos para construcción) son los más baratos de mantener, ya que consiste en una

estructura que sólo recibe el calor del sol. Si es zona de inviernos fríos, la temperatura interior del invernadero será aproximadamente de 5 °C por encima de la temperatura exterior.

Tomando esto como válido vemos que colocar el biodigestor dentro del invernadero nos proporcionaría un plus de calor importante. El calor restante estaría otorgado por un sistema de calefacción con agua caliente, a través de serpentinas dentro del biodigestor.

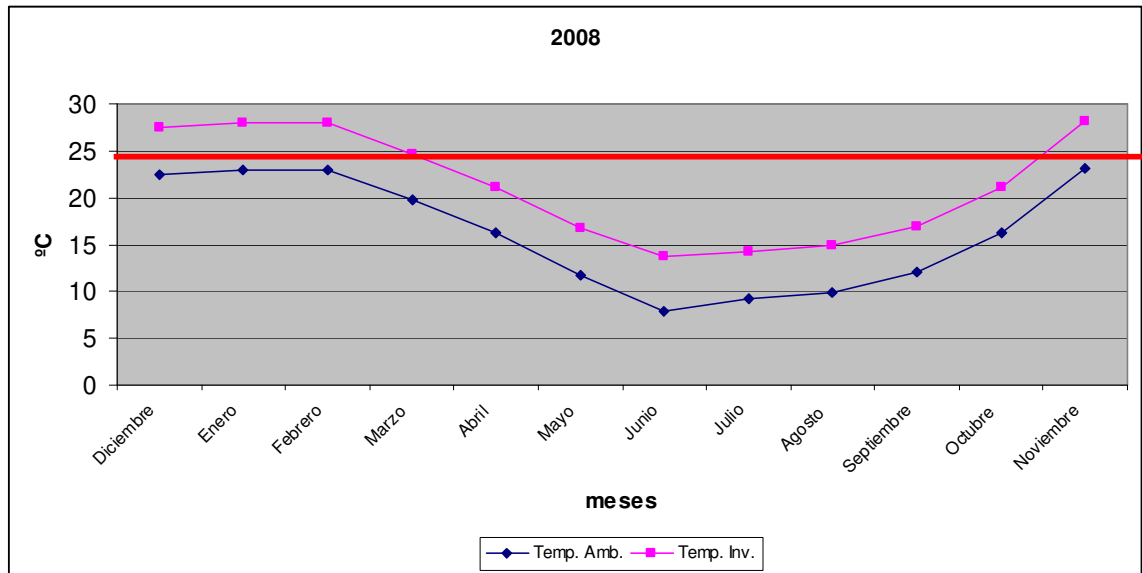
Hipotéticamente al valor promedio de cada mes le sumamos los 5° de diferencia del invernadero. Si bien, como vimos en los datos anteriores la variación en el día es importante, esto nos dará una idea de los meses que necesitaremos un mayor uso de energía para calefaccionar.

**Temperatura registrada en Santa Rosa en el año 2008 (17)**

Meses	Temp. Amb.	Temp. Inv.
Diciembre	22,5°C	27,5°C
Enero	23°C	28°C
Febrero	23°C	28°C
Marzo	19,7°C	24,7°C
Abril	16,2°C	21,2°C
Mayo	11,7°C	16,7°C
Junio	7,8°C	13,8°C
Julio	9,3°C	14,3°C
Agosto	9,9°C	14,9°C
Septiembre	12°C	17°C
Octubre	16,2°C	21,2°C
Noviembre	23,2°C	28,2°C

*Tabla 7: Suma hipotética de 5 °C a la temperatura ambiente dada por el invernadero.*





*El gráfico nos da una idea de cuales son los meses en que la temperatura del biodigestor está por encima del óptimo y en cuales habría que suministrale calor.*

**6.5. A partir de los datos obtenidos en los puntos anteriores es que se calcula el volumen y costo del biodigestor a construir.**

El volumen del biodigestor a construir es de 40.000 lts. Esto se determina a partir del volumen de residuos diario a tratar (571Kg/día + 650Lts. de agua) y el periodo de retención hidráulica (32 días) considerado necesario para degradar ese volumen de materia orgánica a una temperatura interna de 25 °C. Esto se logrará a partir de la instalación del biodigestor dentro de un invernadero y ayudado por la calefacción externa, la cual será suministrada por un colector solar.

Para el análisis económico se tomó como ejemplo el modelo de biodigestor de desplazamiento horizontal, con cúpula flexible de polietileno de alta densidad.

Para estimar la cantidad y tipo de materiales y su presupuesto correspondiente se recurrió al plano (ANEXO III), obtenido de la página web de Ingenieros Ambientales,

El costo aproximado para la construcción del biodigestor con las características arriba mencionada es de PESOS CINCUENTA Y DOS MIL CIENTO NOVENTA Y SIETE CON VEITICUATRO CENTAVOS (\$52.197,24) en valores del mes de enero de del año 2010.

A su vez el biodigestor visitado en la localidad de Emilia, Santa Fé presenta dimensiones y características constructivas similares al propuesto. Según sabemos el costo de instalación de este biodigestor ronda los 13.000 dólares, lo cual estaría en valores similares a los estudiados en el presente trabajo.

