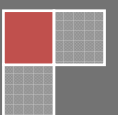


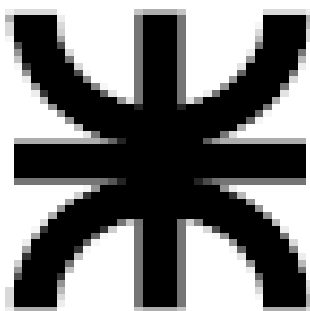
Año  
2014

# *Valorización de residuos orgánicos de comida y cáscara de cítricos para la producción de biogás y abono orgánico*



Ing. Juan Ignacio Valls  
Universidad Tecnológica Nacional.  
Facultad Regional Concepción del Uruguay.





**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL  
FACULTAD REGIONAL CONCEPCION DEL  
URUGUAY**

Tesis presentada para obtener el grado académico de  
Magíster en Ingeniería Ambiental

***Valorización de residuos orgánicos de  
comida y cáscara de cítricos para la  
producción de biogás y abono  
orgánico.***

**Autor:** Ing. Juan Ignacio Valls

**Director de Tesis:** Ing. Eduardo Groppelli

**Año de presentación:** 2014

## **RESUMEN**

Con éste trabajo se pudo demostrar la posibilidad de generar energía renovable, biogás, por la biodigestión anaeróbica del subproducto cáscaras de frutas cítricas, provenientes del proceso de obtención de jugos concentrados, y restos de comida provenientes del comedor de nuestra planta industrial.

Se pudieron capacitar operadores, técnicos, analistas y supervisores, de diversas áreas, en temas relacionados al Medio Ambiente en general, y luego de manera específica, a operadores del sector Tratamientos de Efluentes, en los fundamentos de la biodigestión anaeróbica.

Se diseñaron y fabricaron un biodigestor piloto, un gasómetro, un sistema de control de temperatura, un medidor de presión por columna de agua, y se pudieron determinar con elementos del Laboratorio de nuestra planta, porcentajes de metano presentes en el biogás, estabilidad, PH y porcentaje de aceite en cáscara.

También se midieron variables de los diferentes sustratos utilizados, tales como SV y ST, y del biolodo se analizaron porcentajes de Potasio, Nitrógeno, Fósforo y materia orgánica, a través de análisis realizados en el Laboratorio de Análisis Físicos-Químicos de la Universidad Nacional de Entre Ríos (UNER). Con dichos valores se pudo concluir su potencial uso como fertilizante de manera controlada.

Este proyecto generó en la empresa otra visión respecto al tema, en donde se deduce que puede aplicarse desde el comienzo en nuevos proyectos o emprendimientos industriales, dado que es una tecnología apropiada para poder manejar con recursos propios en nuestro país.

En lo que respecta a la transferencia y aplicación, en la PTRSU de Chajarí están interesados en aplicar dicha tecnología, pudiendo así resolver el problema actual con las frutas cítricas que reciben de los empaques de la zona.

## **AGRADECIMIENTOS**

Como es de esperar, la ayuda de muchas personas hicieron posible éste trabajo de investigación, y por ello quiero agradecerles a todos por el acompañamiento.

En primer lugar quiero agradecer a mi Director de Tesis, el Ingeniero Eduardo Groppelli, que estuvo siempre presente ante las dudas que iba teniendo en las diferentes etapas de ésta tesis.

A la Ingeniera Marta Begué, quien me ayudó a definir el tema, y me facilitó bibliografía del tema en cuestión.

A la empresa RPB SA, cuyo aporte me acompañó desde el primer momento en el que elegí estudiar ésta Maestría, y luego en el transcurso de la misma, con todos los recursos materiales y humanos.

A las responsables del comedor de planta, Daniela Fernández y Dolores Monzón, quienes tuvieron la amabilidad de ayudarme a registrar cuantas personas comían por día, y cuanto residuo se generaba.

A los operadores del sector Tratamientos de Efluentes, Gustavo Farneda, René Rohr y Roberto Lazo, quienes se sumaron a éste proyecto, y cuidaron día a día del biodigestor piloto, o “la criatura”, como a ellos les gusta llamarlo.

A los Ingenieros Oscar Gerard y Andrea Dallazuana, quienes me ayudaron a realizar diversas determinaciones analíticas, reutilizando y reformando algunos materiales de vidrio que estaban en planta para otros usos.

A los mecánicos y electricistas que colaboraron en la construcción del biodigestor, gasómetro y sistema de control, Martín Gómez, Germán Klaus, Pablo Volpi, Matías Casañas, Walter Godoy, Alexis Rondán y Matías Godoy Fabre. A Rafael Nuñez, quien me acompañó a buscar estiércol caballar en dos oportunidades.

A la Geóloga Alicia Rossi, que fue compañera de clases, y me ayudó en el armado de la Tesis.

A la Ingeniera Agrónoma Natalia Tesón, por colaborar con información respecto al posible uso del biolodo en suelos de árboles frutales.

En lo personal a mi familia, mis hijas Guillermina, Josefina, y especialmente a mi esposa María José, por alentarme, y acompañarme en mi deseo de seguir perfeccionándome.

# INDICE

RESUMEN.....	3
AGRADECIMIENTOS .....	4
INDICE.....	6
LISTADO DE TABLAS.....	9
LISTADO DE FIGURAS.....	10
LISTADO DE APENDICES.....	11
LISTADO DE PLANOS.....	12
LISTADO DE ABREVIACIONES.....	13
DATOS GENERALES.....	14
<b>I. CAPITULO 1. INTRODUCCION GENERAL.....</b>	<b>15</b>
I.1 JUSTIFICACION DEL TEMA.....	16
I.2 FUNDAMENTACION DEL TEMA .....	18
I.3 OBJETIVOS.....	23
I.4 METODOLOGIA DE DESARROLLO.....	25
<b>II. CAPITULO 2. MATERIALES Y METODOS .....</b>	<b>28</b>
II.1 DETERMINACION DEL CONTENIDO DE SOLIDOS TOTALES. ....	29
II.2 DETERMINACION DEL CONTENIDO DE SOLIDOS VOLATILES .....	29
II.3 CONSUMO DE GAS EN EL COMEDOR.....	30
II.4 GENERACION DE RESIDUOS DEL COMEDOR.....	31
II.5 GENERACION DE CASCARA CITRICA .....	32
II.6 ANALISIS FISICO-QUIMICO DE LOS RESIDUOS. ....	34
II.7 ANALISIS DE LA COMPOSICION DEL BIOGAS .....	36
II.8 METODO PARA MEDIR VOLUMEN GENERADO DE BIOGAS .....	40

II.9 METODO PARA MEDIR LA PRESION DEL BIOGAS .....	41
II.10 METODO PARA MEDIR LA ESTABILIDAD DEL BIODIGESTOR.....	42
II.11 METODO PARA MEDIR EL PH.....	44
II.12 METODO PARA MEDIR LA DQO.....	45
II.13 METODO PARA DETERMINAR EL PORCENTAJE DE ACEITE EN CASCARA.....	46
<b>III. CAPITULO 3. BIODIGESTOR ESCALA PILOTO .....</b>	<b>47</b>
III.1 DISEÑO DEL SISTEMA GENERAL.CONDICIONES OPERATIVAS.....	48
III.2 INOCULACION DEL SISTEMA .....	51
III.3 PRUEBAS PILOTOS EN BIODIGESTOR Nº 1. GENERALIDADES .....	53
III.3.1 REPORTES DE RENDIMIENTO.....	56
III.3.2 PORCENTAJE DE METANO EN BIOGAS .....	60
III.3.3 CARACTERIZACION DEL BIOLODO .....	61
III.3.4 MEDICION DEL PORCENTAJE DE ACEITE EN CASCARA ..	63
III.4 PRUEBAS PILOTO EN BIODIGESTOR Nº 2. REPORTES GENERALES.....	63
III.5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	65
<b>IV. CAPITULO 4. BIODIGESTOR ESCALA REAL .....</b>	<b>67</b>
IV.1 DISEÑO DEL SISTEMA GENERAL .....	68
IV.2 PERSPECTIVAS DE IMPLEMENTACION EN LA INDUSTRIA .....	70
<b>V. RECURSOS. INFRAESTRUCTURA Y EQUIPAMIENTO .....</b>	<b>72</b>
<b>VI. CRONOGRAMA .....</b>	<b>73</b>
<b>VII. PRESUPUESTO .....</b>	<b>74</b>

<b>VIII. APENDICES .....</b>	<b>76</b>
<b>IX. PLANOS .....</b>	<b>80</b>
<b>X. BIBLIOGRAFIA Y FUENTES CONSULTADAS.....</b>	<b>83</b>
<b>XI. ANEXO. ....</b>	<b>87</b>



## LISTADO DE TABLAS

Tabla I. Potenciales de producción de biogás de algunos residuos orgánicos de la industria alimentaria y de la fracción orgánica de residuos municipales. ....	19
Tabla II. Producción de metano en residuos de fruta y vegetales (rango mesofílico 35°C) . ....	20
Tabla III. Propiedades de diferentes componentes del gas natural (15 °C y 1 atmósfera) .....	30
Tabla IV. Valores Promedios de residuos generados por día y por persona de nuestra planta. ....	32
Tabla V. Resultados de ensayos realizados de los residuos .....	36
Tabla VI. Características del biogás.....	36
Tabla VII. Equivalencias energéticas del biogás (de Jaime Marti-Bolivia).....	37
Tabla VIII. Tiempo de digestión recomendados .....	49
Tabla IX. Carga gradual de cáscara en biodigestor piloto.....	54
Tabla X. Resultados obtenidos en biodigestor piloto nº 1. Alimentación continua.....	56
Tabla XI. Producción de Biogás con experiencias a escala piloto. Alimentación discontinua ... ..	57
Tabla XII. Porcentaje de metano en biogás.....	59
Tabla XIII. Caracterización del biolodo obtenido .....	60
Tabla XIV. Recomendaciones para fertilizar, según tipo de suelo, edad y portainjerto (extraída del manual para Productores de Naranja y Mandarina de la Región del Río Uruguay) .....	61
Tabla XV. Resultados obtenidos en biodigestor piloto nº 2.....	63
Tabla XVI. Resumen técnico del biodigestor para el comedor de planta .....	70
Tabla XVII. Resumen técnico del biodigestor para el proceso de fruta .....	71

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1- Cáscara generada promedio por mes .....	33
Figura 2- Esquema de ORSAT para determinación de CO <sub>2</sub> .....	38
Figura 3- Esquema de los elementos usados para determinar CO <sub>2</sub> .....	38
Figura 4- Medición del volumen de biogás generado.....	40
Figura 5- Medición de la presión del biogás generado.....	41
Figura 6- Determinación de la estabilidad .....	44
Figura 7- Equipo para determinar PH.....	45
Figura 8- Equipo para determinar DQO .....	46
Figura 9- Tiempo de digestión para diferentes temperaturas.....	48
Figura 10- Tablero control de temperatura.....	49
Figura 11- Vista interna del biodigestor piloto .....	51
Figura 12- Recolección de estiércol de caballo y posterior mezcla con agua .....	52
Figura 13- Preparación y carga de la cáscara al biodigestor con agua.....	55
Figura 14- Manómetro columna de agua y gasómetro.....	55
Figura 15- Prueba de encendido del mechero .....	56
Figura 16- Seguimiento de variables durante las pruebas piloto. Alimentación continua.....	57
Figura 17- Seguimiento de variables durante las pruebas piloto. Alimentación discontinua .....	58
Figura 18- Biodigestor piloto nº 2 y gasómetro.....	62

## LISTADO DE APENDICES

Apéndice 1- Registro de basura doméstica generada por día/persona .....	76
Apéndice 2- Registro de pruebas piloto-escala laboratorio. ....	76
Apéndice 3- Descripción del proceso. ....	77
Apéndice 4- Listado de componentes necesarios para el biodigestor piloto . ....	78
Apéndice 5- Descripción del proceso biodigestor real . ....	79

## **LISTADO DE PLANOS**

Plano 1. Vista isométrica del biodigestor prototipo nº 1 renderizado.....	80
Plano 2 y 3. Vista lateral del biodigestor prototipo.....	81
Plano 4. Vista lateral del biodigestor escala real.....	82
Plano 5. Vista Isométrica del biodigestor escala real.....	82

## **LISTADO DE ABREVIACIONES**

FORSU Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos

PTN Presión y temperatura normales

PH Medida de la acidez o alcalinidad. Se define como el logaritmo del recíproco de la concentración del ión hidrógeno.

SV Sólidos Volátiles

ST Sólidos Totales

UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) Reactor anaeróbico de manto de barros de flujo ascendente.

EGSB (Expanded granular Sludge Bed) Reactor anaeróbico de manto de barros de flujo ascendente expandido.

VCO Velocidad de Carga Orgánica

PTRSU Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos

## **DATOS GENERALES**

### **DENOMINACION**

Valorización de residuos orgánicos de comida y cáscara de cítricos para la producción de biogás y abono orgánico.

### **AUTOR**

Juan Ignacio Valls, Ing. Electromecánico. Especialista en Ingeniería Ambiental.

### **INSTITUCIÓN**

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay, República Argentina.

### **LUGAR DE TRABAJO**

Planta Industrial RPB SA, Próspero Bovino 1654, Ciudad de Concordia, Entre Ríos, Argentina.

### **PALABRAS CLAVE**

Digestión anaeróbica-Biodigestor-biogás-abono orgánico.

### **TIPO DE INVESTIGACION**

Se ha clasificado ésta investigación según lo siguiente,

- Estrategia de investigación: Experimental y De campo.
- Propósito: Aplicada.

### **DISCIPLINAS**

Energías no convencionales.

### **CAMPO DE APLICACIÓN**

Industrias alimenticias.

### **DURACION ESTIMADA**

La duración aproximada será de 2 (dos) años.

# CAPITULO 1

## INTRODUCCION GENERAL

*Grandes descubrimientos y mejoras implican invariablemente la cooperación de muchas mentes. Alexander Graham Bell*

**Resumen:** en éste capítulo se justifica y fundamenta el estudio y aplicación de la biometanización para el aprovechamiento energético de residuos agroindustriales. También se detallan los objetivos de éste trabajo y metodologías empleadas.

## I.1 JUSTIFICACION DEL TEMA

A raíz de la brecha que existe entre la demanda y la oferta de energía, en ciertos momentos del año en nuestro país, debemos buscar alternativas que ofrezcan soluciones innovadoras, y sustentables. Las restricciones al consumo de energía sufrida en estos últimos años a la industria, como así también el posible recorte en los subsidios, han generado en el sector privado, un interés por las energías alternativas no convencionales.

Las acciones que se realizan en cuanto al ahorro energético se refieren, en la mayoría de los casos son insuficientes. Con una mejor programación de la producción se pueden evitar picos de consumo innecesarias, se pueden recuperar fuentes de calor residuales, pero de igual manera, se necesitan ampliar las alternativas energéticas, para poder crecer con más previsión a futuro. En resumen debemos diversificar nuestra matriz energética.

La medición y estudio del poder energético que producen los residuos orgánicos provenientes del comedor de planta, junto a la cáscara de cítricos, ofrece un nuevo enfoque técnico, dado que ésta última es de tipo ácido (PH cercano a 4), lo cual puede generar problemas a las bacterias anaeróbicas dentro del reactor (Eduardo S. Groppelli et al., 1999), y además la cáscara cítrica contiene cierto porcentaje de aceites esenciales que podrían inhibir el crecimiento de bacterias dentro del biodigestor.

Como actualmente en nuestra planta se están aplicando técnicas de separación en origen para los residuos industriales, fue importante agregar un plus a todo esto, sumando a más empleados, lo cual generó cambios actitudinales, en cuanto a los aspectos ambientales se refiere.

Al comedor de planta en estos momentos se le suministra gas envasado propano, en garrafas de 45 Kg., dado que la red de gas natural solo llega hasta la caldera general de planta. Uno de los objetivos es poder reemplazar el consumo mensual del comedor por el biogás producido en el biodigestor, o bien convivir un



tiempo con ambos combustibles, hasta que se adquiriera mayor confiabilidad en el sistema.

El alcance de ésta experiencia fue la de observar el comportamiento de un biodigestor con diversos sustratos de nuestra industria. Esta experiencia también sirvió para confirmar la factibilidad de generar biogás con toda la cáscara cítrica que genera nuestra planta, y así tener una alternativa al actual uso como alimento para ganado. En épocas de mucha lluvia y por ende con mucha pastura, cae apreciablemente la demanda de cáscara cítrica, lo cual genera inconvenientes con dicho subproducto.

Desde ya que soluciones similares se podrán tomar en otras plantas de la compañía en la zona de Cuyo, con las frutas de la región, tales como durazno, pera, tomate, manzana, entre otras.

## I.2 FUNDAMENTACION DEL TEMA

Se sabe que el hombre conoce desde hace tiempo el biogás, dado que se ha producido en forma natural en los pantanos, por ello se lo llama gas de los pantanos. La digestión anaerobia es un proceso biológico que ocurre en ausencia de oxígeno, en el cual gracias a la acción de varios grupos de bacterias, la materia orgánica se descompone, dando como resultado dos productos principales, el biogás y el digestato. El biogás es un combustible constituido principalmente por metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).

Las primeras menciones del biogás datan del 1600, identificados por varios científicos por la descomposición de la materia orgánica. En 1808 Humphrey Davy (químico británico) produce gas metano (principal componente del biogás) en un laboratorio. Se toma éste acontecimiento como el inicio de la investigación en biogás (Eduardo S. Groppelli, Giampaoli O.A., Capatto J., Octubre 2001).

En la India, desde 1939, se experimenta con diversos sistemas para aplicar en climas fríos o cálidos. En la Segunda Guerra Mundial, la crisis de combustibles hizo que las investigaciones en ésta área aumentaran. Años más tarde debido a los aspectos negativos de ésta tecnología por depender principalmente de temperaturas superiores a los  $30^\circ \text{C}$ , y por comodidad y conveniencia de otros tipos de combustibles, dicha tecnología quedó en el olvido.