## INFORMACIÓN ECONÓMICA PARA LA FABRICACIÓN DEL BIODIGESTOR

<b>PRESUPUESTO CONSTRUCCIÓN BIODIGESTOR</b>			
<b>CANTIDADES</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PRECIO UNITARIO</b>	<b>PRECIO</b>
<b>CUBIERTA SUPERIOR</b>			
45	Lona "RAFIA" x mts2 (9 mts largo x 5 mts ancho)	\$ 26,25	\$ 1.181,25
2	Cono Hilo de 0,4 mm	\$ 13,65	\$ 27,30
1	Cemento contacto universal x lts	\$ 29,40	\$ 29,40
1	Bolsa Ojalillo de Bronce x Ø 0,25 Cm.	\$ 63,00	\$ 63,00
<b>Sub Total</b>			<b>\$ 1.300,95</b>
<b>CONECTORES</b>			
2	Caño PVC de 355 mm Ø de 6 kg presión x 6 mts	\$ 966,00	\$ 1.932,00
2	Codo PVC de 355 mm Ø de 6 kg presión x 6mts	\$ 367,50	\$ 735,00
<b>Sub Total</b>			<b>\$ 2.667,00</b>
<b>CALDERA</b>			
1	Calefon solar "FIASA" 400 lts CS_400/36 36 Tuvos de 57 mm.	\$ 8.920,80	\$ 8.920,80
50	Caño Hidrobronz DEKER 3/4 x mts	\$ 64,62	\$ 3.231,00
1	Bomba Centrífuga Villa Jet-Ja 100 M (BCE)	\$ 641,07	\$ 641,07
<b>Sub Total</b>			<b>\$ 12.792,87</b>
<b>GASÓMETRO</b>			
2	Chapas "Acero Dulce" de 2,4 x 1,2 x 1,6 mts	\$ 378,00	\$ 756,00
3	Caño Hierro Perfil "L" de 2" x 1/8	\$ 117,60	\$ 352,80
1	Caño Galvanizado 3" x 6 mts.	\$ 857,53	\$ 857,53
1	Caño Galvanizado 2,5" x 6 mts.	\$ 654,88	\$ 654,88
4	Pintura 2 x 1 (convertidor + esmalte sintético) x lts	\$ 43,00	\$ 172,00
<b>Sub Total</b>			<b>\$ 2.793,21</b>
<b>SISTEMA AGITACION MECANICO</b>			
2	Caño Galvanizado 3" x 6 mts.	\$ 857,53	\$ 1.715,06
2	Caño Galvanizado 2,5" x 6 mts.	\$ 654,88	\$ 1.309,76
1	Barra Hierro Construcción de 16 mm. X 12 mts	\$ 125,00	\$ 125,00
<b>Sub Total</b>			<b>\$ 3.149,82</b>
<b>INVERNADERO</b>			
1	Invernadero Tubular 14 mts. Largo x 7 mts. Ancho x 3 mts. Alto	\$7475,00	\$ 7.475,00
<b>Sub Total</b>			<b>\$ 7.475,00</b>
<b>SALIDA BIOGAS</b>			
1	Union doble mixta con brida epoxi 63 mm.	\$ 76,65	\$ 76,65
3	Codos epoxi x 63 mm.	\$ 65,10	\$ 195,30
2	Caños epoxi x 63 mm.	\$ 434,18	\$ 868,36
1	Tubo Hembra epoxi 63 a 50 mm	\$ 32,50	\$ 32,50
1	Valvula Esférica con Manija 63 mm.	\$ 440,48	\$ 440,48
8	Caños Galvanizados de 2" x 6 mts	\$ 516,10	\$ 4.128,80
6	Codos Galvanizado 2"	\$ 24,15	\$ 144,90
1	Reducción de 2" a 1/2"	\$ 11,23	\$ 11,23
1	Llave Esférica Bronce 1 1/2"	\$ 260,00	\$ 260,00
2	Caños galvanizado 1 1/2" x 6 mts	\$ 243,15	\$ 486,30
1	Cupla galvanizado 1 1/2" a 1"	\$ 11,55	\$ 11,55
4	Tee galvanizado 1 1/2" a 1"	\$ 17,85	\$ 71,40
8	Llave de Paso 1/2"	\$ 52,50	\$ 420,00
1	Caño galvanizado 1" x 6 mts	\$ 163,80	\$ 163,80
6	Cuplas galvanizado 2"	\$ 29,40	\$ 176,40
2	Litergirio x kg	\$ 53,55	\$ 107,10
1	Glicerina x kg	\$ 22,05	\$ 22,05
1	Manómetro de temperatura	\$ 55,65	\$ 55,65
<b>Sub Total</b>			<b>\$ 7.672,47</b>

BIODIGESTOR, PILETAS CARGA Y DESCARGA Y BASE GASOMETRO			
3000	Adobones	\$ 0,90	\$ 2.700,00
9	Arena medano x m <sup>3</sup>	\$ 80,00	\$ 720,00
10	Granza X m <sup>3</sup>	\$ 189,00	\$ 1.890,00
9	Arena río x m <sup>3</sup>	\$ 160,00	\$ 1.440,00
45	Bolsas cemento x bolsa 50 Kg. "Loma Negra"	\$ 28,00	\$ 1.260,00
30	Bolsas cal comun x bolsa 30 Kg.	\$ 14,00	\$ 420,00
6	Ceresita pasta x 10 Kg.	\$ 95,00	\$ 570,00
7	Baras hierro 4 mm X 12 mts	\$ 12,10	\$ 84,70
21	Baras hierro 10 mm x 12 mts	\$ 28,87	\$ 606,27
42	Tablas saligna 4 mts largo x 15 ancho x 2,5 cm. espesor	\$ 14,30	\$ 600,60
20	Tirantes saligna de 2,5 mts x 3" x 3"	\$ 13,20	\$ 264,00
15	Tirantes saligna de 2 mts 4" x4"	\$ 20,50	\$ 307,50
5	Clavos espiralados 4" x kg	\$ 13,97	\$ 69,85
10	Alambre fardo x kg	\$ 10,50	\$ 105,00
5	Pintura piscina x 20 lts "Sher Williams"	\$ 646	\$ 3.230,00
3	Pince N° 30	\$ 10,00	\$ 30,00
3	Rodillos N° 30	\$ 16,00	\$ 48,00
<b>Sub total</b>			<b>\$ 14.345,92</b>
<b>Total</b>			<b>\$ 52.197,24</b>

\* Presupuesto aproximado de materiales para la construcción del biodigestor.

#### 6.6. Conversión de la biomasa en biogás.

TIPO DE RESIDUO	CANTIDAD DISPONIBLE KG/DÍA	CONVERSIÓN en BIOGAS m <sup>3</sup> /KG ST	PRODUCCIÓN de BIOGAS m <sup>3</sup> /DÍA
RESTO COMIDA	216	0,09	19,4
ESTIÉRCOL VACUNO	60	0,03	1,8
ESTIÉRCOL PORCINO	239	0,06	14,1
ESTIÉRCOL AVIAR	56	0,04	2,24
<b>TOTAL DIARIO</b>	<b>571</b>		<b>37,54</b>

TABLA 6: Probable producción de biogás. Fuente: Groppelli y Grampaoli.

**6.7. Energías posibles de sustituir por el biogás.**

PRODUCIDO X DÍA 5500 Kcal/m <sup>3</sup>	EN GAS ENVASADO 12000 Kcal/kg	GAS NATURAL 9300 KG/m <sup>3</sup>	GAS-OIL 9211 KG/Lts	KW-H
37,54	17,22	22,08	22,34	36,07
m <sup>3</sup> /mes	kg/mes	m <sup>3</sup> /mes	Lts/mes	Kw-h/mes
1126,2	516,6	662,4	670,2	1082,1
m <sup>3</sup> /año	kg/año	m <sup>3</sup> /año	Lts/año	Kw-h/año
13702,1	6285,3	8059,2	8154,1	13165,5
Equivalente en \$ 13702,1 m <sup>3</sup> BIOGAS	Precio x kg (\$4,90) \$ 30.797,97	Precio por m <sup>3</sup> (\$0,17) \$ 1.370,06	Precio x litro (\$2,94) \$ 23.973,05	Precio x Kw-h (\$0,4938) \$ 6.501,12

*TABLA 7: Equivalentes energéticos del biogás.*

**6.8. Beneficios directos de la aplicación de un sistema de digestión anaeróbico utilizando un biodigestor de 40 m<sup>3</sup>, con una carga anual 208.415 Kg.**

A)_Biogás como fuente energía	Valor
1_ Producción neta anual de biogás (m <sup>3</sup> /año)	13.702,1
2_Equivalente neto a la combustión de combustible fósil (Kg. gas envasado)	6285,3
3_Precio comercial por Kg. de combustible fósil	\$4.90
4_Ahorro total anual por el uso del biogás (2x3)	<b>\$30.797,97</b>
B)_Efluentes como fertilizantes	
5_Mezcla Fertilizante de Nitrógeno, Fósforo y Potasio (equivalente a 3 ha)	\$343,8
C_Beneficios directos totales al año (4+5)	<b>\$31.141,77</b>

*TABLA 8: Beneficios del biogás y abono orgánico como reemplazo del gas envasado y fertilizante.*

**6.9. Beneficios económicos totales (\$) derivados de la aplicación de un biodigestor de desplazamiento horizontal en un periodo de 10 años.**

INGRESO/ AÑOS	0	1	2	3	4	5
VALOR BIOGAS	\$ 0,00	\$ 31.141,77	\$ 31.141,77	\$ 31.141,77	\$ 31.141,77	\$ 31.141,77
VALOR EFLUENTE	\$ 0,00	\$ 343,80	\$ 343,80	\$ 343,80	\$ 343,80	\$ 343,80
VALOR RECICLADO	\$ 0,00	\$ 503,10	\$ 503,10	\$ 503,10	\$ 503,10	\$ 503,10
BENEFICIOS	\$ 0,00	\$ 31.988,67	\$ 31.988,67	\$ 31.988,67	\$ 31.988,67	\$ 31.988,67
COSTOS/AÑOS	0	1	2	3	4	5
INSTALACION	\$ 52.197,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
MANTENIMIENTO	\$ 0,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 19.132,00
COSTOS	\$ 52.197,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 19.132,00

<b>COSTO TOTALES</b>	<b>\$ -52.197,00</b>	\$ 15.356,67	\$ 15.356,67	\$ 15.356,67	\$ 15.356,67	\$ 12.856,67
----------------------	----------------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

INGRESO/AÑOS	6	7	8	9	10
VALOR BIOGAS	\$ 31.141,77	\$ 31.141,77	\$ 31.141,77	\$ 31.141,77	\$ 31.141,77
VALOR EFLUENTE	\$ 343,80	\$ 343,80	\$ 343,80	\$ 343,80	\$ 343,80
VALOR RECICLADO	\$ 503,10	\$ 503,10	\$ 503,10	\$ 503,10	\$ 503,10
BENEFICIOS	\$ 31.988,67	\$ 31.988,67	\$ 31.988,67	\$ 31.988,67	\$ 31.988,67
COSTOS/AÑOS	6	7	8	9	10
INSTALACION	0	0	0	0	\$ 0
MANTENIMIENTO	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 19.132,00
COSTOS	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 19.132,00

<b>BENEFICIOS TOTALES</b>	\$ 15.356,67	\$ 15.356,67	\$ 15.356,67	\$ 15.356,67	\$ 12.856,67
---------------------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

*TABLA 9: Beneficios estimados de la instalación del biodigestor.*

**BENEFICIOS ESPERADOS DEL PROYECTO**

AÑOS	1	2	3	4	5
BENEFICIOS	\$ 15.356,67	\$ 15.356,67	\$ 15.356,67	\$ 15.356,67	\$ 12.856,00
AÑOS	6	7	8	9	10
BENEFICIOS	\$ 15.356,67	\$ 15.356,67	\$ 15.356,67	\$ 15.356,67	\$ 12.856,00

*TABLA 10: Beneficios posibles de obtener en 10 años con la producción de 13.702,1 m<sup>3</sup>/año de biogás, la venta de los residuos inorgánicos y la utilización del abono.*

VAN	\$ 29.038,10	13%
TIR	26%	

TABLA 11: Estimación del VAN sobre una tasa de interés del 13% y la TIR.

VAN	\$ 29.038,10	13%
VAN	\$ 10.776,57	20%
VAN	\$ 1.546,11	25%
VAN	-\$ 5.576,15	30%

TABLA 12: Reacción del VAN a distintas tasas de interés.

El Valor Actual Neto fue estimado sobre una tasa de interés anual del 13 %, que es la tasa de interés pasiva de mercado, en tanto se considera representativa para la situación de inversión analizada.

La Tasa Interna de Retorno indica el interés máximo que puede pagar el proyecto por los recurso invertidos, en este caso del 26%.

## ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

### BENEFICIO SIN TENER EN CUENTA EL RECICLADO Y EL ABONO

AÑOS	1	2	3	4	5
BENEFICIOS	\$ 14.509,77	\$ 14.509,77	\$ 14.509,77	\$ 14.509,77	\$ 12.009,77
AÑOS	6	7	8	9	10
BENEFICIOS	\$ 14.509,77	\$ 14.509,77	\$ 14.509,77	\$ 14.509,77	\$ 12.009,77

TABLA 13: Beneficios posibles de obtener en 10 años con la producción de 13.702,1 m<sup>3</sup>/año de biogás.

VAN	\$ 24.443,17	13%
TIR	24,1%	

TABLA 14: Estimación del VAN y la TIR. %0,24

Notamos que los elementos evaluados no tienen mucha incidencia en el resultado global.

**ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD. ESTIMACIÓN CON UNA MERMA DEL 10, 25 y 40%  
EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS.**