Podemos mencionar casos como en Dinamarca, que se han construido diversas plantas de biometanización (30 plantas reportadas en el año 2000), las cuales tratan residuos ganaderos (en mayor proporción) con mezclas de diferentes residuos orgánicos tales como lodos biológicos, residuos orgánicos domiciliarios, empleando sistema de co-digestión (el nombre se debe a la mezcla de los estiércoles con sustancias de alto potencial de generación de biogás). La producción media de dichas plantas que utilizan mezcla fue para el mes de marzo de 2000 de  $41,8 \text{ m}^3$  de biogás/tonelada de residuo tratado (Andrés Pascual Vidal, Begoña Ruiz Fuertes, 2009). En la Tabla I se muestran algunos residuos orgánicos, y su potencial de producción de biogás.

**Tabla I.** Potenciales de producción de biogás de algunos residuos orgánicos de la industria alimentaria y de la fracción orgánica de residuos municipales (Andrés Pascual Vidal et al., 2009).

Tipo	Contenido orgánico	SV (%)	Producción biogás (m <sup>3</sup> /t residuo)
Intestinos + contenidos	Hidratos de carbono, proteínas, lípidos	15-20	50-70
Fangos de flotación	65-70% proteínas, 30-35% lípidos	13-18	90-130
BBO (tierras filtrantes de aceites, con bentonita)	80% lípidos, 20% otros orgánicos	40-45	350-450
Aceites de pescado	30-50% lípidos	80-85	350-600
Suero	75-80% lactosa, 20-25% proteínas	7-10	40-55
Suero concentrado	75-80% lactosa, 20-25% proteínas	18-22	100-130
Hidrolizados de carne y huesos	70% proteínas, 30% lípidos	10-15	70-100
Mermeladas	90% azúcares, ácidos orgánicos	50	300
Aceite soja/ margarinas	90% aceites vegetales	90	800-1.000
Bebidas alcohólicas	40% alcohol	40	240
Fangos residuales	Hidratos de carbono, lípidos, proteínas	3-4	17-22
Fangos residuales concentrados	Hidratos de carbono, lípidos, proteínas	15-20	85-110
FORSU separada en origen	Hidratos de carbono, lípidos, proteínas	20-30	150-240

Junto con Dinamarca existen otros países como Alemania, Austria y Suecia que se pueden considerar punteros en Europa en la obtención de biogás mediante co-digestión anaerobia de residuos ganaderos y agroindustriales.

En la última década, Suecia se ha convertido en el líder mundial en la utilización de biogás como energía renovable para aplicaciones de transporte. Según datos de 2004, aproximadamente 4500 vehículos funcionaban ya con combustible gas, incluyendo la mayoría de autobuses urbanos de sus principales ciudades. El 45% del gas de estos vehículos procede del biogás, mientras que el

restante 55% procede del gas natural. Se mencionan además ejemplos tales como en Linköping, Suecia<sup>1</sup>, que desde el año 2005 funciona un tren a biogás producido por la descomposición de las entrañas de vacas muertas.

En la Tabla II se muestra el potencial de producción de metano de diferentes frutas y verduras (Andrés Pascual Vidal et al., 2009).

**Tabla II.** Producción de metano en residuos de fruta y vegetales (rango mesofílico 35°C) (Andrés Pascual Vidal et al., 2009).

Residuo	SV (% de ST)	Producción de metano (m <sup>3</sup> /t SV alimentado)
Mango	95,7	469
Plátano	91,2	292
Naranja	93,5	479
Mandarina	94,6	471
Limón	96,8	473
Piña	93,9	356
Uva	91,1	232
Tomate	95,3	298
Cebolla	88,2	400
Patata	90,9	267
Berenjena	92,6	385
Coliflor	84,6	261
Nabo	84,4	314
Rábano	83,3	299

Por otro lado China, es el país que ha llevado a la práctica el uso del biogás en mayor escala.

1.- Extraído de una nota del diario digital <http://news.bbc.co.uk/hi/spanish/science>

Existen allí más de siete millones de digestores rurales en funcionamiento, proveyendo gas para cubrir las necesidades de cocción e iluminación, a la vez que recuperan suelos degradados a través de siglos de cultivos.

En nuestro país, podemos destacar al Doctor Bernardo Mácola, profesor de la Universidad de Córdoba, como el pionero en la investigación de la fermentación metanogénica en el país. Realizó diversas experiencias usando vegetales solos y en mezclas con estiércol vacuno o caballar, entre los años 1949 y 1955 (Eduardo S. Groppelli et al., Octubre 2001).

En octubre de 2002, en la Colonia Emilia, ciudad ubicada a 80 Km. al norte de la ciudad de Santa Fe, se inauguraba el primer biodigestor del país, con la basura que generaban sus 1000 habitantes.

Podemos mencionar también experiencias en la Municipalidad de Cerrito, Departamento Paraná, Entre Ríos, donde en la actualidad el suministro de biogás abastece al predio de la ex estación del Ferrocarril Urquiza. Dicho biodigestor se alimenta de los residuos del barrio (unos 300 habitantes), el cual se inauguró en enero de 2009, y fue la primera experiencia en ésta provincia. Dicha municipalidad pretende en los próximos meses incluir en el sistema a los 6.000 habitantes de la localidad, con la incorporación del tercer biodigestor. (Municipalidad El Cerrito, extraído de su página web: <http://cerrito.gov.ar/biogas>).

Por otro lado la materia orgánica residual de la basura doméstica posee gran cantidad de agua, dentro de las estructuras celulares de vegetales, frutas, carnes, embutidos, etc. –del orden del 80% para residuos clasificados en origen-, la cual se libera por “hidrólisis” que se produce en la primera etapa de la biodigestión. En consecuencia a los fines de adoptar e implementar una solución tecnológica, se tiene básicamente en función de los porcentajes un problema de tratamiento de agua residual <sup>2</sup>.

---

2 Extraído de [www.eg-ingenieria.com.ar](http://www.eg-ingenieria.com.ar) ; Página Web de Eduardo Groppelli Ingeniería.

En la provincia de Corrientes desde el año 2002, comenzó un programa llamado “Yacarú Porá, desde la Secretaría de Desarrollo Humano, con la intención de ayudar a generar empleo y salir de la gran crisis social y económica que atravesaba el país, por medio de la práctica de la agricultura urbana. Se crearon fondos especiales, que ayudaron a familias huerteras que no lograban cubrir necesidades básicas, a mejorar sus condiciones mediante la transferencia de insumos y tecnología (Cardozo F.V, Gornitzky C.M., Palioff N.C., 2008).

En nuestra provincia podemos mencionar el avance en éstos últimos años a través del INTI, de la ciudad de Concepción del Uruguay, en el cual se ha formado desde el año 2008, un grupo de trabajo llamado ATER (Área Tecnológica Energías Renovables), el cual tiene como objetivo generar unidades demostrativas en distintos puntos del país, las cuales atiendan problemáticas ambientales.

Por otro lado, la Argentina tiene una Ley Nacional 26.190, la cual apunta a cumplir en 10 años, con llegar a que un 8% del consumo energético sea del tipo renovable. Esto ha incentivado ya a diversas empresas a generar energía de fuentes renovables (Gruber S., Hilbert J.A., Scheimberg S., 2010).

El proceso de metanización posee un concepto ambiental muy alto, al permitir el tratamiento y reciclaje de los residuos urbanos y agroindustriales, sustituyendo combustibles derivados del petróleo. La biodigestión anaeróbica permite lograr que la energía contenida en los residuos, degradada y con poca utilidad en ese estado, pueda ser transformada, liberada y reciclada en un combustible gaseoso -metano (CH<sub>4</sub>), como energía de alta calidad.

Además durante la combustión el efecto del incremento del CO<sub>2</sub> es nulo sobre la atmósfera, pues se libera todo el CO<sub>2</sub> fijado de la atmósfera previamente. Por éste motivo, el empleo de biocombustibles en sustitución de los combustibles fósiles puede ser una de las vías para frenar el deterioro ambiental, provocado por el incremento de anhídrido carbónico en la atmósfera (De Juana Sardón J.M., García A. de F., González J.F., García F.S., García M.A.H., Martínez A.C., 2007). Consecuentemente se puede utilizar para generar energía eléctrica, vapor, agua

caliente, etc., o también en sistemas de co-generación de alta eficiencia, como se ha mencionado precedentemente.

En la medida que aumente la escala de procesamiento, la posibilidad de manejar los residuos dentro de una suspensión, hace que puedan ser conducidos por cañerías, lo cual permite adoptar equipos desde una amplia oferta disponible en el mercado.

La factibilidad de mecanizar totalmente el proceso favorece el monitoreo de variables, aumentando el nivel de automatización y control del proceso. Consecuentemente se reduce la cantidad de mano de obra no-calificada para el procesamiento de los residuos, lográndose mayor confiabilidad del proceso de tratamiento.

## I.3 OBJETIVOS

Los objetivos principales del trabajo están enmarcados en las siguientes premisas:

- Ofrecer innovación tecnológica para la región en el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos de comidas y agroindustriales, que actualmente no son objeto de algún aprovechamiento o valoración energética y por el contrario producen un impacto sobre el ambiente.
- Al ser primer caso en su tipo en la región (costa del Uruguay), su concreción permitirá que iniciativas semejantes puedan desarrollarse no solo en la ciudad de Concordia, sino también en otros sitios de similares características en la provincia de Entre Ríos.
- Contribuir a la formación de recursos humanos capacitados en la generación de fuentes alternativas de energía y minimización del impacto ambiental mediante el desarrollo de buenas prácticas para la gestión de residuos.

Objetivos Secundarios:

- Estudiar las condiciones operativas para la biodigestión de las materias primas propuestas.
- Obtener valores de conversión energética desde la fracción orgánica mediante la flora microbiana anaeróbica.
- Definir las condiciones que permitan optimizar el rendimiento de la transformación; vinculando los resultados a obtener con la contribución a la mejora ambiental que implica el uso de metano biológico dado que posee “impacto cero al efecto invernadero”.



## I.4 METODOLOGIAS DE DESARROLLO

El alcance de éste trabajo fue establecer mediante el estudio en un reactor pequeño, a escala piloto, las variables antes mencionadas, tales como proporciones de cada componente agregado, rendimiento del sistema para cada caso, evitando que la flora bacteriana sufra alteraciones, comparando los valores obtenidos con otros ya realizados. El estudio se realizó en las siguientes etapas que se detallan a continuación:

Etapa 1: en ésta primera etapa se consiguió caracterizar la situación actual de la planta. También se debió recolectar información diversa, que sirvió de base de éste proyecto. Se pudo capacitar personal de planta, los cuales participaron del proyecto y cuidaron del sistema diseñado. Los puntos fueron los siguientes:

- **Recolección de información de campo**  
Se registró la cantidad de comida en kilos generada por día por persona, cantidad promedio de cáscara obtenida por mes, relación SV/ST de los diferentes residuos, cantidad de gas envasado utilizado en promedio por mes. Para ello se emplearon formularios (Ver Apéndice), con la ayuda del personal del comedor de planta y operadores del tratamiento de efluentes.
- **Búsqueda de información**  
Se consiguió bibliografía de referencia (manuales), trabajos de investigación en Internet, publicaciones, presentaciones, etc. de diferentes entidades gubernamentales nacionales e internacionales, como así también de empresas privadas.
- **Capacitación del personal en general**  
Se comenzó con los mandos medios de conducción, en temas relacionados a la problemática ambiental, y luego a una parte del personal operativo de planta. La idea fue capacitar internamente y

sensibilizar a todos ellos con la problemática ambiental. Se realizaron las mismas en la sala de capacitación de la empresa, mediante proyector, dejando material de estudio para los participantes.

Etapa 2: se diseñó el sistema general, y luego se buscaron elementos disponibles en nuestra planta industrial para construir el prototipo. Se midieron diversas variables que se pudieron comparar con otras experiencias, que sirvieron para poder diseñar el sistema en escala real.

- Búsqueda de elementos necesarios para llevar a cabo un prototipo  
Se diseñó un biodigestor piloto (que denominamos nº 1), un gasómetro, un sistema de control de temperatura, un sistema para medir la presión y un sistema para medir el porcentaje de metano en el biogás.
- Se realizó una medición de tasas de generación del biogás producido en función del tipo de residuo digerido, tal como cáscara de naranja, mandarina, residuos de comida del comedor (papa mezclada con cáscara de manzana).
- Se realizó un ensayo comparativo con un biodigestor piloto de laboratorio (que denominamos nº 2), perteneciente a Eduardo Gropelli, con cáscara de naranja, arrojando diversos resultados referenciales de mejor precisión.
- Se caracterizó el efluente de salida del Biodigestor. Se midieron variables tales como PH, nitrógeno, fósforo, potasio, y materia orgánica.

Etapa 3:

- Se diseñó un Biodigestor y un gasómetro, a escala real, que puede abastecer el comedor de planta con biogás a partir de los estudios antes analizados.

- Se diseñó además un biodigestor que podría operar con toda la cáscara cítrica que genera nuestra planta industrial.

## CAPITULO 2

### MATERIALES Y METODOS

*La ciencia es la expresión de una necesidad inherente al ser humano y, en todo caso, está ligada a la función superior de su naturaleza inteligente: la capacidad de crear.*  
*René Gerónimo Favaloro.*

**Resumen:** en éste capítulo se detallan las técnicas empleadas para la medición de las diferentes variables estudiadas.

## II.1 Determinación del contenido de sólidos totales

Como los biodigestores pueden ser alimentados con todo tipo de residuos orgánicos, se debieron caracterizar las materias primas a utilizar, para poder gestionar la instalación de la manera más adecuada.

Los sólidos totales son los residuos que quedan en un recipiente luego de la evaporación de la muestra y su consecutivo secado a una temperatura determinada, hasta lograr un peso constante. Los ST incluyen a los sólidos retenidos por un filtro (sólidos totales suspendidos), y aquellos que se encuentran disueltos (sólidos disueltos totales).

El procedimiento consiste en evaporar una masa de muestra correctamente mezclada, a 103° C – 105° C durante un período superior a una hora, hasta determinar un peso constante (según Norma IRAM 15.709). El aumento de peso de la placa representa el contenido de sólidos totales, según la siguiente ecuación:

$$ST (mg / lt) = \frac{(Peso_{residuo + placa} (mg) - Peso_{placa} (mg)) \times 1000}{Vol_{muestra} (ml)} \quad (1)$$

## II.2 Determinación del contenido de sólidos volátiles

Se define como la materia orgánica volatilizada con respecto al peso sólido seco. Representa la pérdida de peso por ignición luego de someter la muestra a 550° C ± 50° C. Esta técnica ofrece un cálculo aproximado de la cantidad de materia orgánica presente en la fracción sólida del agua residual.

El residuo obtenido del análisis de Sólidos Totales (ST) es incinerado en un horno de mufla a temperatura de 550° C ± 50° C durante 15 – 20 minutos. Se

enfriá primero al aire y luego en desecador, hasta que la cápsula llegue a temperatura ambiente. Se repite el ciclo hasta obtener peso constante.

Los valores se expresan en porcentual pues se hicieron en base seca.

El contenido de SV se calcula según la siguiente ecuación:

$$SV (mg / lt) = \frac{(Peso_{residuo+placa\ inicial} (mg) - Peso_{placa+residuo\ final} (mg)) \times 1000}{Vol_{muestra} (ml)} \quad (2)$$

### II.3 Consumo de gas envasado en el comedor

Al comedor actual se le suministra gas en garrafas de 45 Kg. de propano (C<sub>3</sub> H<sub>8</sub>). Según el sistema de control interno, el promedio de gas consumido por mes es de 5 garrafas de 45 Kg. aproximadamente, o sea, 225 Kg. de gas propano, o lo que es lo mismo 111,95 m<sup>3</sup>. Si el poder calorífico es según Tabla III de 22.846 Kcal. / m<sup>3</sup> quedará:

Total Energía necesaria por mes = 22.846 Kcal/ m<sup>3</sup> x 111,95 m<sup>3</sup> = 2.557.642 Kcal

**Tabla III**<sup>3</sup>. Propiedades de diferentes componentes del gas natural (15 °C y 1 atmósfera)

Combustible	P.F.	P.E.	P.M.	Densidad	Poder	Calor de
	°C	°C	kg	kg/m <sup>3</sup>	Calorífico	Combustión
					kcal/m <sup>3</sup>	kcal/kg
Metano	-182,5	-161,5	0,016	0,7175	<b>9.024</b>	<b>13.187</b>
Etano	-183	-87	0,03	1,3551	15.916	12.267
Etileno	-169,4	-103,8	0,028	1,26	-	-
Propano	-189,9	-42,1	0,044	2,0098	<b>22.846</b>	<b>11.955</b>
n-butano	-138,3	-0,5	0,058	2,7068	30.144	11.862
i-butano	-145	-10,2	0,058	2,7091	29.955	-

3 - Extraído de [www.fisicanet.com.ar](http://www.fisicanet.com.ar), Página Web. De Física General.

## II.4 Generación de residuos del comedor

La generación de residuos por habitantes según datos estadísticos, de acuerdo a su nivel de vida puede estar en el orden de 0,5 a 0,9 Kg. / Habitante por día. Resultando un promedio razonable de 0,70 Kg. / hab. por día. La fracción orgánica de los residuos contiene en el orden del 78 % a 82 % de agua; es decir un contenido de sólidos que varía del 18% (residuos con mayor cantidad de verduras y yerba) hasta un 22% (residuos con más restos de pan, fideos y comidas desechadas no consumidas) (Eduardo Groppelli et. al., 1993).

Si se toma una composición promedio y lógica de residuos con 50% de materia orgánica, se tiene dentro de esta mezcla unos 400 Kg. de agua por tonelada de residuos. Es decir que la cantidad de agua que poseen los residuos es del orden del 40%.

Con ayuda del Formulario 1 se extrajeron datos reales de generación de nuestro comedor de planta, en donde las encargadas de la cocina anotaron la cantidad de personas que comían por día, y a posterior cuando se llenaban las bolsas, las pesamos en la balanza electrónica que disponemos en producción.

Para coleccionar los residuos orgánicos generados del comedor de nuestra planta, existen dos contenedores de acero inoxidable, embutidos en la pared, con un sistema de pedalera para apertura de la tapa de ingreso, ubicados en el interior, y por fuera, se colocan bolsas de polietileno.