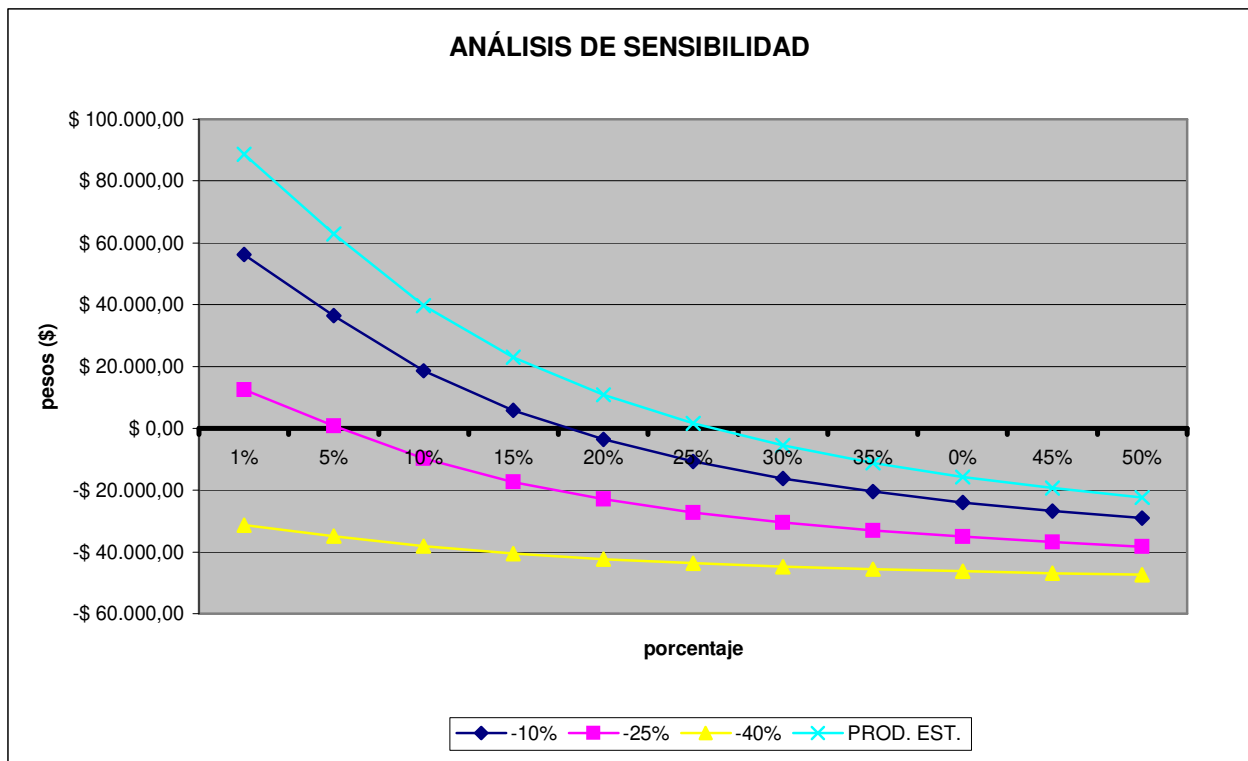
<b>A) Biogás como fuente de energía</b>	<b>Valor</b>
1_ Producción neta anual de biogás (m³/año)	12.331,90
2_Equivalente neto a la combustión de combustible fósil (Kg gas envasado)	5.656,70
3_Precio comercial por Kg. de combustible fósil	\$ 4,90
4_Ahorro total anual por el uso del biogas (2x3)	<b>\$ 27.717,83</b>
<b>B) Efluentes como fertilizantes</b>	
5_Mezcla Fertilizante de Nitrógeno, Fósforo y Potasio (equivalente a 3 ha)	\$ 343,80
C_Beneficios directos totales al año (4+5)	<b>\$ 28.061,63</b>
	<b>-10%</b>

<b>A) Biogás como fuente de energía</b>	<b>Valor</b>
1_ Producción neta anual de biogás (m³/año)	10.276,60
2_Equivalente neto a la combustión de combustible fósil (Kg gas envasado)	4713,9
3_Precio comercial por Kg. de combustible fósil	\$ 4,90
4_Ahorro total anual por el uso del biogas (2x3)	<b>\$ 23.098,11</b>
<b>B) Efluentes como fertilizantes</b>	
5_Mezcla Fertilizante de Nitrógeno, Fósforo y Potasio (equivalente a 3 ha)	\$ 343,80
C_Beneficios directos totales al año (4+5)	<b>\$ 23.441,91</b>
	<b>-25%</b>

<b>A) Biogás como fuente de energía</b>	<b>Valor</b>
1_ Producción neta anual de biogás (m³/año)	6.851,05
2_Equivalente neto a la combustión de combustible fósil (Kg gas envasado)	3142,65
3_Precio comercial por Kg. de combustible fósil	\$ 4,90
4_Ahorro total anual por el uso del biogas (2x3)	<b>\$ 15.398,99</b>
<b>B) Efluentes como fertilizantes</b>	
5_Mezcla Fertilizante de Nitrógeno, Fósforo y Potasio (equivalente a 3 ha)	\$ 343,80
C_Beneficios directos totales al año (4+5)	<b>\$ 15.742,79</b>
	<b>-40%</b>



El análisis de sensibilidad permite evaluar cuáles son los elementos de cuya evolución el proyecto es más dependiente y de esa manera plantear distintos escenarios que puedan ser pesimistas u optimistas. Para este caso en particular el análisis realizado sobre los rendimientos en la producción de biogás muestra que el proyecto sigue teniendo un VAN positivo pese a la merma del 10% en dicha producción.



*El gráfico permite visualizar los parámetros a los cuales es sensible el proyecto. Soportando hasta una merma del 10% con las actuales tasas de interés.*

## 7. CONCLUSIONES

Se pudo comprobar que el sistema de biodigestión propuesto para el tratamiento de los desechos sólidos orgánicos en la Colonia Penal es apropiado para el tratamiento ecológico de dichos residuos. Que el trabajo realizado confirma que la instalación del biodigestor permitirá el tratamiento de 205.560 Kg/año de residuos sólidos orgánicos y al mismo tiempo reciclar 29.520 Kg/año de residuos sólidos inorgánicos.

Asimismo el análisis económico realizado permite confirmar la factibilidad del proceso en términos de beneficio por encima del recuperado de la inversión inicial.

La utilización del método de valor actualizado neto (VAN), permite medir el excedente absoluto de los beneficios, sobre los costos actualizados a una tasa de interés del 13% con un resultado positivo de \$29.038,10.

La utilización del cálculo de la tasa interna de retorno (TIR) del proyecto es del 26%, tasa por encima de la tasa de interés de mercado (13%), lo cual es indicativo de la factibilidad económica del proceso.

Por su parte el análisis de sensibilidad muestra que el proyecto es sensible a una merma mayor al 10% en la producción de biogas. No así en el valor del reciclado y la sustitución del fertilizante por abono orgánico.

Además de los indicadores económicos favorables y la holgada recuperación de la inversión inicial, el proyecto genera importantes beneficios ambientales no valorados económicamente en el presente trabajo, los cuales cualitativamente se mencionan a continuación:

- a) Reducción en la emisión de gases de efectos invernaderos (CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>). El porcentaje de esta reducción va a estar en relación a la energía que elijamos sustituir (Gas envasado, gas natural, gasoil, naftas, electricidad) por parte del biogás.
- b) Sustituto de energías no renovables.
- c) Mitigación y Control de la contaminación al evitar la lixiviación del estiércol a las napas subterráneas.
- d) Reducción de patógenos, moscas y roedores factibles de provocar enfermedades.

- e) Reciclado de Residuos Sólidos Inorgánicos generados en el penal.

El biodigestor a construir necesita de un volumen que ronda los 40 metros cúbicos para tratar los 571 Kg/día de desecho orgánico, con un período de retención hidráulica de 32 días a una temperatura de trabajo de 25 °C. Esto se logra por medio de serpentinas que transfieren calor dentro del biodigestor. La necesidad de calefaccionar el biodigestor está dado por el clima en nuestra región, teniendo una amplitud térmica considerable entre verano e invierno y entre el día y la noche.

El presupuesto para la construcción del biodigestor fue realizado con los precios de comercios de la zona. Se tomó como base el plano de construcción modificado de la página Energías Alternativas –Biogas (<http://www.ingenieroambiental.com>). A su vez se estudió “in situ” el costo que tuvo el biodigestor de desplazamiento horizontal instalado en la localidad de Emilia, Santa Fé, el cual fue de u\$s13.000 (4). Este biodigestor cuenta con características y tamaño recomendado por distintas fuentes (2), entre otras, para tratar esa cantidad de residuos.

*La vida útil del biodigestor propuesto ronda los 20 años.* En el lapso de tiempo se habrán tratado 4.111,2 TN de residuos sólidos orgánicos y reciclado 1.555,2 TN de residuos sólidos inorgánicos.

## **8. Comentarios finales**

Es de destacar que toda la bibliografía abordada sobre el tema pone a los biodigestores como una alternativa válida para el tratamiento ecológico de los residuos sólidos orgánicos. Inclusive, dicha tecnología, se está llevando adelante con éxito en distintos países, tanto en los desarrollados, como en otros con diferentes estadios de desarrollo. Asimismo en la Argentina, en la localidad de Emilia, San Fé, esta funcionando un biodigestor con mucho éxito, lo que corrobora la viabilidad de esta tecnología a través de los años desde su puesta en funcionamiento. Cabe destacar que las condiciones climáticas de dicho lugar son muy distintas a la de la localidad del presente trabajo, siendo necesaria la incorporación de distintos elementos tecnológicos para salvar este inconveniente ambiental.

En países desarrollados como el caso de Alemania la digestión anaeróbica se lleva a cabo como una medida de mitigación frente a la potencial contaminación que pueden causar producciones intensivas de tambo, feet loot, porcina, aviar, frigoríficos, etc.

El presente trabajo intentó aportar mayores elementos de análisis para la utilización local de biodigestores, y demostrar la factibilidad operativa y económica de esta tecnología para tratar residuos orgánicos. Pero también deja ver que, más allá de lo económico, la prioridad para su aplicación también está dada por su capacidad para tratar ecológicamente residuos, poniendo al plano medioambiental por encima del económico.

Las preguntas que se generan al finalizar el presente trabajo son: ¿Hasta cuándo, en lo institucional, el plano económico va a decidir nuestro futuro en cuánto se refiere a las contaminaciones? ¿Por qué hay tan poca divulgación en el país de los beneficios de esta tecnología? ¿Por qué no se exige y reglamenta esta metodología como medida de mitigación de actividades productivas intensivas que potencialmente puede contaminar el medioambiente? ¿Siendo la acumulación final de los residuos urbanos un problema importante de nuestro país y en la ciudad de Santa Rosa, por qué no se han implementado medidas ecológicas más enérgicas para su tratamiento?

Está claro que en vista de un futuro mejor para todos, y de un medioambiente más saludable en el cual vivir, el uso de tecnologías socialmente apropiadas para el tratamiento de los desechos orgánicos de distintas actividades, no debiera ser una opción a considerar, sino una exigencia a asumir por la sociedad toda.

## 9. BILIOGRAFÍA

1. Aguilar, F. X. y Botero, R., 2006. Revista de la Universidad EARTH. “Los beneficios económicos totales de la producción de biogas utilizando un biodigestor de polietileno de bajo costo”. (<http://usi.earth.ac.cr/tierratropical.pdf>).
2. Botero, Raúl y Preston, Thomas, 1978: Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas. “Manual para su instalación, operación y utilización”.
3. Decara, Lorena; Sandoval, Gabriel; Funes, Claudio, 2004. “El uso de biodigestores en el sistema caprino de la Provincia de Córdoba. Universidad Nacional de Río Cuarto. ([http://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_caprina/28-biodigestores\\_caprinos.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_caprina/28-biodigestores_caprinos.pdf)).
4. Fundación Hábitat, Colombia, 2005. Biodigestores. “Una alternativa a la autosuficiencia energética y de biofertilizantes”.
5. GERARDO, Mariscal Landín, 2007. “Producción diaria de excretas según el tipo de cerdo”. FAO. Cap 7. ([http://www.produccionbovina.com/produccion\\_bovina/63-excreta\\_cerdos.pdf](http://www.produccionbovina.com/produccion_bovina/63-excreta_cerdos.pdf)).
6. Gropelli y Granpaoli, 2001. “El camino de la biodigestión”. Centro de publicaciones. Secretaría de extensión. UNL. Sante Fe.
7. Hilbert, Jorge A., 2008. ”Insumos para la producción de biocombustibles”. Estudio exploratorio. INTA Castelar. (<http://www.inta.gov.ar>).

8. Hilbert, Jorge A., 2008. Proyecto integrado: “Desarrollo de herramientas para el crecimiento sostenido de la producción de bioenergía a partir de diversas fuentes”. INTA Castelar. (<http://www.inta.gov.ar>).
9. Gutterer, B., 1993). “Biogas survey cross sectional analyses of biogas dissemination programs”. 57pp.
10. Florean, R.; Panichelli, L. A.; Hilbert, J. A., 2005). “Software para la evaluación técnico económica financiera de biodigestores rurales”. INTA Castelar. (<http://www.inta.gov.ar>).
11. Manual de Evaluación de Proyectos de Inversión, INTA 1994.
12. Marchaim, 1992. “El biodigestor”. (<http://www.proyectosfindecarrera.com/definicion/bodigestor.htm>).
13. Ministerio de Seguridad y Derechos Humanos de La Nación.
14. Román Marcela E., 2001. “Diseño y Evaluación Financiera de Proyectos Agropecuarios”.
15. Sistema Nacional de Estadística sobre Ejecuciones de la Pena-SNEEP-Año 2004. Dirección de Política Criminal, Subsecretaria de Política Criminal, Ministerio de Justicia y Derechos Humanos. (<http://www.pensamientopenal.com.ar/42pena.pdf>).
16. <http://biodigestores.org>.
17. <http://clima.meteored.com/clima-en-santa+rosa+aero-876230-2008-.html>.
18. <http://articulos.infojardin.com/huerto/invernaderos-clima-cultivo.htm>

## ANEXO I: FOTOS.

### Biodigestor de la localidad de Emilia, Santa Fé.

**Figura 1**



**Figura 1:** Cámara de Carga. Acá se colocan los desechos orgánicos para ser tratados dentro del biodigestor.

**FUGURA 2**



**Figura 2.** Vista en primer plano de la parte superior de la cámara de digestión. También se aprecian las manijas de agitación manual y al fondo la cámara de descarga.

**FIGURA 3**



**FIGURA 4**



**Figuras 3 y 4:** Vista de la cámara de digestión y del caño de salida del biogas desde la cámara.



**FIGURA 5**



**Figura 5:** Cámara de descarga. Acá llegan los residuos ya tratados (abono orgánico).

**FIGURA 6**



**Figura 6:** Gasómetro. Lugar de almacenamiento del biogás.

**FIGURA 7**



**Figura 7:** Cámara que une el caño que trae biogás del biodigestor, el caño que va al gasómetro y el caño de salida de biogás hacia la cocina.

**FIGURA 8**



**Figura 8:** Cámara que une el caño que trae biogás del biodigestor, el caño que va al gasómetro y el caño de salida de biogás hacia la cocina.

**FIGURA 9**



**Figura 9:** Caño de salida de biogas desde la cámara de unión hacia la cocina.

**FIGURA 10**



**Figura 10:** Caño de entrada de biogas a la cocina.

**FIGURA 11**



Figura 11: Caño de bajada del biogás hacia el mechero.