Con una frecuencia diaria (o cada dos días), se extraen las mismas, y se depositan en contenedores de 200 L de capacidad, a la espera de su posterior traslado a relleno sanitario. En éstas bolsas se tiran los restos de comida, y en otros contenedores se depositan los residuos inorgánicos, tales como botellas, vasos, que a posterior se envían al sector de compactado.

La metodología de organización para asistir al comedor, consiste en anotarse al ingresar a la planta en un formulario que se encuentra en la portería. Esto evita preparar más comida que la necesaria, y así disminuir el desperdicio.

Para determinar la cantidad de residuos orgánicos, se confeccionó el formulario 1 (ver Apéndice 1), llamado “Registro de basura doméstica generada por día/persona”, en donde a continuación se detallan en la Tabla IV los valores promedio que la misma arrojó, luego de dos meses de control:

**Tabla IV.** Valores Promedios de residuos generados por día y por persona de nuestra planta

Descripción	Cantidad	Unidades
Cantidad de personal que come diariamente promedio	100	Personas
Cantidad de residuos generados por día	12,4	Kg.
Relación Kg. de residuos / persona x día	0,124	Kg. residuos/ pers. x día

La cantidad obtenida de residuos por persona y por día es baja en relación a los valores de referencia, pero evidentemente la manera planificada en la que está organizada, hace posibles dichos valores.

## II.5 Generación de cáscara cítrica

La temporada de frutas, o zafra, en ésta región comienzan por el mes de febrero y/o marzo, con variedades de mandarinas en su mayor proporción, para luego incorporar naranjas comunes, navel, salustiana, etc. Luego en los meses de septiembre y octubre comienza la temporada de la naranja valencia, la cual termina en los meses de enero o febrero aproximadamente.

En nuestra planta el porcentaje de ingreso de pomelo y limón es muy bajo, y por ello se tendrán en cuenta en los cálculos de cáscara, como si fueran naranja

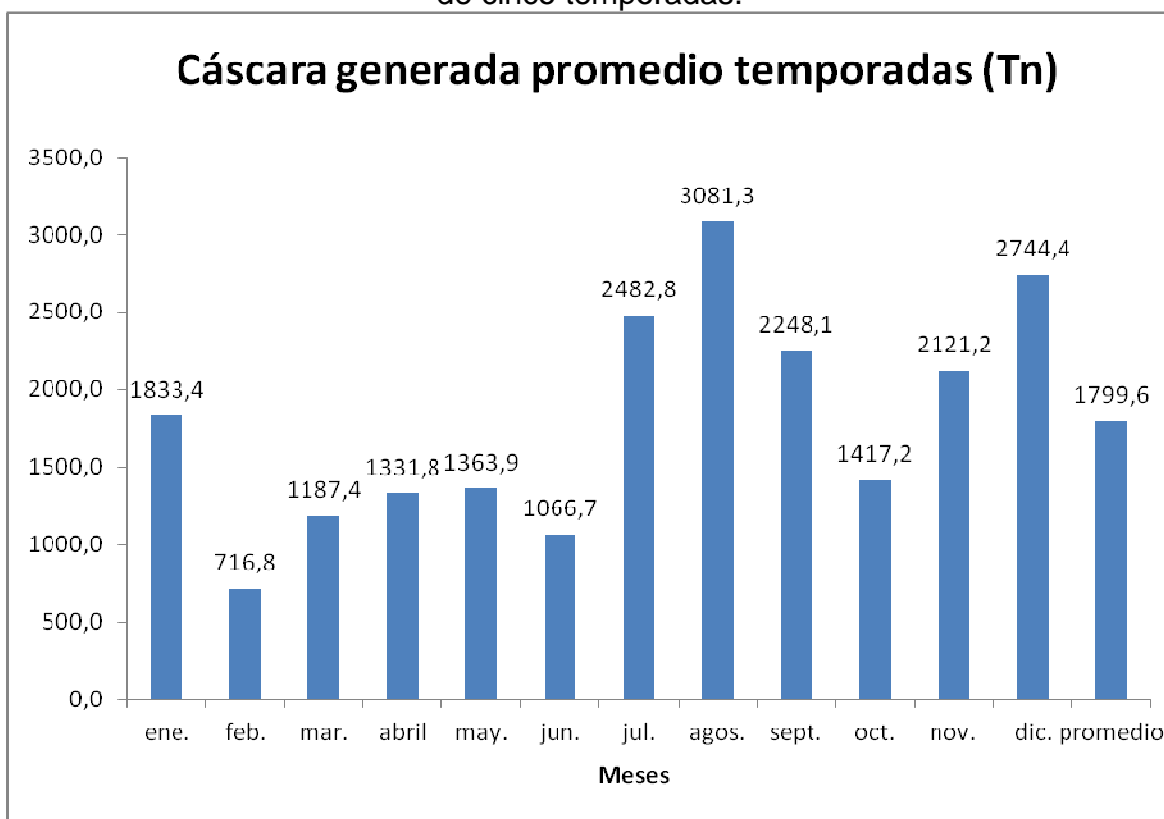


o mandarina, según el caso. La cantidad de meses de trabajo en el año han sido variables, dependiendo de factores climáticos, comerciales, etc., pero podemos decir que se trabajan unos 10 meses en el año aproximadamente.

En la Figura N ° 1 se muestra un comparativo de cáscara generada en toneladas promedio por mes, tomado de seis temporadas (2005/06; 2006/07; 2007/ 08; 2008/09; 2009/10; 2010/11).

Como se puede observar, es variable la cantidad generada, pudiendo tomar el promedio mensual en torno a las 1800 Ton de cáscara. Esto solo servirá a los fines de tener una idea de cuánto biogás se podría generar si toda la cáscara se tratara en un biodigestor.

**Figura N ° 1.** Cáscara generada promedio por mes, tomando datos de cinco temporadas.



## II.6 Análisis Físico-Químico de los residuos

Se realizaron ensayos en el laboratorio de la Facultad de Ciencias de la Alimentación de ésta ciudad, perteneciente a la UNER (Universidad Nacional de Entre Ríos), de los residuos orgánicos del comedor, como así también de la cáscara cítrica del proceso.

Se determinó el contenido de sólidos totales (ST) y el de sólidos volátiles (SV), con los procedimientos explicados en los puntos 2.1 y 2.2. Los resultados obtenidos se resumen en la tabla V.

**Tabla V.** Resultados de ensayos realizados de los residuos

Muestra	Descripción	Sólidos Totales (%)	Sólidos Fijos (%)	Sólidos Volátiles (%)	%SV/ST
1	Cáscara cítrica de mandarina (variedad erendalle, murcott). Incluye pulpa de mandarina.	14,59	5,07	9,52	65,23
2	Cáscara de naranja (variedad valencia). No incluye pulpa de naranja.	19,56	3,59	15,97	81,63
3	Residuos del contenedor de la cocina del comedor (verduras, cáscara de huevo, harina, papeles)	29,16	19,99	9,17	31,44
4	Residuos sobrantes de comida del comedor (el menú fue milanesas con papas fritas)	46,39	3,15	43,24	93,20
5	Residuos sobrantes de comida del comedor (resto de papel de manos, cáscara de banana)	25,11	5,66	19,45	77,47
6	Cáscara de naranja (variedad valencia). Incluye pulpa de naranja.	27,00	3,28	23,72	87,85
7	Cáscara de naranja (variedad valencia). Incluye pulpa de naranja.	21,41	3,47	17,93	83,78
8	Residuos sobrantes de comida del comedor (verduras, cáscara de	40,67	6,76	33,91	83,37

	banana, patas de pollo).				
9	Residuos del contenedor de la cocina del comedor (verduras, cáscara de huevo, cáscara de papa, papeles)	13,65	8,48	5,16	37,83
PROMEDIO PARA CASCARA DE NARANJAS					
		<b>22,65</b>	---	19,2	84,42
PROMEDIO PARA CASCARA DE MANDARINAS					
		<b>14,59</b>	--	9,52	65,23
PROMEDIO PARA RESIDUOS DEL COMEDOR					
		<b>30,99</b>		22,18	64,66

Nota: una de las muestras no se la tuvo en cuenta dado que dio un valor negativo lo cual denota error experimental.

## II.7 Análisis de la composición del biogás

Los principales componentes del biogás son el metano ( $\text{CH}_4$ ) y el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Aunque la composición varía de acuerdo a la biomasa utilizada, su composición aproximada se presenta a continuación en la Tabla VI<sup>4</sup>.

**Tabla VI.** Características del biogás

CARACTERISTICAS	$\text{CH}_4$	$\text{CO}_2$	$\text{H}_2\text{-H}_2\text{S}$	OTROS	BIOGAS 60/40
Proporciones % Volumen	55-70	27-44	1	3	100
Valor Calórico MJ/m <sup>3</sup>	35,8	-	10,8	22	21,5
Valor Calórico kCal/m <sup>3</sup>	8600	-	2581	5258	5140
Ignición % en aire	5-15	-	-	-	6-12
Temp. ignición en °C	650-750	-	-	-	650-750
Presión crítica en Mpa	4,7	7,5	1,2	8,9	7,5-8,9
g/l	0,7	1,9	0,08	-	1,2
Densidad relativa	0,55	2,5	0,07	1,2	0,83
Inflamabilidad Vol. en % aire	5-15	-	-	-	6-12

A modo de referencia podemos comparar con otros elementos, cuanto equivale un metro cúbico de biogás, según Tabla VII (Jaime Marti Herrero et al., año 2008).

4 - Extraído de [www.fisicanet.com.ar](http://www.fisicanet.com.ar), Página Web. De Física General.

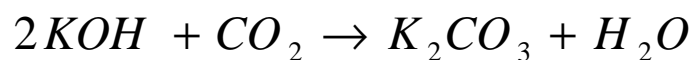
**Tabla VII.** Equivalencias energéticas del biogás (Jaime Marti Herrero et al., año 2008).

<b>Elemento</b>	<b>Equivalente a</b>
<b>Madera</b>	1,3 Kg.
<b>Bosta seca</b>	1,2 Kg.
<b>Alcohol</b>	1,1 Lt.
<b>Gasolina</b>	0,75 Lt.
<b>Gas-oil</b>	0,65 Lt.
<b>Gas natural</b>	0,76 m <sup>3</sup>
<b>Carbón</b>	0,7 Kg.
<b>Electricidad</b>	2,2 Kw/h

Para poder estimar la composición del biogás generado, se realizó el ensayo de medición del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), mediante el método ORSAT, con los elementos con los que se contaba en nuestro Laboratorio de planta.

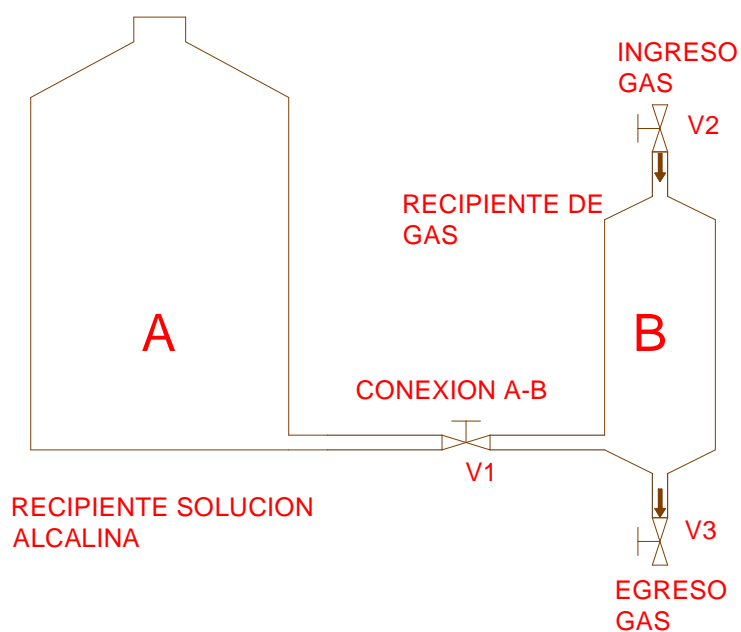
En éste ensayo se midió el contenido de CO<sub>2</sub> (expresado en % V/V) presente en el biogás, mediante la absorción del mismo en hidróxido de potasio, por desplazamiento de volumen.

La reacción que se produce es la siguiente:

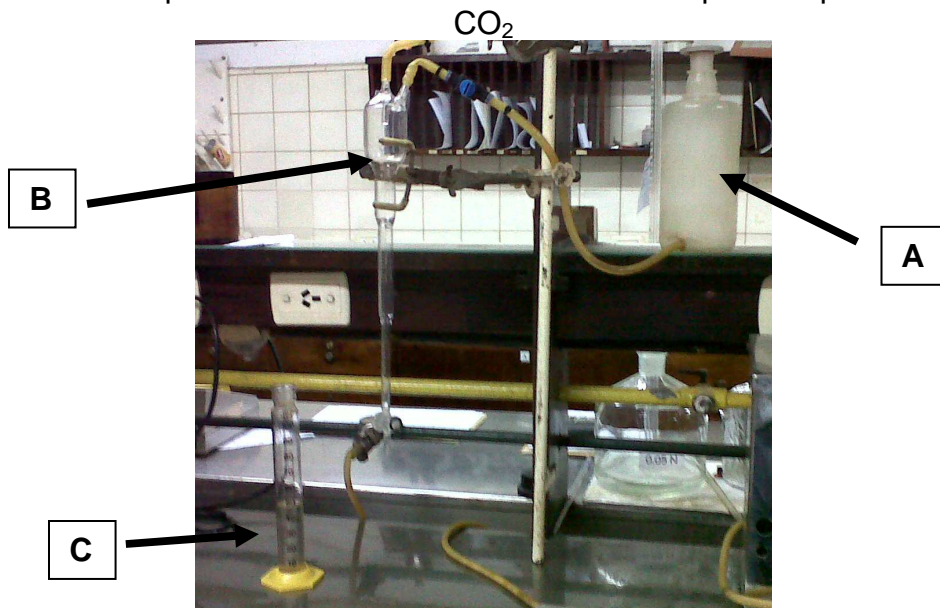


En la figura 2 se puede apreciar el esquema utilizado para determinar el porcentaje de metano presente en el biogás, mediante la determinación del dióxido de carbono presente en el mismo (Metodología según ORSAT; APHA 2720 B).

**Figura N ° 2.** Esquema de ORSAT para determinación de  $\text{CO}_2$



**Figura N ° 3.** Esquema de los elementos usados en la práctica para determinar  $\text{CO}_2$



Para realizar los ensayos se usaron elementos que se tenían en el laboratorio de nuestra planta (ver figura 3), bureta de vidrio con tres aberturas (que hacía de recipiente B), depósito plástico (que hacía de recipiente A), logrando realizar el procedimiento siguiente:

- Se ingresó agua en el recipiente B, quitando todas las burbujas de aire.
- Se cerraron luego las válvulas  $V_1$ ,  $V_2$  y  $V_3$ .

- Se preparó en el recipiente A una solución de hidróxido de potasio y agua al 50%, aproximadamente unos 200 ml.
- Se conectó la manguera del mechero a la válvula  $V_2$ . Se abrieron las válvulas  $V_3$  y  $V_1$  para permitir que el biogás drene toda el agua del recipiente B.
- Se dejó saliendo biogás por un minuto aproximadamente.
- Luego se cerró  $V_2$  y  $V_3$ , y se abrió  $V_1$ , permitiendo que entre en contacto el biogás con la solución de KOH (hidróxido de potasio).
- Se comenzó a agitar el recipiente A, hasta que no pudo ingresar más en el recipiente B, lo que indicó que la reacción se completó.
- Medimos el volumen obtenido en una bureta calibrada (C en Figura N° 3).
- El resultado obtenido lo aplicamos en las fórmulas (3) y (4) para determinar el porcentaje de dióxido de carbono y metano respectivamente:

$$\% CO_2 = \frac{\text{Volumen líquido probeta}}{\text{Volumen total recipiente}} \cdot 100\% \quad (3)$$

$$CH_4(\%) = 100\% - \% CO_2 - 1\% (H_2/H_2S) - 5\% (H_2O) \quad (4)$$

El valor 1% se estimó según Tabla VI, y el 5% se extrajo de tablas de vapor de agua, pues para la temperatura de trabajo corresponde dicho valor.

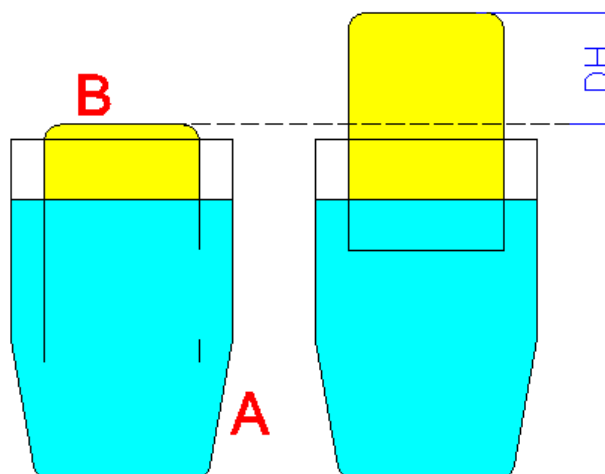
En el Anexo se muestra en foto n°1 el sistema empleado en el laboratorio de E. Gropelli, en una visita realizada en el mes de septiembre de 2013.

## II.8 Método para medir volumen generado de biogás

La metodología empleada fue medir el volumen generado de biogás mediante el sistema de campana flotante, en el cual la presión se mantiene constante y varía el volumen obtenido. A medida que se hace ingresar biogás al bidón B, éste se eleva hasta un límite físico que se debió generar con perfiles metálicos. Al bidón A se lo cargó con agua corriente, que sirvió de sello hidráulico, para evitar pérdidas de biogás.

El bidón de apoyo o base (A) es de diámetro 442 mm, mientras que el flotante (B) es de diámetro 280 mm. En la primera experiencia en 2012 se usó un flotante de diámetro 320 mm, pero como su forma no era cilíndrica ocasionaba errores durante la medición. Ambos bidones se consiguieron en planta. La figura 4 muestra el diseño adoptado.

**Figura N ° 4.** Medición del volumen de biogás generado



Semanalmente se midió la altura DH, y luego se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Prod. de biogás} \left[ \frac{\text{lt}}{\text{día}} \right] = \left[ \frac{(H_f(\text{cm}) - H_i(\text{cm})) \cdot \pi \cdot r^2(\text{cm})}{\text{tiempo (días)}} \right] \quad (4)$$



Sobre el cilindro B se realizó una escala por fuera, marcando cada un litro, para poder registrar la cantidad de biogás generado por día.

Los valores obtenidos se expresan luego a presión de 1 atmósfera y temperatura normal (0° C). La temperatura del biogás la tomamos aproximadamente como la que tiene el agua del gasómetro, y aplicando la ley de los gases ideales:

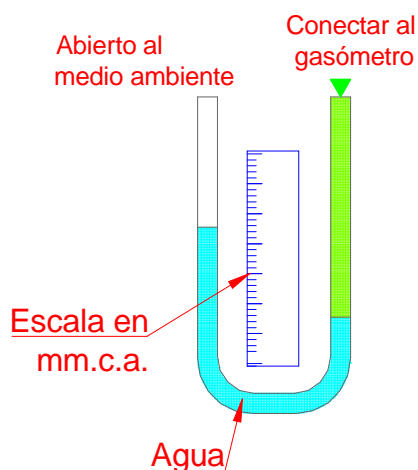
$$V_o \left[ \frac{lt}{día} \right] = V_g \left[ \frac{273 \text{ } ^\circ K}{(T \text{ } ^\circ gas + 273 )} \right] \quad (5)$$

## II.9 Método para medir la presión del biogás

Para medir la presión generada en el sistema, se colocó una manguera flexible de silicona transparente, en la cual se agregó agua, y colocando una escala en mm, se midió la diferencia entre los meniscos de cada lado.

La presión para lograr un buen encendido de llama, oscila entre los 110-140 mm de columna de agua aproximadamente (Eduardo Groppelli et. al., 2001). La Figura 5 muestra el esquema propuesto.

**Figura N ° 5.** Medición de la presión de biogás generado



Para poder cumplir con la presión adecuada al momento de la prueba en el mechero, se calculó el peso adicional que se debió agregar al gasómetro construido con un bidón plástico, para poder lograr una presión de unos 120 mm.c.a (o 0,012 Kg/cm<sup>2</sup>). Aplicando algunas fórmulas de la física:

- Presión = Fuerza / Área = (Peso del bidón plást. + sobrepeso) / Área =
- $P = (2 \text{ Kg} + \text{Sobrepeso}) / (3,14 \times 0,32^2 / 4) = 0,012 \text{ Kg/cm}^2$

El sobrepeso fue de aproximadamente:  $S_p = 9,64 \text{ Kg} - 2 \text{ Kg} = 7,64 \text{ Kg}$ .

## II.10 Método para medir la estabilidad del biodigestor

Este análisis establece una medida de la estabilidad del biodigestor. La alcalinidad, expresada como mg CaCO<sub>3</sub>/l muestra, establece la capacidad buffer del biodigestor. La acidez, expresada en mg Ácido acético/l, indica el contenido de ácidos volátiles existentes dentro del sistema.

La alcalinidad total de una muestra líquida se determina titulando la misma con una solución ácida valorada hasta pH 4.3. No obstante, se introduce en este análisis una modificación realizada por Jenkins, donde se establece pH 5.75 como punto final de titulación en digestores anaeróbicos. Según el autor, a este valor se encuentra la capacidad buffer del carbonato de calcio, principal compuesto que regula la acidez dentro del digestor. A un pH menor (4,3), son el ácido acético y propiónico los que actúan como tal. La relación entre ambas medidas ( $\alpha = \text{ALC}_{5.75} / \text{ALC}_{4.3}$ ) expresa la capacidad buffer total del sistema.

Cuando  $\alpha \leq 0.4$ , el sistema no debe alimentarse, debido a la baja concentración de carbonato de calcio frente a los buffer ácidos. Un valor de  $\alpha = 0.8$  es aconsejable para un óptimo funcionamiento del biodigestor. La acidez expresa el contenido de ácidos volátiles (referido al ácido acético) presentes en el biodigestor, que posteriormente se transforman en biogás. Este parámetro varía

con la carga de alimentación. Cuando el digestor se encuentra sobre-alimentado, pueden generarse altos contenidos de ácidos volátiles (provocado por las bacterias acidogénicas), inhibiendo la producción de biogás por las bacterias metanogénicas. Para el desarrollo de este análisis se utiliza solución de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 0.2 N e hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 N, o bien alguna similar que se tenga en laboratorio, como por ejemplo ácido clorhídrico HCl 0.1N.

La técnica consiste en tomar 10 ml de muestra, previamente filtrada o centrifugada, colocando la misma en vaso precipitado con 50 ml de agua destilada sobre plato provisto de agitación magnética (ver Figura nº 6). Se mide pH inicial y se lleva, gota a gota, a pH 5,75 con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.1 N. Se registra este valor (V1) y se continúa con el agregado de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> hasta pH 4.3, notando el segundo punto (V2). Se calcula la acidez parcial (pH 5.75) y total (pH 4.3) con las siguientes fórmulas:

$$ALC_{pH\ 5.75} = \frac{V1_{pH\ 5.75} [ml_{H_2SO_4}] \times f_A [mol_{H_2SO_4} / l_{H_2SO_4}] \times 100 (g_{CaCO_3} / mol_{CaCO_3}) \times 1 \times 10^3}{V_{muestra} [ml]} = \quad (6)$$

$$ALC_{pH\ 5.75} = \left[ \frac{(mg_{CaCO_3})}{l_{muestra}} \right]$$

$$ALC_{pH\ 4.3} = \frac{V2_{pH\ 4.3} [ml_{H_2SO_4}] \times f_A [mol_{H_2SO_4} / l_{H_2SO_4}] \times 100 (g_{CaCO_3} / mol_{CaCO_3}) \times 1 \times 10^3}{V_{muestra} [ml]} = \quad (7)$$

$$ALC_{pH\ 4.3} = \left[ \frac{(mg_{CaCO_3})}{l_{muestra}} \right]$$

$$\alpha = \frac{\text{Alcalinidad de bicarbonato a PH 5.75}}{\text{Alcalinidad Total a PH 4.30}} \left[ \frac{ALC_{pH\ 5.75}}{ALC_{pH\ 4.3}} \right] \quad (8)$$

**Figura N ° 6.** Determinación de la estabilidad



## II.11 Método para medir PH (Metodología según APHA 2540 B)

A una temperatura determinada, la intensidad del carácter ácido o básico de una solución viene dada por la actividad del ión hidrógeno o pH.

Se utiliza el método electrométrico, mediante el cual se determina la actividad de los iones hidrógeno por mediciones potenciométricas, utilizando un electrodo patrón de hidrógeno y otro de referencia.

El medidor de pH consiste en un potenciómetro, un electrodo de vidrio, un electrodo de referencia y un dispositivo para compensar la temperatura. El circuito se completa a través del potenciómetro cuando los electrodos se sumergen en la muestra. El equipo de medición proporciona la medida directa de pH, mostrada en la pantalla digital.

El equipo de nuestro laboratorio es un PH-metro marca Metrohom 654, equipado con electrodo combinado, rango 0-14 y 0-100°C, con una precisión de  $\pm 0.01$  (ver Figura 7).

**Figura N ° 7.** Equipo para determinar PH



## II.12 Método para medir la DQO

El método consiste en la determinación fotométrica del descenso de la concentración de cromato tras oxidación (digestión) de dos horas con dicromato potásico, ácido sulfúrico y sulfato de plata a 148°C. La reacción se lleva a cabo en medio fuertemente ácido y con ion plata como catalizador de la reacción de reducción del dicromato a cromo +3 (color verde).

Se realizan las diluciones en función de la carga estimada, se colocan 2 ml de la dilución en el tubo test, se tapa y digiere durante dos horas a 148°C en bloque calefactor marca Zeltec modelo ZC200 (termostatizador para tubos de DQO); al cabo de éste tiempo se lo retira. A los 10 minutos se agita, todavía caliente, y luego se lo deja enfriar a temperatura ambiente. Se limpia el exterior del tubo y se lee en fotómetro NANCOLOR 500 D a longitud de onda de 620nm.

La referencia al método es: Métodos normalizados alemanes para el examen de aguas, aguas residuales y lodos (DIN38 409- H41-1 y DIN ISO 15 705-H45). En la Figura 8 se muestra una foto del equipo que se emplea.

**Figura N ° 8.** Equipo para determinar DQO



## II.13 Método para determinar el porcentaje de aceite en cáscara

El método que se utiliza en nuestro Laboratorio es por destilación según lo que explica el capítulo IV del Manual de Laboratorio N° 054 R10020.000, página 45, de FMC Food Tech.

Según los datos extraídos de formularios del laboratorio de nuestra empresa, para fruta procesada en el mes de diciembre 2012, los valores han estado en un rango entre 0,4 y 0,9 ml/ 100 gr (mínimo y máximo), con un promedio en el orden de 0,55 ml/ 100 gr.

## CAPITULO 3

### BIODIGESTOR ESCALA PILOTO

*La vida no es fácil para ninguno de nosotros. ¿Pero qué hay con eso? Tenemos que tener perseverancia y, sobre todo, confianza en nosotros mismos.*  
*Marie Curie*

**Resumen:** en éste capítulo se muestran las condiciones operativas de los biodigestores, y toda la fase experimental con el biodigestor fabricado piloto.

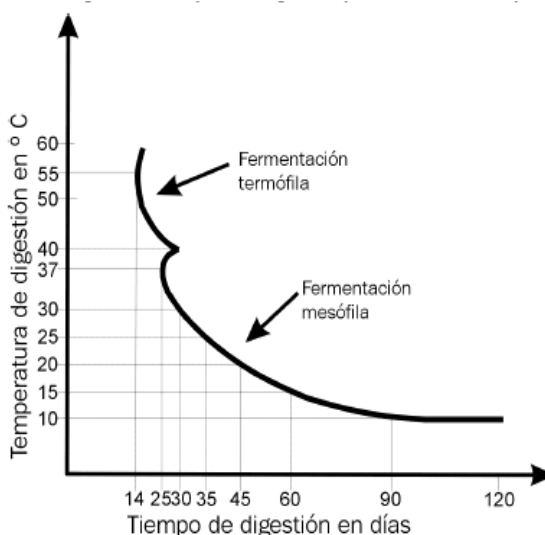
### III.1 Diseño del sistema general. Condiciones operativas.

Para poder adoptar las condiciones operativas del digestor, nos basamos en las experiencias vertidas entre los años 1920 y 1935, en donde se comenzaron a estudiar e investigar en muchas ciudades, el proceso de digestión anaeróbica, pues querían mejorar los barros sedimentados en las plantas de tratamiento de líquidos cloacales (Jorge A. Hilbert ,1993).

Como he mencionado anteriormente, las bacterias anaeróbicas mesófilas tienen un rango óptimo de actividad entre 35 ° C y 37 ° C, pudiendo llegar hasta los 45 ° C. Este tipo de flora es la que comúnmente está presente en biodigestores del tipo rural o de baja escala, en donde el diseño contempla enterrarlos, y así mantener la temperatura constante. La duración de la digestión disminuye con el aumento de la temperatura, hasta llegar a un óptimo.

Si bien se nota que los tiempos de digestión con las bacterias termófilas es menor, puede salirse de régimen, si existe variación en la temperatura. En la Figura N° 9 se muestra un gráfico con los tiempos necesarios para la digestión de barros sedimentados de los líquidos cloacales urbanos a diferente temperatura realizado por G.M. Fair y F.W. Moore (Eduardo Groppelli et. al., 1993).

**Fig. N ° 9** – Tiempo de digestión para diferentes temperaturas (Eduardo Groppelli et. al., 1993).





En función de la información anterior se pueden resumir tiempos de digestión de carácter práctico (Eduardo Groppelli et. al., 1993), en función de la temperatura, resumiéndose en la Tabla VIII.

**Tabla VIII – Tiempo de digestión recomendados (Eduardo Groppelli et. al., 1993)**

Temperatura en ° C	10	15	20	25	30	35
Tiempo de digestión recomendado (días)	90	65	45	32	30	25

Por lo antes mencionado, la temperatura elegida para nuestro proyecto fue de 35 ° C. El diagrama de proceso que se diseñó puede verse en el Apéndice 3, y en los planos 1, 2 y 3 se pueden ver las diferentes vistas del sistema.

Para lograr mantener la temperatura adecuada, se instaló en la parte inferior del tanque plástico, una resistencia resistiva marca Rolco de 3000 watts de potencia, 220 volts, Modelo Junior DEA 4, la cual se fijó con una placa de material plástico APM, mediante tornillos autoperforantes y sellador siliconado en el fondo del tanque. Tiene además un sensor de temperatura colocado por el caño de ingreso, que envía la señal a un controlador de temperatura electrónico, y éste controla el encendido o apagado de la resistencia, manteniendo constante la temperatura dentro del biodigestor. En la Figura 10 se puede ver el tablero donde se montaron el controlador, interruptores, relés, y demás componentes.

**Fig. N ° 10 – Tablero control de temperatura**



El sistema operó de manera automática siempre, controlando la temperatura interior. Las demás variables tales como velocidad de carga, velocidad de salida, PH, estabilidad, se midieron con ayuda de la persona que opera el sector tratamiento de efluentes y personal de Laboratorio.

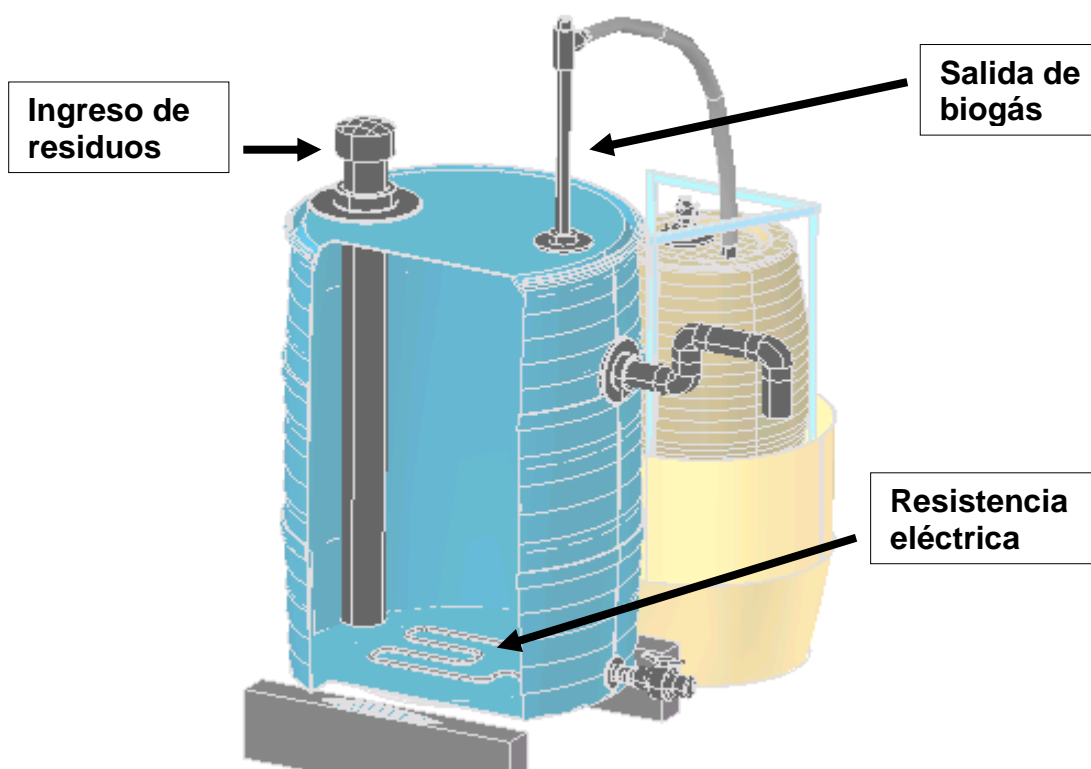
Toda materia orgánica residual o subproducto, como es el caso de la cáscara cítrica, tiene una importante cantidad de agua, y una fracción de sólidos, caracterizada por el total de sólidos (ST). Experimentalmente se ha llegado a la conclusión de que trabajando con mezclas que contengan entre un 7 a 9 % de sólidos totales en la alimentación, se pueden obtener los mejores resultados en la digestión anaeróbica (Eduardo Groppelli et. al., 1993).

Resumiendo, las condiciones óptimas para la obtención de biogás son las siguientes:

- Temperatura entre 20°C y 57°C, preferentemente en torno a 35°C.
- PH (nivel de acidez/alcalinidad), alrededor de 7. Este se autorregula, pero de ser necesario se le puede agregar bicarbonato de sodio, o soda cáustica líquida. En éste ítem es recomendable medir la estabilidad.
- Ausencia de oxígeno.
- Medio Acuoso.
- Buen equilibrio de carbono/nitrógeno del sustrato. La mejor relación en 1/20 a 1/30.
- Mezclas de alimentación que contengan 7 a 9 % de ST.

En la figura 11 se puede apreciar el diseño adoptado, en donde se nota el interior del tambor de plástico usado, la boca de ingreso del sustrato, resistencia eléctrica para calefaccionar el interior, caño salida de biogás y caño salida del biolodo.

**Fig. N ° 11 – Vista interna del biodigestor piloto**



### III.2 Inoculación del sistema

Es deseable disponer de materia orgánica al momento de iniciar la carga inicial, la cual puede obtenerse de diferentes lugares. A éste material que inicia y/o activa el proceso microbiológico se lo suele llamar inóculo.

En nuestro caso teníamos dos alternativas para conseguir el mismo; una de ellas era trasladar cierta cantidad desde el biodigestor anaeróbico tipo EGSB, instalado en la planta de RPB SA de la ciudad de Gualeguaychú, el cual se encontraba en etapa de puesta en marcha, y la otra era generar el mismo a partir de estiércol de animales.