**FIGURA 12**



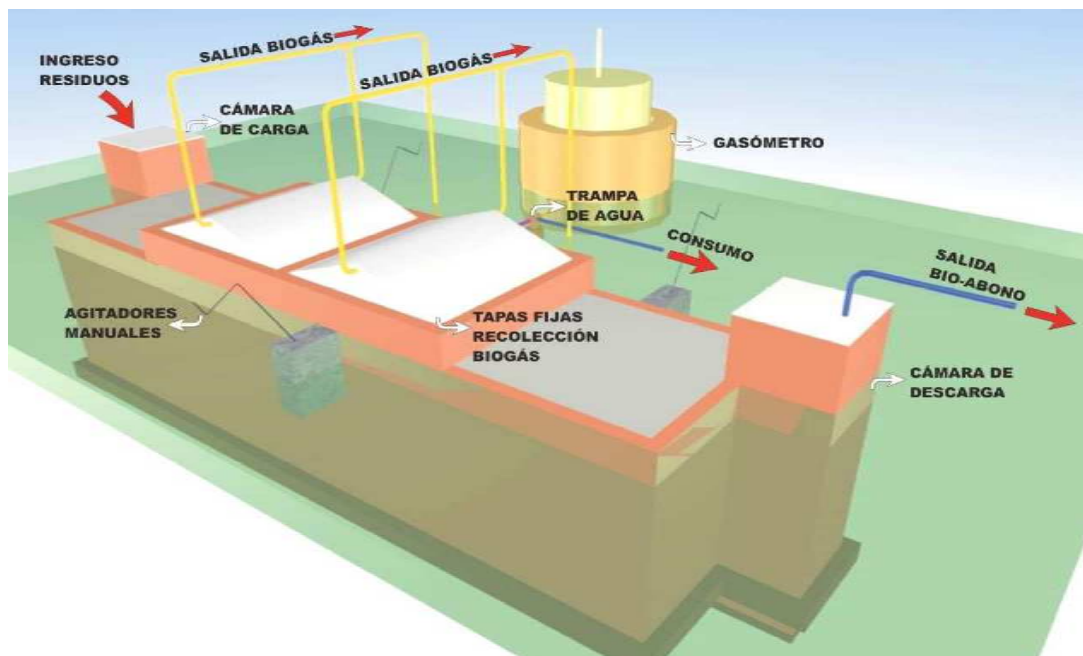
**Figura 12:** Mechero.

**FIGURA 13**



**Figura 13:** Mechero encendido a base de biogás.

**FIGURA 14**



**Figura 14:** Modelo de Biodigestor de Desplazamiento Horizontal utilizado en Emilia. Fuente: Universidad Nacional del Litoral

## ANEXO II

### TABLAS UTILIZADAS PARA EL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.

#### BENEFICIOS CON UNA MERMA DEL 10% EN LA PRIDUCCIÓN DE BIOGAS.

INGRESO/ AÑOS	0	1	2	3	4	5
VALOR BIOGAS	\$ 0,00	\$ 27.717,83	\$ 27.717,83	\$ 27.717,83	\$ 27.717,83	\$ 27.717,83
VALOR EFLUENTE	\$ 0,00	\$ 343,80	\$ 343,80	\$ 343,80	\$ 343,80	\$ 343,80
VALOR RECICLADO	\$ 0,00	\$ 503,10	\$ 503,10	\$ 503,10	\$ 503,10	\$ 503,10
BENEFICIOS	\$ 0,00	\$ 28.564,73	\$ 28.564,73	\$ 28.564,73	\$ 28.564,73	\$ 28.564,73
COSTOS/AÑOS	0	1	2	3	4	5
INSTALACION	\$ 52.197,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
MANTENIMIENTO	\$ 0,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 19.132,00
COSTOS	\$ 52.197,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 19.132,00

<b>BENEFICIOS TOTALES</b>	<b>\$ -52.197,00</b>	\$ 11.932,73	\$ 11.932,73	\$ 11.932,73	\$ 11.932,73	\$ 9.432,73
-------------------------------	----------------------	--------------	--------------	--------------	--------------	-------------

INGRESO/AÑOS	6	7	8	9	10
VALOR BIOGAS	\$ 27.717,83	\$ 27.717,83	\$ 27.717,83	\$ 27.717,83	\$ 27.717,83
VALOR EFLUENTE	\$ 343,80	\$ 343,80	\$ 343,80	\$ 343,80	\$ 343,80
VALOR RECICLADO	\$ 503,10	\$ 503,10	\$ 503,10	\$ 503,10	\$ 503,10
BENEFICIOS	\$ 28.564,73	\$ 28.564,73	\$ 28.564,73	\$ 28.564,73	\$ 28.564,73
COSTOS/AÑOS	6	7	8	9	10
INSTALACION	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
MANTENIMIENTO	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 19.132,00
COSTOS	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 19.132,00

<b>BENEFICIOS TOTALES</b>	\$ 11.932,73	\$ 11.932,73	\$ 11.932,73	\$ 11.932,73	\$ 9.432,73
-------------------------------	--------------	--------------	--------------	--------------	-------------

#### DETERMINACIÓN DEL VAN Y LA TIR.

<b>VAN</b>	\$ 10.459,53	13%
<b>TIR</b>	18%	

10%	
56179,64	1%
36450,78	5%
18608,3	10%
5829,71	15%
<b>\$ -3.577,82</b>	20%
<b>\$ -10.678,78</b>	25%
<b>\$ -16.161,16</b>	30%
<b>\$ -20.481,00</b>	35%
<b>\$ -23.947,77</b>	0%
<b>\$ -26.776,13</b>	45%
<b>\$ -29.117,98</b>	50%

#### DETERMINACIÓN DEL VAN A DISTINTAS TASAS DE INTERES

**BENEFICIOS TOTALES EN LOS 10 AÑOS DE ANÁLISIS.**

<b>INVERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>AÑOS</b>
<b>\$ -52.197,00</b>	\$ 11.932,73	\$ 11.932,73	\$ 11.932,73	\$ 11.932,73	\$ 9.432,73	<b>BENEFICIOS</b>
	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>AÑOS</b>
	\$ 11.932,73	\$ 11.932,73	\$ 11.932,73	\$ 11.932,73	\$ 9.432,73	<b>BENEFICIOS</b>

**BENEFICIOS CON UNA MERMA DEL 25% EN LA PRODUCCIÓN DEL BIOGAS.**

<b>INGRESO/ AÑOS</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
VALOR BIOGAS	\$ 0,00	\$ 23.098,11	\$ 23.098,11	\$ 23.098,11	\$ 23.098,11	\$ 23.098,11
VALOR EFLUENTE	\$ 0,00	\$ 343,80	\$ 343,80	\$ 343,80	\$ 343,80	\$ 343,80
VALOR RECICLADO	\$ 0,00	\$ 503,10	\$ 503,10	\$ 503,10	\$ 503,10	\$ 503,10
BENEFICIOS	\$ 0,00	\$ 23.945,01	\$ 23.945,01	\$ 23.945,01	\$ 23.945,01	\$ 23.945,01
<b>COSTOS/AÑOS</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
INSTALACION	\$ 52.197,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
MANTENIMIENTO	\$ 0,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 19.132,00
COSTOS	\$ 52.197,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 19.132,00