Optamos por usar estiércol de caballo, el cual se juntó de una finca que pertenece a nuestra empresa, la cual se encuentra cercana a la planta industrial.

Tal como recomiendan diversos autores (E. Gropelli et. al., Octubre 2001), la cantidad recolectada fue de aproximadamente 1/3 del volumen total del biodigestor (unos 60 kg aproximadamente).

La misma se juntó en unos tambores plásticos cortados por la mitad de 200 litros de capacidad. Se buscó y eligió estiércol que tenía cierta humedad y color pardo oscuro, notándose actividad microbiana (ver Figura 12).

Luego se preparó la mezcla con agua, en una relación aproximada de 1+3 (1 kg. de estiércol + 3 Kg de agua). Se le agregó más agua para evitar taponamientos en el fondo del digestor, dado que la primera vez que se inoculó respetando una dilución 1+2, se acumularon restos sólidos en el fondo, justo sobre la resistencia de calentamiento, produciendo olor a quemado y sobrecalentamiento. Se fue ingresando por la boca superior hasta que salió por la descarga lateral.

En ésta condición se lo dejó unos días hasta que subió la campana flotante del gasómetro, y se purgaron dos veces los dos primeros, con el objeto de purgar el aire y dióxido de carbono presentes.

**Figura 12.** Recolección de estiércol de caballo y posterior mezcla con agua



### III.3 Pruebas pilotos en biodigestor nº 1. Generalidades.

Las cargas se realizaron de manera tal que se puedan medir por separado todas las variables comentadas, de la siguiente manera:

- Cáscara de mandarina
- Cáscara de naranja
- Basura del comedor

Partiendo de la base de tener un bidón de una capacidad de 200 L máximo ( $V_L = 180$  L útiles), calculamos cuanto se debía cargar por día de cada componente, para poder realizar los ensayos (E. Groppelli et. al., Octubre 2001). Quedó entonces:

$$V_L = 180 \text{ Kg} = \text{carga diaria} \times \text{tiempo de retención} = C_d \times 25 \text{ días} \Rightarrow$$

Despejando quedó:

$$C_d = 180 \text{ Kg} / 25 \text{ días} = 7,2 \text{ Kg} / \text{día}$$

Esta cantidad calculada es el máximo por día, pero se debía comenzar a alimentar gradualmente. Por ello se comenzó a cargar con cáscara de naranja el 08 de mayo de 2012 con solo  $\frac{1}{4}$  de la carga diaria (equivalente a 1,8 Kg /día de mezcla de agua+cáscara), y según los promedios de sólidos totales obtenidos de la tabla V, la relación fue:

$$\text{Peso del agua} = \text{Peso de la cáscara} \times 3$$

$$P_T = 1,8 \text{ Kg/día}$$

$$P_{\text{cáscara}} = 0,45 \text{ Kg/día}$$

$$P_{\text{agua}} = 1,35 \text{ Kg/día}$$

Manteniendo la estabilidad en el sistema, se aumentó luego de unas semanas, a  $\frac{1}{2}$  de la carga diaria. Al cabo de unos días dejó de producir biogás, y notamos que la estabilidad estaba en 0.45, o sea, se estaba acidificando. Debimos agregarle una solución de soda cáustica para estabilizar nuevamente el

biodigestor. De manera empírica, se fue agregando muy pocas cantidades dado que la soda es una solución fuerte, y lo óptimo era bicarbonato. Llegamos a estabilizarlo luego de unas tres semanas aproximadamente. Luego volvimos a comenzar con un cuarto de la carga de diseño. Luego de unas semanas notamos nuevamente acidificación, pues la estabilidad bajó a valores menores de 0,4.

Por todo lo antes dicho, se definió un incremento paulatino de la carga diaria, de un 10% de aumento por semana aproximadamente (ver Tabla IX). Se decidió cargar de manera discontinua (tipo batch) para evitar sobrecarga, y para medir mejor la cantidad de biogás generado. Se comenzó cargando con 0,45 Kg/día de cáscara, y esperamos unos días (6 a 7 días), y luego medimos la cantidad obtenida de biogás en el gasómetro. La tabla IX muestra la forma gradual de realizar la alimentación.

**Tabla IX – Carga gradual de cáscara en biodigestor piloto**

<b>Peso Total (Kg/día)</b>	<b>Peso de la cáscara (Kg/día)</b>	<b>Peso del agua (Kg/día)</b>
1,8	0,45	1,35
1,98	0,49	1,48
2,17	0,54	1,62
2,38	0,59	1,78
2,62	0,65	1,96

Para realizar la alimentación al biodigestor, se acondicionó la carga de la siguiente manera, según se detalla:

- Se pesó la cantidad de cáscara en balanza electrónica perteneciente al sector de Laboratorio y Control de Calidad de nuestra empresa, en un balde plástico.
- Se agregó la cantidad de agua necesaria, pesando la cantidad en la misma balanza.
- Se mezcló adecuadamente y luego se vertió la mezcla por la boca de entrada (ver Figura 13).

**Figura 13.** Preparación y carga de la cáscara al biodigestor piloto



En la figura 14 se muestran el gasómetro (construido a partir de un balde de 20lt) y el manómetro fabricado con manguera tipo cristal de ½", con una escala en mm para medir la diferencia del nivel de agua, y con ello la presión.

**Figura 14.** Manómetro columna de agua y gasómetro



En la figura 15 se puede apreciar el color de la llama obtenida en una de las primeras pruebas, en donde se agregó un acrílico de protección para evitar que se sople la llama.

**Figura 15.** Prueba de encendido del mechero



### III.3.1 Reportes de rendimiento.

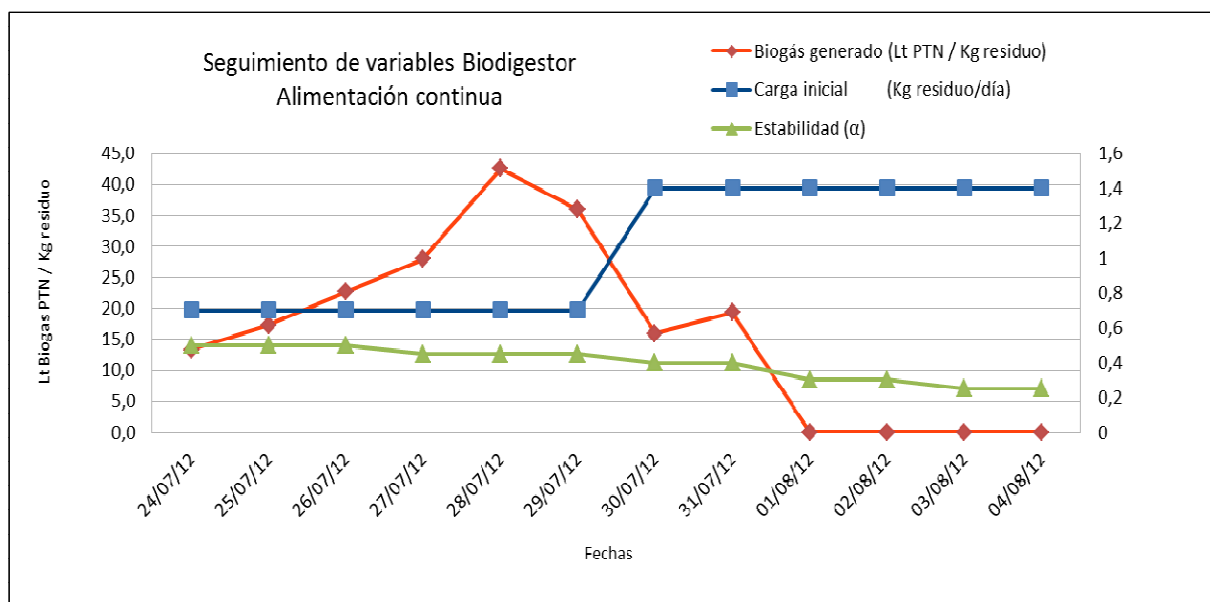
Se realizaron dos tipos de experiencias: la primera de ellas con alimentación continua (diariamente), durante un lapso de 12 días, entre los meses de Julio y Agosto de 2012, alimentando el biodigestor con cáscara de naranja mezclada con agua convenientemente. En la tabla X y figura 16 se pueden ver los resultados obtenidos.

**Tabla X** – Resultados obtenidos en biodigestor piloto nº 1. Alimentación continua.

Variable	Valores obtenidos
Conversión de materia orgánica en Biogás (L Biogás / Kg SV)	212,70
Porcentaje de metano en el biogás	43,70
Conversión de materia orgánica en metano (L CH <sub>4</sub> / Kg SV)	92,95
Conversión de materia orgánica en metano ( m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> / Ton Cáscara)	18,57
Conversión de materia orgánica en biogás ( m <sup>3</sup> Biogás / Ton Cáscara)	42,5



**Figura 16.** Seguimiento de variables durante las pruebas piloto. Alimentación continua.

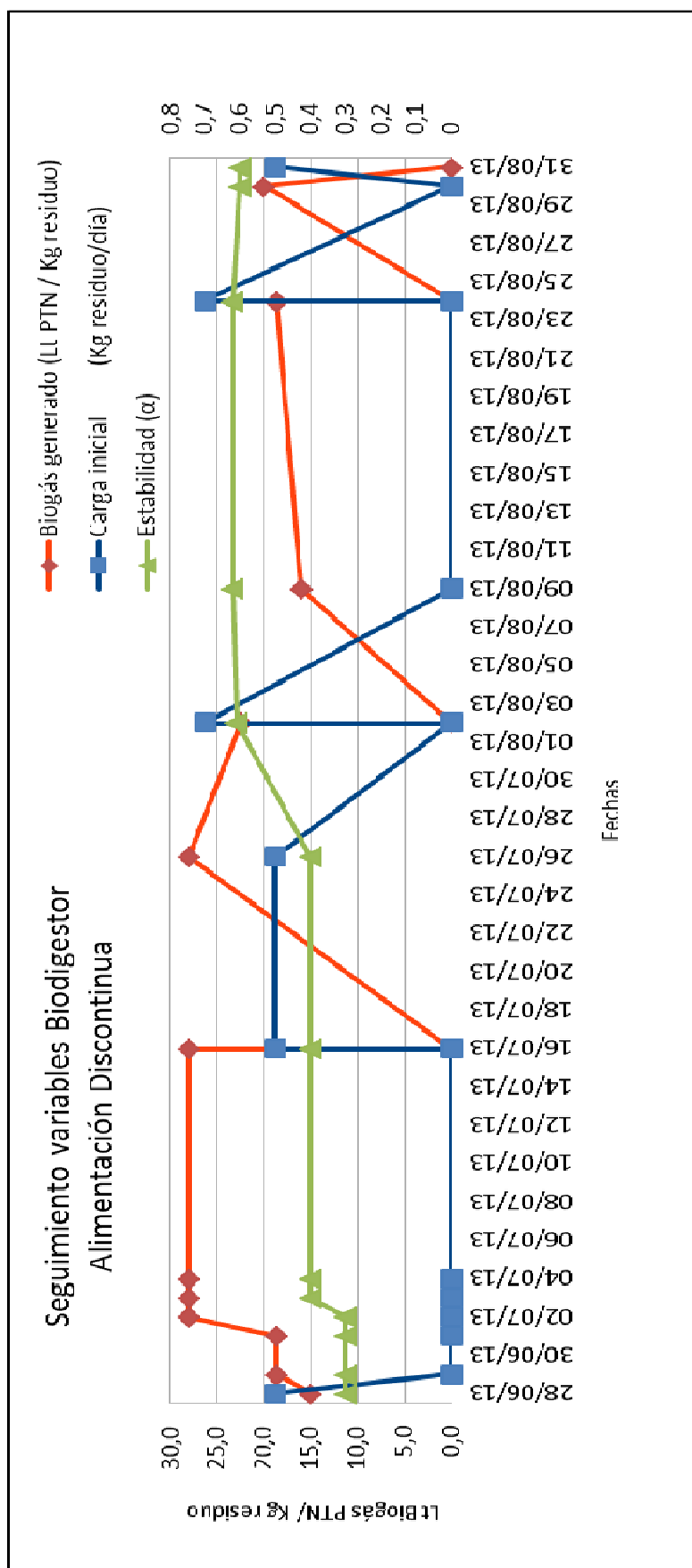


La segunda experiencia con alimentación discontinua (cada 7 días), se realizó durante más de 60 días, entre los meses de junio y agosto de 2013. En la tabla XI se muestran los valores obtenidos, y en las figura 17 el seguimiento de las variables más representativas.

**Tabla XI** – Resultados obtenidos en biodigestor piloto nº 1. Alimentación discontinua.

Variable	Valores obtenidos
Conversión de materia orgánica en Biogás (Lts Biogás/Kg SV)	152,81
Porcentaje de metano en el biogás	49,00
Conversión de materia orgánica en metano (Lts CH4 / Kg SV)	74,88
Conversión de materia orgánica en metano ( m3 CH4 / Ton Cáscara)	14,96
Conversión de materia orgánica en biogás ( m3 Biogás / Ton Cáscara)	30,53

**Figura 17.** Seguimiento de variables durante las pruebas piloto. Alimentación discontinua.



### III.3.2 Porcentaje de metano en biogás

Por otro lado, el porcentaje de metano presente en el biogás usando el procedimiento explicado en el punto 2.7 arrojó los siguientes resultados según se muestran en la Tabla XII.

**Tabla XII – Porcentaje de metano en biogás.**

Experiencia	% de CO <sub>2</sub>	% de CH <sub>4</sub>	% H <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> S	% H <sub>2</sub> O
1	54	40	1	5
2	46.6	47.4	1	5
3	45	49	1	5

La experiencia 1 se realizó el 27/08/2012, y se notó que la misma tenía aire incorporado por deficiencias en la hermeticidad del biodigestor, y se notó poco olor generado al momento de encender el mechero. En la experiencia 2, realizada el 06/11/2012, se pudo comprobar que había olor característico, resultando valores, que están dentro de los valores de referencia de Tabla VI. La experiencia 3 fue realizada el 02/10/2013, donde estuvo alimentado con mezcla de cáscara de papa y manzana.

En las experiencias se pesaron los recipientes A y B, junto a las mangueras y válvulas usadas en una balanza electrónica de nuestro Laboratorio marca Denver modelo AL300, 0.001 gr de precisión. Se pesó todo en vacío dando 288 gramos; luego se agregó agua al recipiente B, siendo el nuevo peso de 403 gramos. Por lo tanto se determinó el peso del agua agregada por diferencia, siendo entonces de 105 gramos. Aplicando la fórmula 3 se determinó el porcentaje de dióxido de carbono y el de metano por diferencia con los restantes componentes presentes. En el Anexo se puede observar en la foto 10, los elementos usados en una de las determinaciones.

### III.3.3 Caracterización del biolodo

De las muestras analizadas del efluente de salida del biodigestor piloto (biolodo), resultaron los siguientes resultados, según análisis realizados por el Laboratorio de Análisis Físico-Químico de Alimentos de la UNER:

**Tabla XIII – Caracterización del biolodo obtenido.**

Nº de muestra	Fecha del ensayo	Parámetro evaluado	Resultado
1	01/11/2012	% de Nitrógeno <sup>1</sup>	0,05±0,00
		Fósforo (mg/Kg) <sup>2</sup>	1,6±0,2
		% de Materia orgánica <sup>3</sup>	0,13±0,02
		Potasio	ND
		PH	7,35
2	02/09/2013	% de Nitrógeno <sup>1</sup>	0,02±0,00
		Fósforo (mg/Kg) <sup>2</sup>	4,48±0,24
		% de Materia orgánica <sup>3</sup>	0,39±0,02
		Potasio (mg/L) <sup>4</sup>	235,32±0,14
		PH <sup>5</sup>	7,22±0,01

**Notas:**

1: según método Kjeldh Nitrógeno total

2: según norma IRAM-SAGPyA 29570-1. Método Bray Kurtz I modificado.

3: según norma IRAM-SAGPyA 29571-2.

4: espectroscopia de absorción atómica con llama / horno de grafito (Atomic Absorption Spectrophotometry Cookbook Shimadzu Corporation, Standard Methods, 1999)

5: según método potenciométrico.

De los valores obtenidos en cuanto al biolodo, vemos que se podría usar como un fertilizante natural. Para evaluar la cantidad a agregar, se debería tener conocimiento del tipo de suelo, edad de la planta, etc. No existe una fórmula matemática que resuelva rápidamente la cantidad de fertilizante a usar, pues las condiciones pueden variar con el tiempo y forma de uso del suelo. (FABIANI A. et al., 1996).

La tabla XIV muestra las recomendaciones a tener en cuenta al momento de definir la fertilización.

**Tabla XIV** – Recomendaciones para fertilizar, según tipo de suelo, edad y portainjerto (extraída del Manual Para Productores de Naranja y Mandarina de la Región del Río Uruguay)

Tipo de suelo	Edad de la planta	Porta injerto	Fórmula abono	Dosis (*)	Fraccionamiento
a) arenoso	1. Nueva y hasta 6 o 7 años	Cualquiera	15-15-15	270	4-5 veces hasta 4 años y 3-4 hasta los 7 años
	2. En producción.	a) Trifolio	15-6-15-6 cloruro de potasio	330 50	2 a 3 veces
		b) otros porta injertos.	15-15-15 urea	240 40	2 a 3 veces
a) mestizo	1. Nueva y hasta 6 o 7 años	Cualquiera	15-15-15		3-4 veces hasta 4 años y 2-3 hasta 7 años
	2. En producción.	a) Trifolio	15-6-15-6 cloruro de potasio	330 70	2 a 3 veces
		b) otros porta injertos.	15-6-15-6	330	2 a 3 veces

(\*) Gramos por año de edad y por año. Después de los 12-13 años de edad, mantener constante

### III.3.4 Medición del porcentaje de aceite en cáscara

Según los datos extraídos de formularios del laboratorio de nuestra empresa, para fruta procesada en el mes de diciembre 2012, los valores han estado en un rango entre 0,4 y 0,9 ml/ 100 gr (mínimo y máximo), con un promedio en el orden de 0,55 ml/ 100 gr.

### III.4 Prueba piloto en biodigestor n° 2. Reportes generales

El otro ensayo es el que realizó Eduardo Groppelli en su laboratorio, ubicado en la ciudad de Santa Fe, entre el 29 de junio y el 01 de septiembre de 2013. Se ensayó cáscara de naranja (la misma que se estaba usando para el ensayo del biodigestor piloto en nuestra planta, llamado n° 1), la cual se trituró mediante una multiprocesadora y se mezcló con la salida del biodigestor piloto que se encontraba en régimen. Esta mezcla permitió que se libere parte del anhídrido carbónico presente y quede a un PH más cercano a los valores recomendados.

El equipo cuenta con un biodigestor de 42 litros de volumen, un sistema de agitación a través de un motorreductor vertical, y está calefaccionado de manera externa, a través de una estufa eléctrica (ver Figura 18).

En el Anexo se puede apreciar en la foto n° 4, los detalles del sistema de agitación con motorreductor accionado con un variador de velocidad, lo que permite generar una velocidad constante y controlada a través de un timer, que se programa para funcionar durante todo el día cada cierto tiempo. En la foto n° 5 se muestran los caños de PVC de ingreso del sustrato.

**Figura 18.** Biodigestor piloto n°2 y gasómetro



Los datos obtenidos se resumen en la Tabla XV. Como se puede apreciar los rendimientos obtenidos son mejores que los obtenidos con el biodigestor piloto nº 1.

**Tabla XV** – Resultados obtenidos en biodigestor piloto nº 2.

<b>Variable</b>	<b>Valores obtenidos</b>
Conversión de materia orgánica en Biogás (L Biogás / Kg SV)	370,35
Porcentaje de metano en el biogás	58,41
Conversión de materia orgánica en metano (L CH <sub>4</sub> / Kg SV)	216,30
Conversión de materia orgánica en metano ( m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> / Ton Cáscara)	43,22
Conversión de materia orgánica en biogás ( m <sup>3</sup> Biogás / Ton Cáscara)	74

### III.5 Conclusiones y recomendaciones

De los ensayos realizados inicialmente con alimentación continua (diariamente) del biodigestor, no pudimos mantenerlo estable, dejando de generar biogás al cabo de unos 12 días, producto de bajos valores de  $\alpha$ .

Luego cuando modificamos a la forma discontinua de alimentación (tipo batch), durante más de dos meses, se mantuvo estable, y pudo generar biogás. Los valores de  $\alpha$  con cáscara de naranja estuvieron en torno de 0,40 a 0,6, mientras que con una mezcla de cáscara de papa y manzana previamente molidas, los valores estuvieron en torno de 0,6 a 0,7. Esto demuestra que se debe mezclar adecuadamente los sustratos disponibles inicialmente, para optimizar la estabilidad del mismo.

La tasa de generación de biogás estuvo entre 30 a 40 m<sup>3</sup> de Biogás PTN/ Ton cáscara), lo cual resulta bajo según datos comparativos logrados por Gropelli E. (74 m<sup>3</sup> de Biogás PTN/ Ton cáscara). Tales diferencias se han dado principalmente motivo de que en el prototipo n<sup>o</sup>1 no contamos con un sistema de agitación mecánica, lo cual generó seguramente espacios muertos sin actividad microbiana, sumado a pequeñas pérdidas encontradas en diversos momentos en las conexiones plásticas empleadas.

Los porcentajes de metano en el biogás reportaron valores en torno al 50%, lo cual representa una buena proporción para éste tipo de sustrato. En los momentos que se encendió el mechero, y se tenía una presión de unos 90 a 120 mm.c.a. en el gasómetro, la llama permaneció estable y de color azul intenso.

Con respecto al biólodo analizado, los valores medidos de nitrógeno, fósforo, potasio, materia orgánica, y PH, demuestran que puede usarse de manera controlada en riego, por ejemplo para árboles frutales. Se deberá evaluar la forma de aplicación según el tipo de suelo que se tenga, y las proporciones de los sustratos con que se lo alimente. Se podrán realizar ensayos con plantines de



naranja o mandarina, tomando de muestra cinco o seis, y evaluando el crecimiento individual de cada uno, durante un cierto tiempo, en función de diferentes dosis de biolodo utilizado.

La eficiencia de remoción de la DQO, alimentando con cáscara cítrica naranja, fue del orden del 85 %. El biolodo reportó valores en torno a 10.000 mg/lts de DQO. Por lo tanto si no se llegara a utilizar como biofertilizante, y se debiera disponer a un río u arroyo, se deberá tratar en un sistema de tratamiento de efluentes líquidos adecuado, para poder cumplir con los estándares de vuelco establecidos por la normativa legal.

El porcentaje de aceite esencial en la cáscara no representó mayores problemas a las bacterias presentes dentro del biodigestor. No obstante sería recomendable seguir estudiando para otros porcentajes que podrían ser diferentes según la regulación de las máquinas extractoras.

Sería recomendable armar otro biodigestor piloto de tamaño menor al actual, para poder determinar con mayor precisión algunas variables tales como el rendimiento. Se debería para ello adquirir un balón de tres bocas de vidrio, con caño camisa agitador, manta para calefaccionar por fuera el balón, con control automático de temperatura, y fabricar un gasómetro con caños de PVC (similar al fabricado por Eduardo Gropelli en su laboratorio). Este sistema podrá reportarnos datos más confiables de los logrados.

Con respecto al recurso humano, cabe destacar el alto grado de compromiso logrado y la transferencia de conocimiento, lo cual generó cambios actitudinales en muchos operadores, despertando interés por el tipo de consultas realizadas. En nuestro caso particular, sentó las bases para poder entender mejor el funcionamiento del futuro biodigestor anaeróbico de tipo EGSB que comenzará a funcionar seguramente éste año, y el cual mejorará la calidad del efluente líquido de nuestra industria. Sin personal debidamente capacitado y motivado, por más diseño tecnológico moderno empleado, no será suficiente poder alcanzar los objetivos planteados.

En cuanto a la transferencia dentro de nuestra empresa, se podrá trasladar a otras plantas en la zona de Cuyo, las cuales trabajan con otras frutas de la zona tales como manzana, pera, durazno, uva, entre otras.

En la región, la ciudad de Chajarí, ubicada a unos 100 Km al norte de Concordia, cuenta con una PTRSU, la cual recibe a diario el descarte de fruta fresca de empaques de la zona. La fruta es inactivada con cal, y se dispone a cielo abierto por el momento, pero necesitan implementar en breve, una mejora al respecto. El año pasado me puse en contacto con el responsable del predio, y acordamos intercambiar experiencias que sirvan de base para un proyecto de mejora, que contemple la generación de biogás para dicha planta.

Como conclusión final, podemos decir que dicho trabajo realizado fue de carácter multidisciplinario, sirvió para comprender diversas técnicas, las cuales son importantes para el control de éste tipo de tecnologías, y quedan abiertas líneas de investigación para continuar mejorando otros procesos productivos de nuestra empresa u otras similares.

## CAPITULO 4

### BIODIGESTOR ESCALA REAL

*Cuando se innova, se corre el riesgo de cometer errores. Es mejor admitirlo rápidamente y continuar con otra innovación.*

*Steve Jobs*

**Resumen:** en éste capítulo se diseña el biodigestor en escala real, y una alternativa o solución al problema de la cáscara cítrica.

## IV.1 Biodigestor escala real

Para decidir el volumen del biodigestor, se pueden tomar diversos criterios a saber:

- Criterio en función de los residuos disponibles.
- Criterio en función del ahorro energético previsto a realizar.
- Criterio de un fertilizante natural.
- Criterio de necesidades medioambientales.

En nuestro caso el que tomamos para el diseño fue el segundo caso, o sea, se realizó una instalación para reemplazar el consumo actual de gas envasado, realizando una instalación en paralelo. Se contempló en el diseño suministrar biogás al laboratorio de planta en una segunda etapa.

En la sección II.3 calculamos el consumo promedio de gas envasado en el comedor y su equivalente energético. Como el biogás tiene un poder calorífico entre 4.500 a 5.600 kilocalorías por m<sup>3</sup>, y pudiendo tomar un valor medio de 5000 Kcal/m<sup>3</sup>, para saber cuánto biogás debemos generar por mes, hicimos la siguiente cuenta:

$$\text{Biogás a generar} = \frac{\text{Energía necesaria}}{\text{Poder calorífico}} = \frac{2.557.642 \text{ Kcal}}{5000 \text{ kcal / m}^3} = 511,5 \text{ m}^3 / \text{mes}$$

Los días en los que se cocina habitualmente son de lunes a viernes, y el horario de uso oscila entre de 09 a 15 horas y de 18 a 23 horas respectivamente. Entonces para diseñar el volumen del gasómetro, debimos contemplar que el biogás debe suplir dicha demanda puntualmente.

Tenemos entonces lo siguiente:

$$\begin{aligned}
 \text{Tiempo mensual} &= 11 \frac{\text{hs}}{\text{día}} * 20 \frac{\text{días}}{\text{mes}} = 220 \frac{\text{hs}}{\text{mes}} \\
 \text{Consumo horario biogás} &= \frac{511,5 \frac{\text{m}^3}{\text{mes}}}{220 \frac{\text{hs}}{\text{mes}}} = 2,5 \frac{\text{m}^3}{\text{hs}}
 \end{aligned}$$

Entonces el volumen del gasómetro deberá ser:

$$\text{Volumen del gasómetro} = 2,5 \frac{\text{m}^3}{\text{hs}} * 11\text{hs} = 27,5 \text{m}^3$$

Redondeando adoptamos un volumen de 30 m<sup>3</sup>, considerando el criterio de almacenar el consumo de un día. En los planos 4 y 5 se muestra el diseño adoptado. Se podría analizar como alternativa instalar tres gasómetros de 10 m<sup>3</sup>, lo cual podría mejorar algunas cuestiones de tipo constructivas.

Por lo tanto adoptando un rendimiento de 50 m<sup>3</sup>/Ton (valor estimado promedio para la cáscara cítrica), se deberá alimentar diariamente con 550 kg de cáscara y 1650 lts de agua (dilución 1+3). El volumen del biodigestor será:

$$V_L = \text{carga diaria} \times \text{tiempo de retención} = 2200 \text{ lts} \times 25 \text{ días} = 55.000 \text{ lts}$$

Para llevar a cabo esto a la realidad, se podrán adoptar dos alternativas posibles. Una de ellas sería adquirir un tanque de material PRFV horizontal de cabezal semielíptico estático, con tecnología de fabricación Filament Wilding (enrollamiento de fibras de vidrio impregnadas en resinas poliésteres). De la página de la firma Petroplast (<http://www.petroplast.com.ar/disenos-y-formatos.php>), se podría adoptar el de 60.000 lts, el cual tiene un diámetro de 3 mts y 9,04 mts de largo. Para la cámara de recepción, se podrá adoptar un tanque cilíndrico con fondo plano y cabezal semielíptico, de material PRFV, de 4 m<sup>3</sup> de capacidad, al cual se le podrá anexar un sistema agitador vertical superior (ver planos 4 y 5). La cañería desde el gasómetro hasta el consumo se adoptó de ø= ½" (Eduardo S. Groppelli et al., Octubre 2001).

La otra alternativa sería la de fabricar de mampostería, de diseño semienterrado, para permitir regular mejor la temperatura, y abaratar costos.

En la tabla XVI se resumen los datos más importantes.

**Tabla XVI – Resumen técnico del biodigestor para el comedor de planta**

<b>RESUMEN TECNICO DEL BIODIGESTOR PARA EL COMEDOR</b>	
<b>Parte de la planta</b>	<b>Unidad/Valor</b>
Número de biodigestores	1
Volumen de la cámara de recepción	4.000 lts
Volumen total de la fermentación	60.000 lts
Días de retención de la biomasa	25
Temperatura del proceso	35 ° c
Producción de biogás diario	27,5 m <sup>3</sup>

## IV.2 Perspectivas de implementación en la industria

Si a futuro se quisiera generar biogás con la cáscara del proceso, teniendo en cuenta el promedio generado por mes de 1800 Ton/mes (según Figura 1), tomando 22 días de trabajo al mes, serían por lo tanto unas 81 toneladas por día de cáscara. Se debería tener un biodigestor del siguiente volumen:

$V_L = \text{carga diaria} \times \text{tiempo de retención} = (81 \text{ m}^3 \text{ de cáscara} + 243 \text{ m}^3 \text{ de agua}) \times 25 \text{ días} = 8.100 \text{ m}^3 = 8.100.000 \text{ litros}$

La cantidad de biogás que se podrá producir será de:

$$\text{Biogás a generar} = 80 \frac{\text{Ton}}{\text{día}} * 50 \frac{\text{m}^3}{\text{Ton}} = 4.000 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

El tipo de digestor que habitualmente se usa en éstos casos es el semienterrado, con una geomembrana de material PVC flexible con formulación especial para resistir a la intemperie, la cual sirve también como gasómetro. Si el perfil de diseño que adoptamos es la de tipo base trapezoidal, llevando a un rectángulo equivalente, si adoptamos 5 metros de profundidad, y 20 metros de lado, será entonces de 81 metros de largo. El diseño debería contemplar una distribución del sustrato tal que permita el movimiento de toda la masa de manera ascendente (Tecnología UASB).

**Tabla XVII – Resumen técnico del biodigestor para el proceso de fruta**

<b>RESUMEN TECNICO DEL BIODIGESTOR PARA EL TOTAL DE LA CASCARA GENERADA EN EL PROCESO</b>	
<b>Parte de la planta</b>	<b>Unidad/Valor</b>
Número de biodigestores	1
Volumen de la cámara de recepción	A definir
Volumen total de la fermentación	8.100.000 Lts
Días de retención de la biomasa	25
Temperatura del proceso	35 ° c
Producción de biogás diario	4.000 m <sup>3</sup>

## V. RECURSOS. INFRAESTRUCTURA Y EQUIPAMIENTO

Dado que la experiencia se realizó dentro de la planta, diversos recursos estaban disponibles, debiendo solo coordinar los tiempos y evitando superposición de tareas, para así evitar el proceso normal de trabajo.

Los análisis que no pudimos realizar internamente, se contrataron realizar en los laboratorios de la Universidad Nacional de Entre Ríos de ésta ciudad, y otros ensayos fueron realizados en el laboratorio de E. Gropelli.

Recursos	Disponibles	Necesarios
<b>Recursos humanos</b>		
1 Coordinador (del sector mantenimiento y producción).	X	
2 Técnicos de campo (operadores del tratamiento de efluentes, mecánicos, electricistas).	X	
2 Técnicos analistas de ensayos (de nuestro laboratorio)	X	
<b>Equipamientos</b>		
Laboratorio interno de RPB SA.	X	
Laboratorio externo ubicado en la UNER de ésta ciudad.	X	
Computadora de oficina.	X	
Bibliografía.	X	X
Vehículo	X	
Máquina fotográfica digital	X	
Balanzas electrónicas varias.	X	
<b>Insumos</b>		
Papelería, tinta, material de oficina	X	
Pasajes, comunicaciones, viáticos.	X	



## VI. CRONOGRAMA

Se estimó que el proyecto llevaría dos años aproximadamente, para lo cual se realizó el siguiente cronograma de tareas, tomando la escala temporal por semestres.

El tiempo que llevaron las etapas 1 y 2 fueron mayores debido a diversos problemas que fueron surgiendo, tales como adquisición de todos los elementos para armar el biodigestor piloto, pérdidas de biogás en conexiones plásticas que dificultaron la correcta medición, pérdida de estabilidad, etc.

Se dejó planteada y diseñada la etapa 3, para su futura ejecución por parte de la empresa.

Planificación de Tareas

Id	Nombre de la tarea	1er semestre			2do semestre			3er semestre			4 to semestre		
1	<b>Etapa 1</b>												
2	Creación del plan de trabajo.	■	JV/EG										
3	Recolección datos de campo.		■	■	JV								
4	Reporte de resultados preliminares.				■	JV							
5	Lista de recursos necesarios.		■	JV/EG									
6	Diseño del prototipo escala laboratorio.		■	EG/JV									
7	Presupuesto estimado			■	JV								
8	Capacitación del personal involucrado.		■	■	JV				■	■	JV	■	
	<b>Etapa 2</b>												
9	Construcción del prototipo a escala lab.				■	JV / EG							
10	Reporte de resultados.					■	■	JV					
11	Procedimientos de operación y mant.							■	■	JV/EG			
	<b>Etapa 3</b>												
12	Diseño del biodigestor real (comedor)										■	JV / E.G	
13	Diseño de biodigestor proceso cáscara.										■	JV / EG	

Referencias: (JV) Juan I.Valls, (EG): Eduardo Gropelli

## VII. PRESUPUESTO

El siguiente presupuesto muestra todo lo necesario para la realización de un biodigestor piloto, análisis realizados en laboratorios externos, y trabajos previstos a realizar en el caso real.

ITEM	DESCRIPCION	VALOR
<b>MATERIALES</b>		
1	Presupuesto del reactor prototipo, escala laboratorio.	\$ 150,00
2	Elementos adicionales para medición de variables (UNER).	\$ 800,00
3	Tanque PRFV de capacidad 60.000 lts, tipo horizontal.	\$ 192.000,00
4	Tanque PRFV de capacidad 4.000 lts, tipo vertical.	\$ 12.800
5	Sistema de agitación mecánica.	\$ 5.000,00
6	Caños diferentes medidas material plástico polipropileno.	\$ 1.500,00
7	Accesorios, curvas, uniones dobles, tapones, etc.	\$ 800,00
8	Sistema de alimentación automático con tornillo helicoidal o similar.	\$ 15.000,00
SUBTOTAL 1:		\$ 228.050,00

<b>SERVICIO DE TERCEROS</b>		
9	Servicio de instalación y montaje de todos los componentes mecánicos.	\$ 12.000,00
10	Servicio de instalación eléctrica de todos los componentes.	\$ 4.800,00
SUBTOTAL 2:		\$ 16.800,00
<b>TOTAL:</b>		<b>\$ 244.850,00</b>

<b>AMORTIZACION</b>		
11	Costo anual de gas en garrafas para el comedor.	\$ 18.244,00
12	Tiempo de amortización (años)	13,4
13	T.I.R. (tasa de retorno de inversión)	7,45 %

Nota 1: el costo mensual del gas en garrafa es de \$ 1520,34. Entre enero y junio del 2013 se consumieron de promedio 6 garrafas de 45 kg cada una. El precio unitario fue de \$ 253,39.