<b>BENEFICIOS TOTALES</b>	<b>\$ -52.197,00</b>	\$ 7.313,01	\$ 7.313,01	\$ 7.313,01	\$ 7.313,01	\$ 4.813,01
---------------------------	----------------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

<b>INGRESO/AÑOS</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
VALOR BIOGAS	\$ 23.098,11	\$ 23.098,11	\$ 23.098,11	\$ 23.098,11	\$ 23.098,11
VALOR EFLUENTE	\$ 343,80	\$ 343,80	\$ 343,80	\$ 343,80	\$ 343,80
VALOR RECICLADO	\$ 503,10	\$ 503,10	\$ 503,10	\$ 503,10	\$ 503,10
BENEFICIOS	\$ 23.945,01	\$ 23.945,01	\$ 23.945,01	\$ 23.945,01	\$ 23.945,01
<b>COSTOS/AÑOS</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
INSTALACION	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
MANTENIMIENTO	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 19.132,00
COSTOS	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 19.132,00

<b>BENEFICIOS TOTALES</b>	\$ 7.313,01	\$ 7.313,01	\$ 7.313,01	\$ 7.313,01	\$ 4.813,01
---------------------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

**DETERMINACIÓN DEL VAN Y LA TIR.**

VAN	<b>\$ -14.608,20</b>	13%
TIR	5%	

**DETERMINACIÓN DEL VAN A DISTINTAS TASAS DE INTERES**

25%	
\$ 12.424,86	1%
\$ 778,53	5%
\$ -9.777,88	10%
\$ -17.355,60	15%
\$ -22.945,87	20%
\$ -27.173,51	25%
\$ -30.443,21	30%
\$ -33.023,74	35%
\$ -35.097,80	40%
\$ -36.792,30	45%
\$ -38.197,19	50%

**BENEFICIOS TOTALES EN LOS 10 AÑOS DE ANÁLISIS.**

INVERSION	1	2	3	4	5	AÑOS
\$ -52.197,00	\$ 7.313,01	\$ 7.313,01	\$ 7.313,01	\$ 7.313,01	\$ 4.813,01	BENEFICIOS
	6	7	8	9	10	AÑOS
	\$ 7.313,01	\$ 7.313,01	\$ 7.313,01	\$ 7.313,01	\$ 4.813,01	BENEFICIOS

**BENEFICIOS CON UNA MERMA DEL 40% EN LA PRODUCCIÓN DEL BIOGAS.**

INGRESO/ AÑOS	0	1	2	3	4	5
VALOR BIOGAS	\$ 0,00	\$ 18.478,88	\$ 18.478,88	\$ 18.478,88	\$ 18.478,88	\$ 18.478,88
VALOR EFLUENTE	\$ 0,00	\$ 343,80	\$ 343,80	\$ 343,80	\$ 343,80	\$ 343,80
VALOR RECICLADO	\$ 0,00	\$ 503,10	\$ 503,10	\$ 503,10	\$ 503,10	\$ 503,10
BENEFICIOS	\$ 0,00	\$ 19.325,78	\$ 19.325,78	\$ 19.325,78	\$ 19.325,78	\$ 19.325,78
COSTOS/AÑOS	0	1	2	3	4	5
INSTALACION	\$ 52.197,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
MANTENIMIENTO	\$ 0,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 19.132,00
COSTOS	\$ 52.197,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 19.132,00

BENEFICIOS TOTALES	0	1	2	3	4	5
	\$ -52.197,00	\$ 2.693,78	\$ 2.693,78	\$ 2.693,78	\$ 2.693,78	\$ 193,78

INGRESO/AÑOS	6	7	8	9	10
VALOR BIOGAS	\$ 18.478,88	\$ 18.478,88	\$ 18.478,88	\$ 18.478,88	\$ 18.478,88
VALOR EFLUENTE	\$ 343,80	\$ 343,80	\$ 343,80	\$ 343,80	\$ 343,80
VALOR RECICLADO	\$ 503,10	\$ 503,10	\$ 503,10	\$ 503,10	\$ 503,10
BENEFICIOS	\$ 19.325,78	\$ 19.325,78	\$ 19.325,78	\$ 19.325,78	\$ 19.325,78
COSTOS/AÑOS	6	7	8	9	10
INSTALACION	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
MANTENIMIENTO	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 19.132,00
COSTOS	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 16.632,00	\$ 19.132,00

BENEFICIOS TOTALES	6	7	8	9	10
	\$ 2.693,78	\$ 2.693,78	\$ 2.693,78	\$ 2.693,78	\$ 193,78



VAN	\$ -47.275,44	13%
TIR	-14%	

**DETERMINACIÓN DEL VAN Y LA TIR.**

**DETERMINACIÓN DEL VAN A DISTINTAS TASAS DE INTERES**

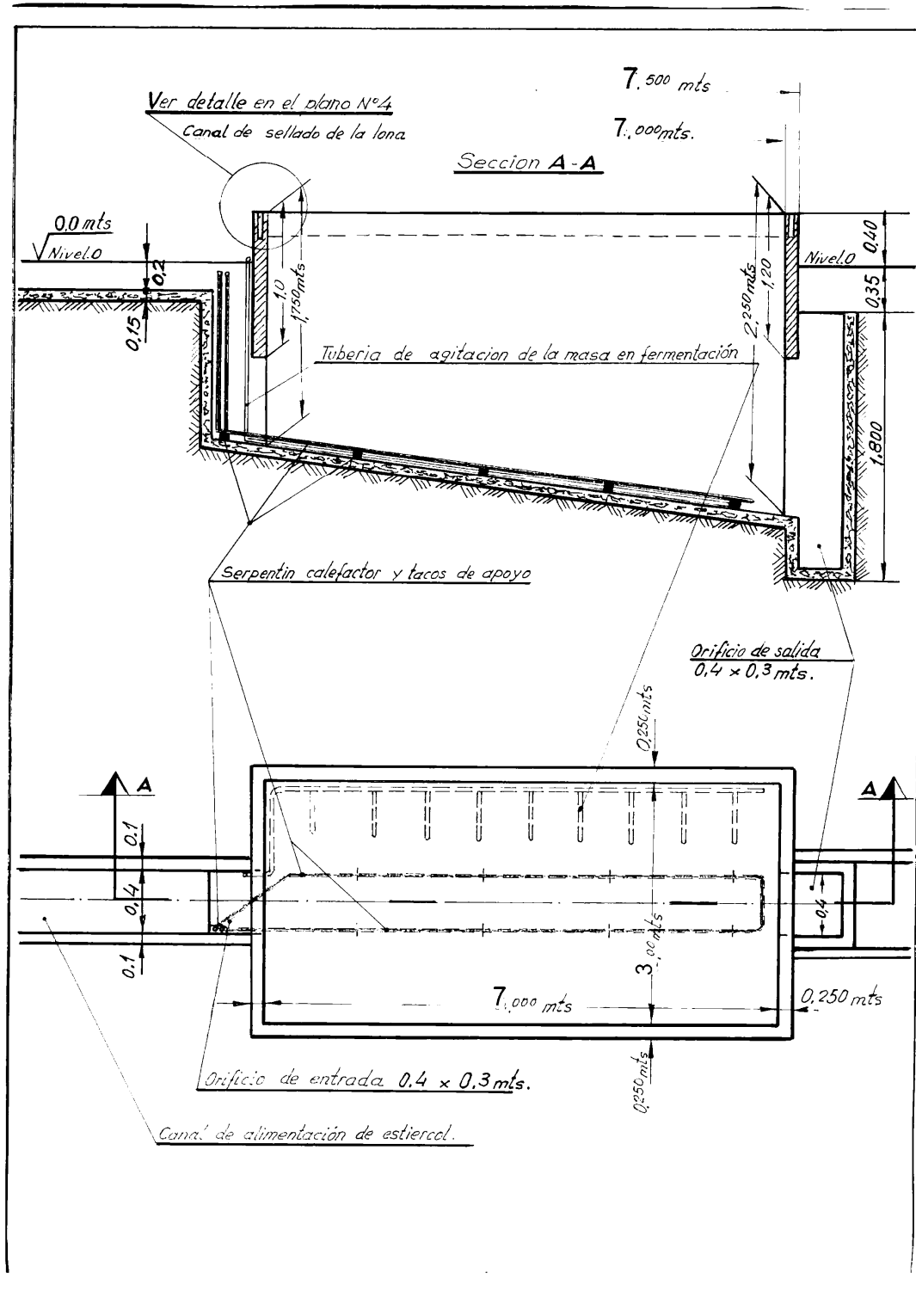
40%	
\$ -31.325,17	1%
\$ -34.889,94	5%
\$ -38.161,05	10%
\$ -40.538,45	15%
\$ -42.311,86	20%
\$ -43.666,49	25%
\$ -44.723,74	30%
\$ -45.565,14	35%
\$ -46.246,64	40%
\$ -46.807,41	45%
\$ -47.275,44	50%

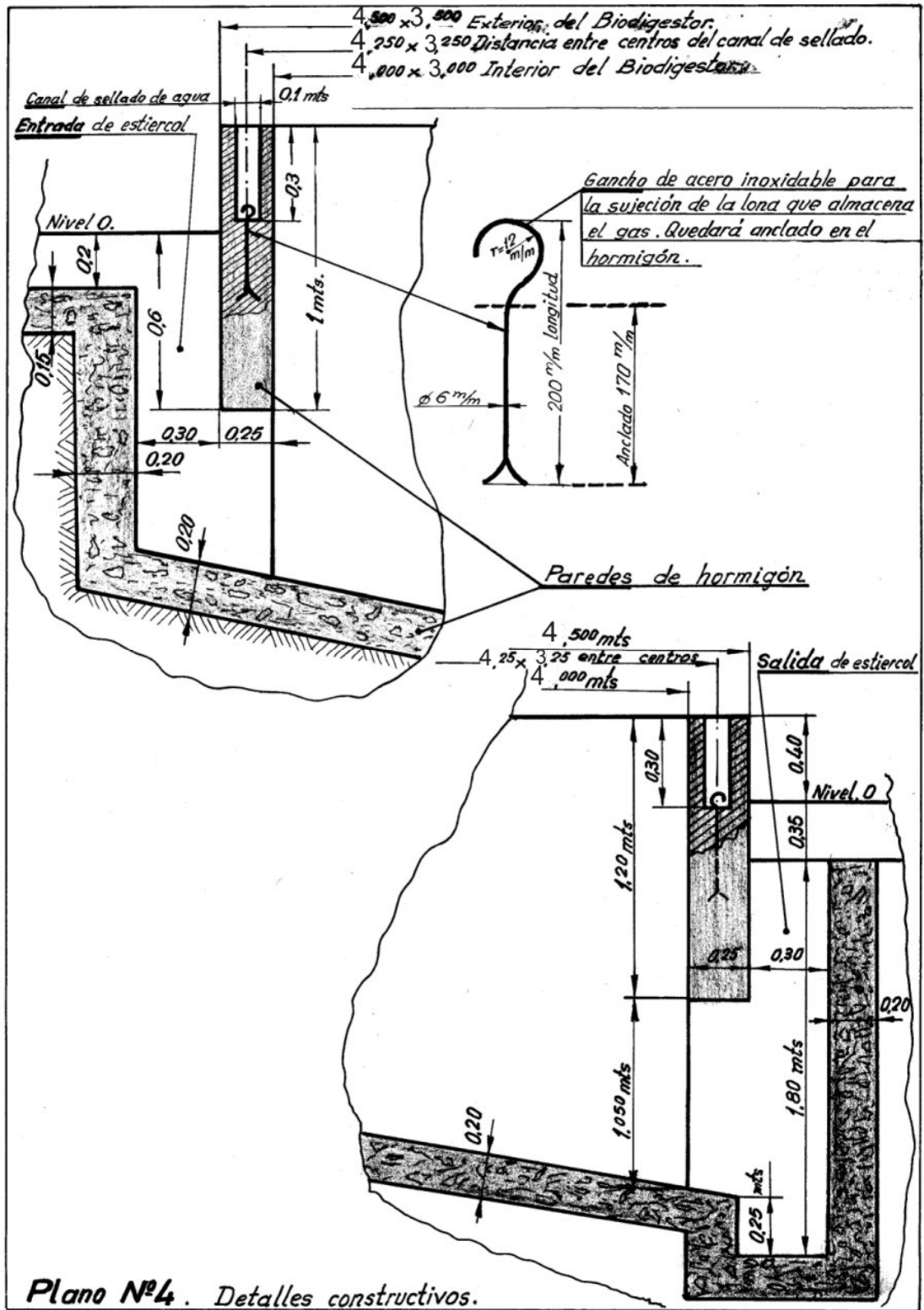
**BENEFICIOS TOTALES EN LOS 10 AÑOS DE ANÁLISIS.**

INVERSION	1	2	3	4	5	ANOS
\$ -52.197,00	\$ 2.693,78	\$ 2.693,78	\$ 2.693,78	\$ 2.693,78	\$ 193,78	BENEFICIOS
	6	7	8	9	10	AÑOS
	\$ 2.693,78	\$ 2.693,78	\$ 2.693,78	\$ 2.693,78	\$ 193,78	BENEFICIOS

**ANEXO III**

***PLANO DE CONSTRUCCIÓN DEL BIODIGESTOR***





\*Plano obtenido y modificado de Producción de Energías Alternativas.