Nota 2: los precios de los tanques de PRFV se estimaron sobre un valor específico de 533 USD/m<sup>3</sup> (tomando 1USD = 6\$, quedarían 3198 \$/m<sup>3</sup>). Se consultó a la firma Petroplast por el precio de un tanque de 60.000 lts como referencia.

Nota 3: los servicios de terceros fueron calculados en función de estimar horas de trabajo de personal especializado, contemplando un costo de 60 \$/hs. hombre.

Nota 4: la tasa de retorno de inversión se tuvo en cuenta como lineal.

Como se puede apreciar, el costo del tanque representa el más importante de los ítems, por lo que se adoptó otra solución al respecto que fue la de reciclar algún tanque fuera de uso en la empresa que tenga dicha dimensión.

Otra alternativa sería fabricar en mampostería dicho biodigestor, de tipo semienterrado, con agitación manual, similar a lo realizado en instalaciones tales como en Cerrito, Paraná, Entre Ríos (ver foto en Anexo, de visita realizada a la Planta N° 2 Pueblo Moreno). Tomando valores de referencia de obras similares, el costo de un biodigestor de éste tipo ronda los 1.600 \$/m<sup>3</sup> (Fuente: Groppelli E.).

Por lo tanto, quedan presentadas las alternativas, las cuales podrán ser ejecutadas según los criterios que se tomen en su debido momento.

## VIII. APENDICES

### APENDICE 1 – Registro de basura doméstica generada por día/persona

<b>Registro de basura doméstica generada por día/persona</b>			
<b>Fecha</b>	<b>Personal que come por día</b>	<b>Peso de la basura (Kg.)</b>	<b>Firma de encargado cocina</b>
<b>Comentarios:</b>			

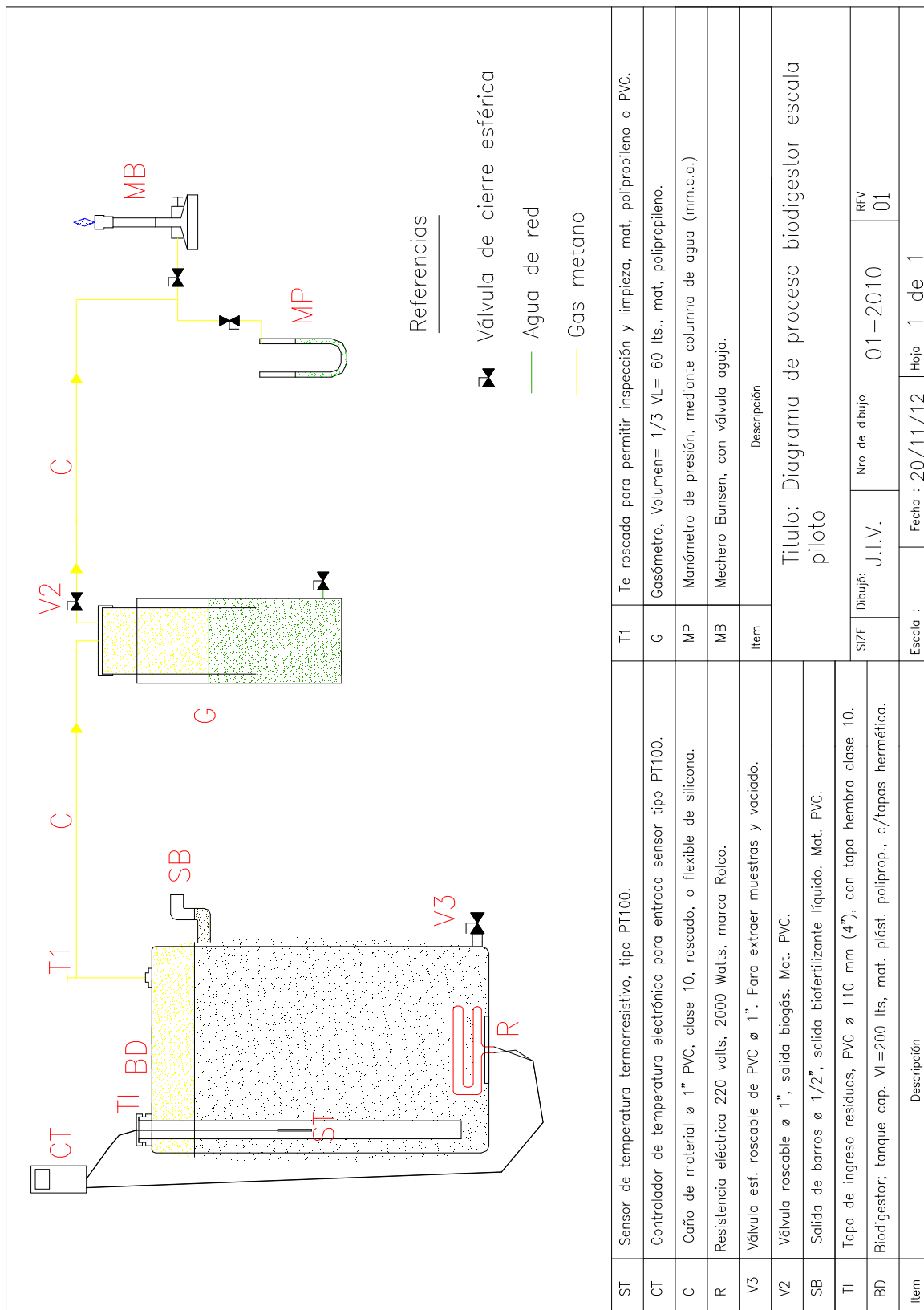
Formulario 01-Rev.00

### APENDICE 2 – Registro de pruebas piloto-escala laboratorio

<b>Registros de pruebas piloto – escala laboratorio</b>						
<b>Fecha</b>	<b>Cantidad de basura doméstica (Kg.)</b>	<b>Cantidad de cáscara cítrica (Kg.)</b>	<b>Temp. del Biodigestor (° c)</b>	<b>PH del Biodigestor</b>	<b>CH<sub>4</sub> producido [m<sup>3</sup> ]</b>	<b>Eficiencia [m<sup>3</sup> gas generado /Kg.de residuo]</b>
<b>Comentarios:</b>						

Formulario 02-Rev.00

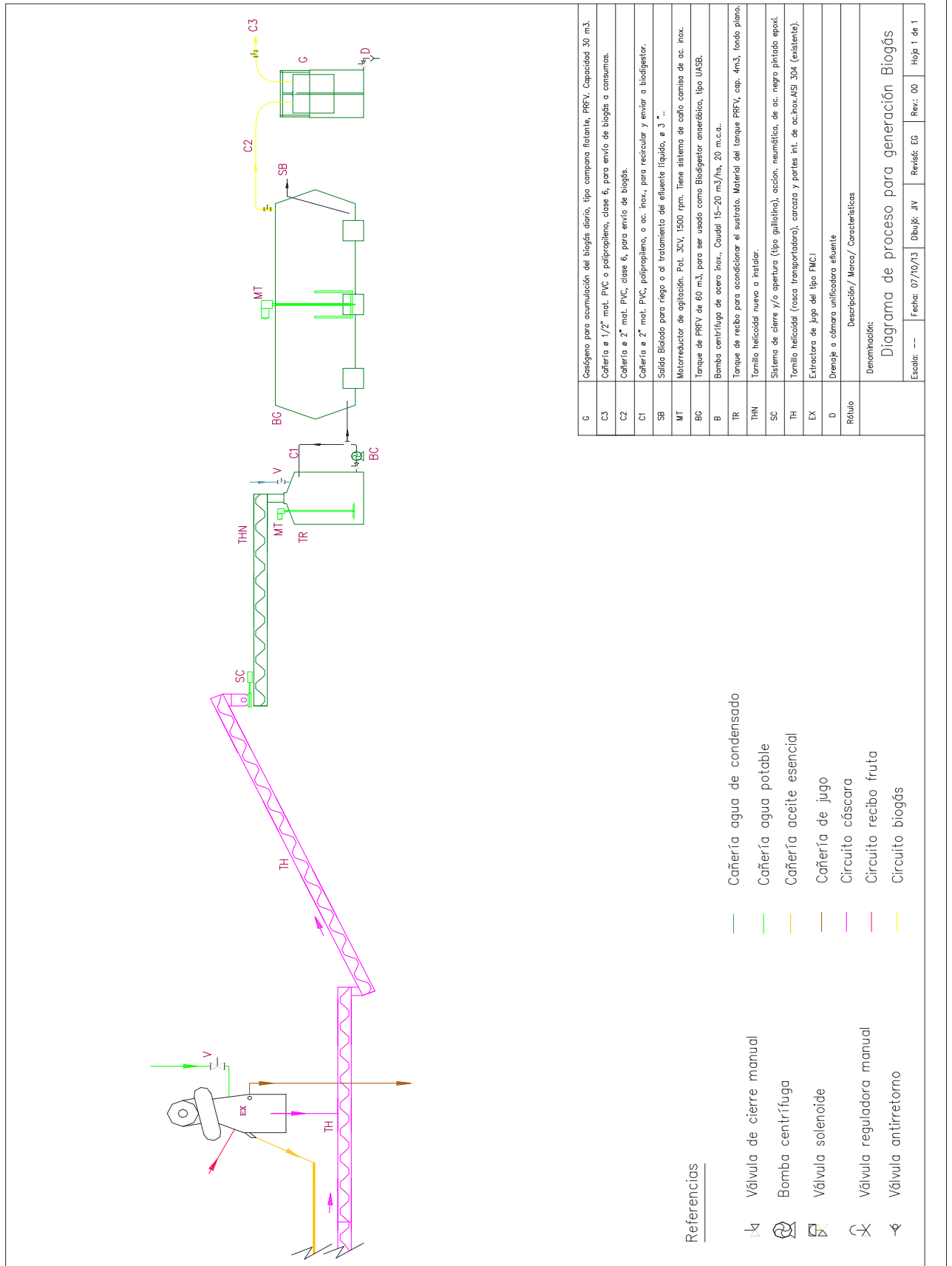
### APENDICE 3 – Descripción del proceso biodigestor prototipo nº1



**APENDICE 4** – Listado de componentes necesarios para la prueba piloto  
(Nota: los precios son de mayo de 2011)

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	\$ SUBTOTAL unitario
1	Tambor plástico de polipropileno cap. 200 lt. Reuso de tambor vacío que contenía producto para la caldera NAV 51.	1	Sin costo
2	Brida hembra PVC 3", clase 10, cód. Tigre 0274 (ingreso residuos)	1	\$ 35,22
3	Tubo de PVC roscado 2 mts. 3", esp. 4.8 mm, Modelo Tigre MM-CL07, cód. 0008.	1	\$ 14,83
4	Tapa hembra 3", clase 10, cód. Tigre 0234.	1	\$ 11,12
5	Tubo de PVC roscado 1 mts. 1", esp. 3.5 mm, Modelo Tigre MM-CL07, cód. 0003.	1	\$ 9,98
6	Brida hembra PVC 1", clase 10, cód. Tigre 0269 (salida biogás)	4	\$ 10,80
7	Te a 90° HHH PVC, clase 10, cód. Tigre 0304	1	\$ 3,82
8	Tapón macho PVC, clase 10, cód. Tigre 0334	1	\$ 0,98
9	Válvula Valflux HH roscable 1", cód. Tigre 9012.	2	\$ 23,30
10	Tambor plástico 100 lt de capacidad para gasómetro, sello de agua.	1	Sin costo
11	Tambor plástico 60 lt de capacidad para gasómetro, colector de biogás.	1	Sin costo
12	Tuerca con rosca MM 1", clase 10, cód. Tigre 0323.	1	\$ 0,98
13	Brida hembra PVC 2", clase 10, cód. Tigre 0272 (salida de bioabono)	1	\$ 20,41
14	Codo de 90° HH 2", clase 10, cód. Tigre 0291	3	\$ 13,76
15	Cinta para sellaroscas, cód. Tigre 0401, 12mm x 10mts.	1	\$ 5,00
<b>Total:</b>			<b>\$ 150,20</b>

## APENDICE 5 – Descripción del proceso biodigestor real



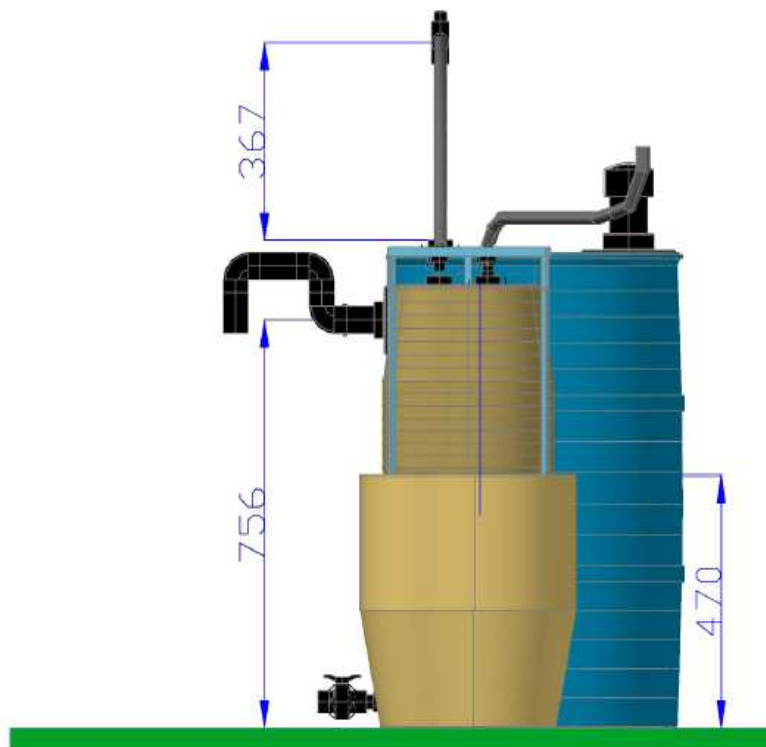
## IX.- PLANOS

**Plano 1 - Vista Isométrica Biodigestor Prototipo nº 1 renderizado.**

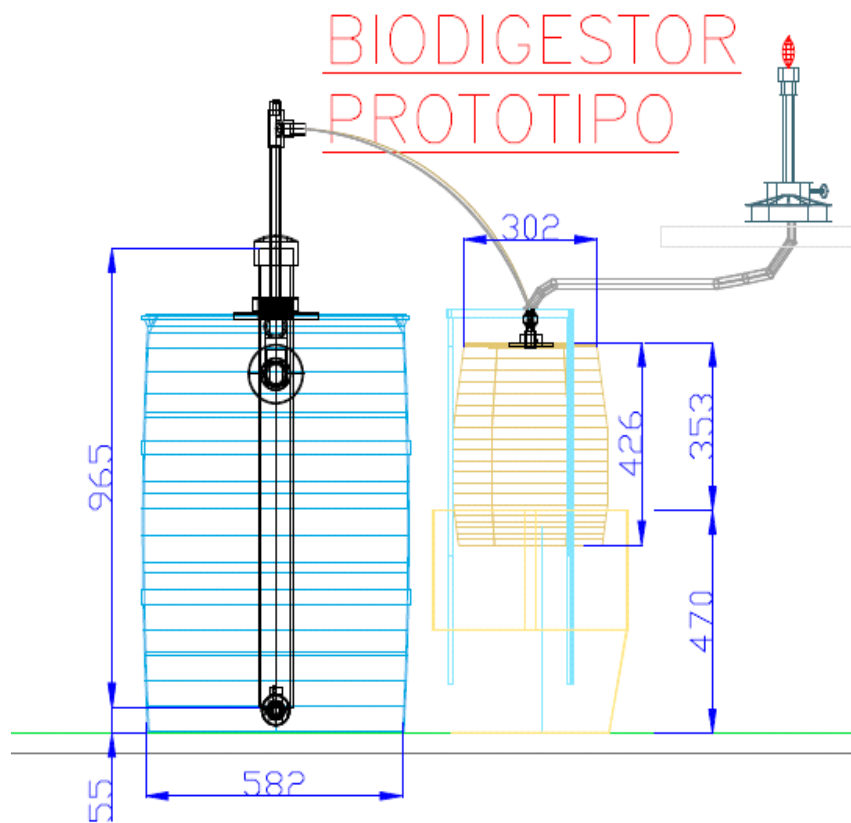




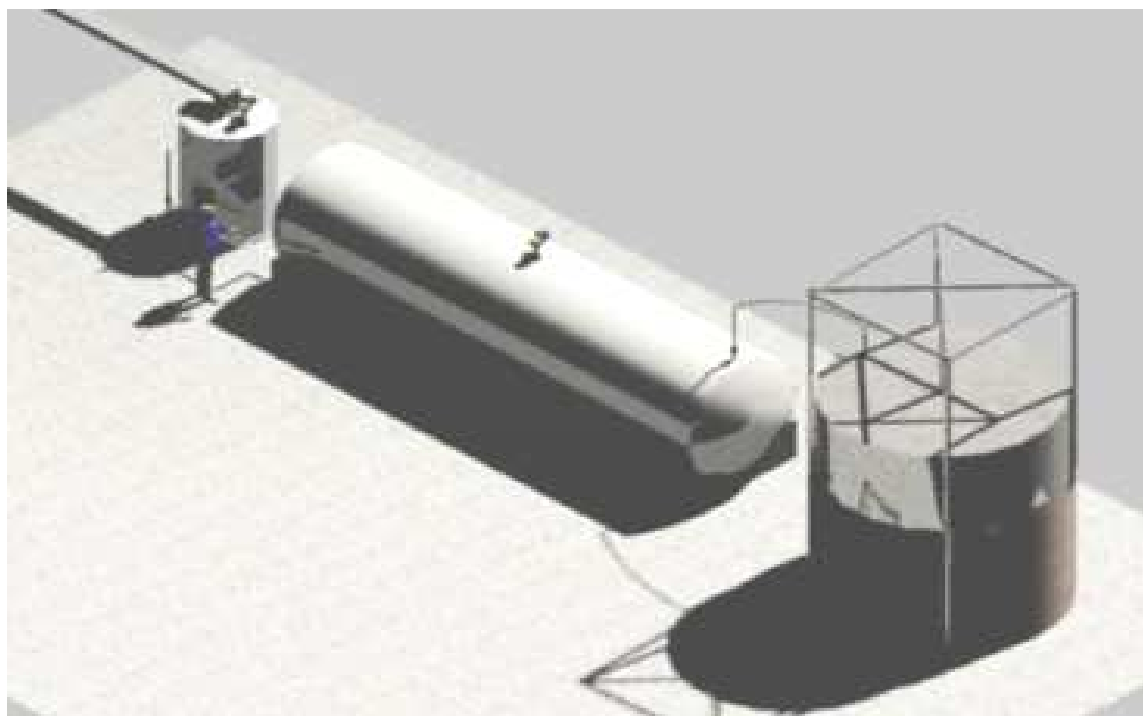
**Plano 2 - Vista lateral Biodigestor Prototipo (medidas en mm)**



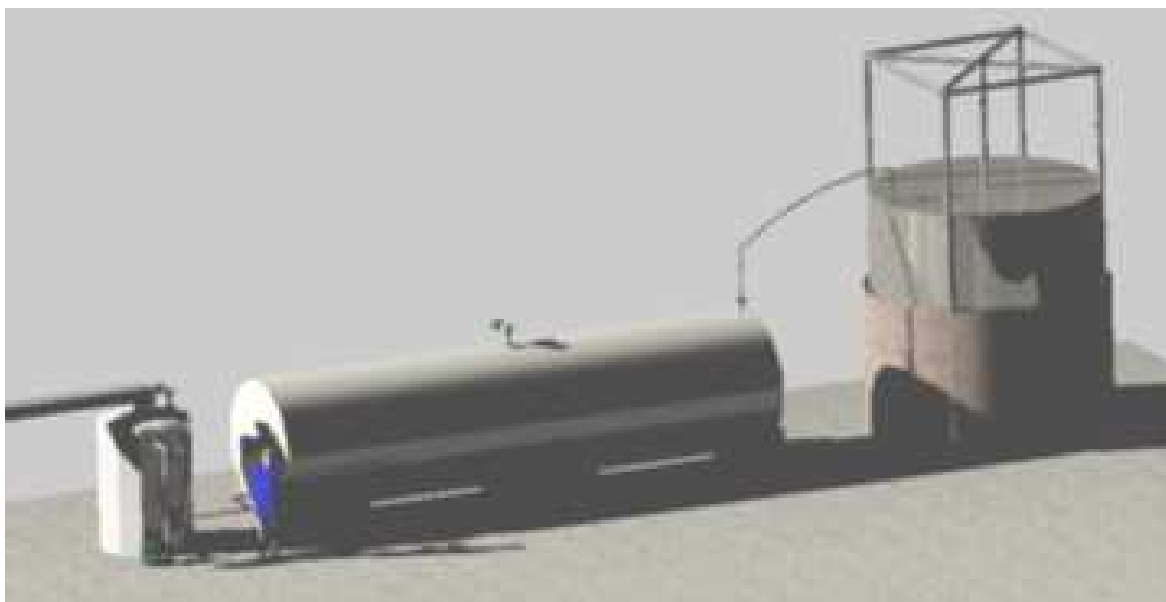
**Plano 3 - Vista lateral Biodigestor Prototipo (medidas en mm)**



**Plano 4** - Vista isométrica Biodigestor escala real.



**Plano 5** - Vista lateral del Biodigestor escala real renderizada.



## X. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES CONSULTADAS

ASOCIACION ESPAÑOLA DE BIOGAS. Disponible en <http://www.aebig.org>.

ASOCIACION EUROPEA DE BIOGAS. Disponible en <http://www.european-biogas.eu>.

BBC MUNDO, Diario Digital. Disponible en <http://www.bbc.co.uk/mundo>.

CARDOZO F.V, GORNITZKY C.M., PALIOFF N.C., ENERGÍAS RENOVABLES PARA EL DESARROLLO RURAL, 2008, Libro elaborado por Miembros del INTA y del CIPAF, ISBN N° 978-987-25050-2-8. Disponible en <http://inta.gob.ar/documentos/energias-renovables-para-el-desarrollo-rural>.

CENTRO DE DEBATE Y MARKETPLACE DE BIOCOMBUSTIBLES. Disponible en <http://www.biodieselspain.com>.

CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TÉCNICAS. Disponible en <http://www.conicet.gov.ar>.

DE JUANA SARDON J. M, GARCIA A. de F., GONZALEZ J.F., GARCIA F.S., GARCIA M.A.H., MARTINEZ A.C.; 2007 "Energías Renovables para el desarrollo", ISBN 978-84-283-2864-7, Editorial Thomson Paraninfo.

DUQUE, D.C.A.; GALEANO, U.C.H.; MANTILLA, G.J.M.; 2006 "Evaluación de un digester tipo "Plug Flow" (en línea). Livestock Research for Rural Development 18(4). Disponible en <http://cipav.org.co/lrrd18/4/duqu18049.htm>.

EL SECTOR DEL BIOGAS AGROINDUSTRIAL EN ESPAÑA, Documento Elaborado por Miembros de la Mesa de Biogás, Madrid 16 de septiembre de 2010.

ENERGIAS RENOVABLES PARA EL DESARROLLO RURAL, Por Francisco Victoriano CARDOZO, Cora Miriam GORNITZKY y Nosal Claudia PALIOFF, Libro elaborado por Miembros del INTA y del CIPAF, ISBN N° 978-987-25050-2-8, Agosto 2008. Disponible en <http://inta.gob.ar/documentos/energias-renovables-para-el-desarrollo-rural>.

ESTRATEGIA ENERGETICA, Magazine de debate. Disponible en <http://www.eenergetica.polp.com.ar>.

FUNDACION ENERGIZAR. Disponible en <http://www.energizar.org.ar>.

FUNDACION PROTEGER. Disponible en <http://www.proteger.org.ar>.

FABIANI ANAHÍ, MIKA RICARDO, LARocca LUIS, ANDERSON CATALINA; 1996 “Manual Para Productores de Naranja y Mandarina de la Región del Río Uruguay”, ISBN 950-9853-72-0, Secretaría de Agricultura Pesca y Alimentación, INTA.

GROPPELLI E.S., GIAMPAOLI O.A., CAPATTO J.; 2001 “El camino de la Biodigestión, Ambiente y Tecnología Socialmente Apropriada”, 191pp., ISBN 987-508-165-5, Libro editado por el Centro de Publicaciones de la UNL.

GROPPELLI E.S., MUESATI J.V., PAMPINELLA B.G., GIAMPAOLI O.A.; 1993 “Biodigestor anaeróbico para el tratamiento de Residuos Sólidos Orgánicos en pequeñas comunidades”, Facultad de Ingeniería Química – UNL, Santa Fé, Argentina.

GRUBER S., HILBERT J.A., SCHEIMBERG S.; 2010 “Estudio de caso preliminar de generación eléctrica de 1Mwe con una planta de biogás de alta eficiencia”, INTA, Argentina.

HERRERO J.M.; 2008 “Biodigestores Familiares, Guía de diseño y manual de instalación”, ISBN 978-99954-0-339-3, GTZ-Energía Bolivia.

HILBERT J.A., “Manual para la producción del biogás”, Instituto de Ingeniería Rural, I.N.T.A., Castelar.

INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION, Revista “Water Science & Technology.” Disponible en <http://www.iwahq.org.uk>.

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA. STEFAN BUDZINSKI; 2009 “Taller de Trabajo Internacional, Biogás Alemania, Digestores y Sustratos”. Disponible en <http://www.inta.gov.ar>.

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA. Disponible en <http://www.inta.gov.ar>.

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA INDUSTRIAL. Disponible en <http://www.inti.gov.ar>.

MUNICIPALIDAD EL CERRITO, Entre Ríos. Disponible en <http://cerrito.gov.ar/biogas>.

PORTAL DE CONGRESOS UNLP, Sitio de Gestión para la Organización de Congresos. “Biodigestión Anaeróbica a escala piloto industrial de residuos semisólidos generados en la industrialización del limón”, Actas del 7mo Congreso de Medio Ambiente AUGM, mayo 2012. Disponible en: <http://www.congresos.unlp.edu.ar/index.php/CCMA/7CCMA/paper/viewFile/732/158>.

PROGRAMA PARA EL ESTUDIO Y APLICACIÓN DEL BIOGAS, con ayuda de la Environmental Protection Agency (EPA) y los departamentos de agricultura y energía de los Estados Unidos. Disponible en <http://www.epa.gov/agstar>.

RED ESPAÑOLA DE COMPOSTAJE. Disponible en <http://www.recompostaje.com>. “Optimización de la Producción de Biogás de subproductos cárnicos”. Disponible en:

<http://ffii1.etsii.upm.es/renovalia/ponencias/BIOESUCA-GIRO.pdf>.

REVISTA DIGITAL DE INNOVACION TECNOLOGICA. Disponible en <http://www.cinntec.misiones.gov.ar>.

SCIELO, SCIENTIFIC ELECTRONIC LIBRARY ONLINE, CAICYT-CONICET. Disponible en <http://www.scielo.org.ar>.

SECRETARIA DE CIENCIA Y TECNICA. Disponible en <http://www.scyt.org.ar>.

SEMINARIO “Desafíos y estrategias para implementar la biodigestión anaeróbica en los agrosistemas”; 2007 INTA de Capital Federal. Disponible en el Centro de Información de Actividades Porcinas (CIAP) <http://www.ciap.org.ar/ciap/Sitio/Materiales/Produccion/Medio%20Ambiente/Desafios%20y%20estrategias%20para%20implementar%20la%20digestion%20anaerobica%20en%20agroecosistemas.pdf>.

VIDAL A.P., RUIZ FUERTES B.; 2009 “Manual de Estado del Arte de la Co-Digestión Anaerobia de Residuos Ganaderos y Agroindustriales”, Versión N° 2, Coordinadores Universidad de Oviedo, Marañón Maison Elena, Fernández Nava Yolanda, Castrillón Peláez Leonor. Realizado por la Universidades de Barcelona, Cádiz, León, Oviedo 1, Oviedo 2, Santiago, España. Disponible en [http://canseixanta.cat/.../PROBIOGAS\\_Manual%20de%20Estado%20del%20Arte](http://canseixanta.cat/.../PROBIOGAS_Manual%20de%20Estado%20del%20Arte).

## XI. ANEXO

**Foto 1** – Sistema de medición metano en biogás (en el laboratorio de E. Groppelli, Santa Fe)



**Foto 2** – Biodigestor piloto nº 2 (en el laboratorio de E. Groppelli, Santa Fe)



**Foto 3** – Gasómetro perteneciente al biodigestor piloto nº 2 (en el laboratorio de E. Groppelli, Santa Fe)



**Foto 4** – Motorreductor perteneciente al biodigestor piloto nº 2 (en el laboratorio de E. Groppelli, Santa Fe)





**Foto 5** – Caños de ingreso para los sustratos, perteneciente al biodigestor piloto nº 2 (en el laboratorio de E. Groppelli, Santa Fe)



**Foto 6** – Generación de electricidad a partir de los residuos, Planta Nº 2 Pueblo Moreno (Cerrito, Paraná, Entre Ríos)



**Foto 7** – Grupo electrógeno y filtro. Planta N° 2 Pueblo Moreno (Cerrito, Paraná)



**Foto 8** – Contrapesos en gasómetro. Planta N° 2 Pueblo Moreno (Cerrito, Paraná)

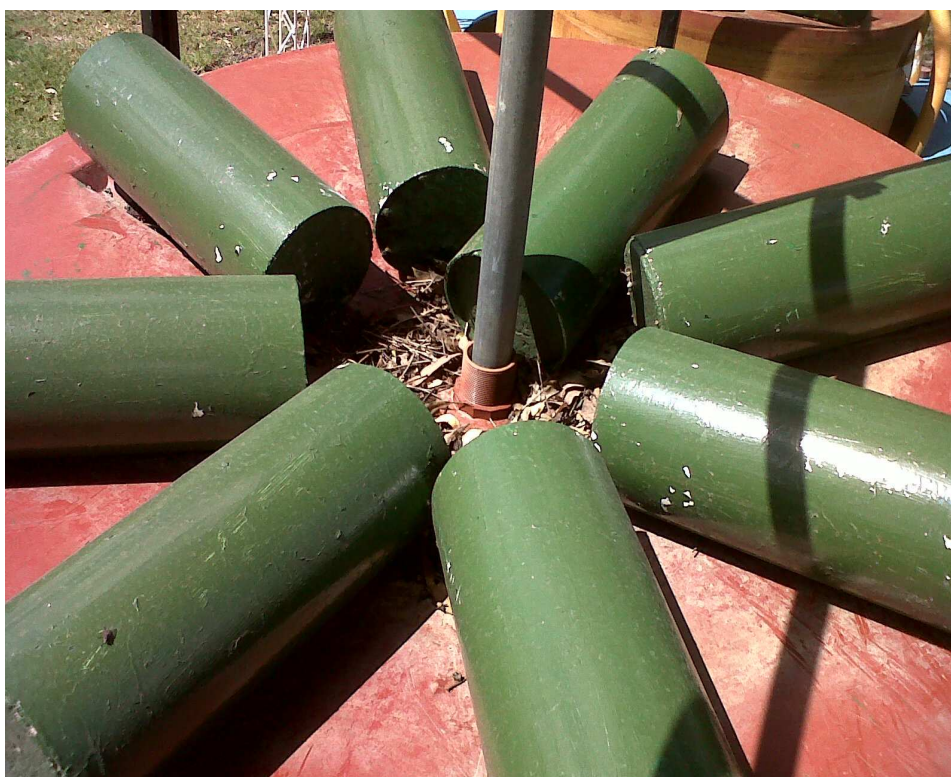


Foto 9 – Productos que se obtienen de la industrialización del citrus (Extraído de RPB SA)

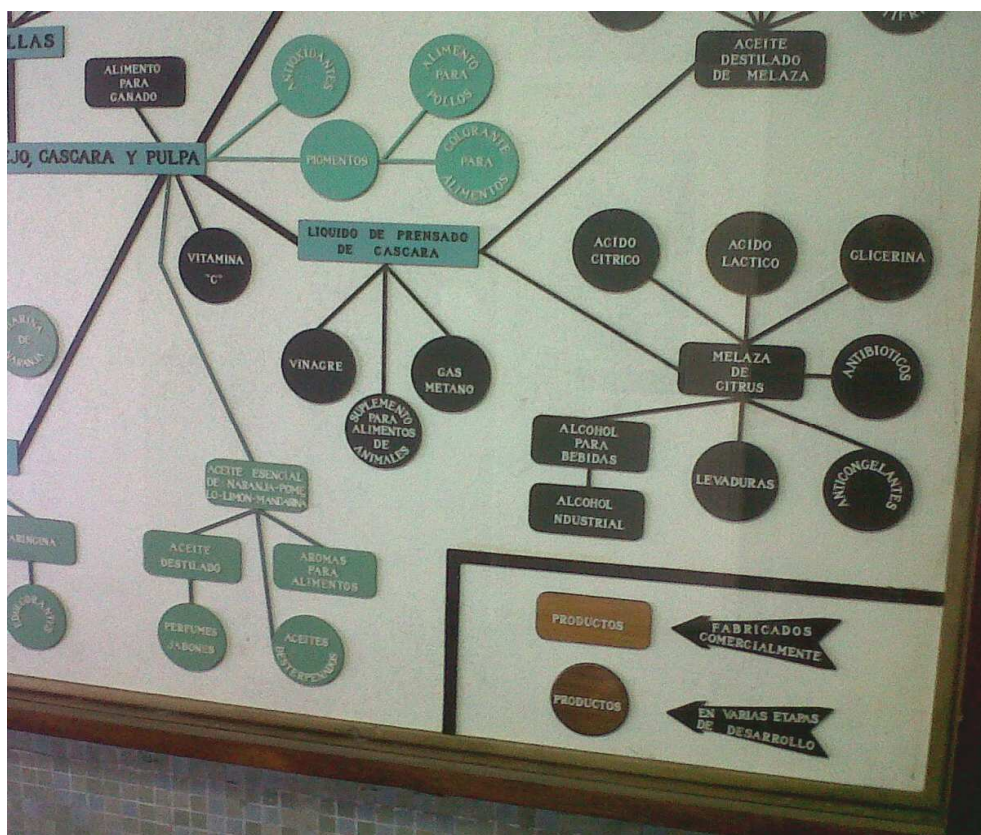


Foto 10 – Experiencia n°3 para determinar porcentaje de metano en biogás.





Anexo II – Tabla de cálculo biodigestor piloto nº1. Alimentación discontinua.

EMPRESA: RPB SA		MUESTRA - CASCARAS DE NARANJA - Alimentación discontinua											
Diámetro Gasómetro		28,00	cm	Área Gasómetro		615,75	cm <sup>2</sup>						
Diámetro base gasómetro		44,00	cm										
Fecha	Día	Hora		Días de Corrida	Temp Amb (°C)	Volumen Despl.(ml)	Gasómetro Altura (cm)	Vol. Húm. Total (ml)	Presión Parc. H2O	Vol. Seco Parcial (ml)	Vol Seco Total PTN (ml)	%	
		Hs.	Min.										CH4
28/06/2013	-	10	10	0,42	-	-	-	-	-	-	-	-	
29/06/2013	1	10	47	1,45	17,00	7.000,00	-	7.000,00	0,019	6.865,06	6.462,64	-	
01/07/2013	2	9	6	2,38	20,00	-	-	-	0,023	-	-	-	
02/07/2013	1	10	51	1,45	21,00	-	-	-	0,024	-	-	-	
03/07/2013	1	8	48	1,37	22,00	-	-	-	0,026	-	-	-	
04/07/2013	1	8	32	1,36	21,00	-	-	-	0,024	-	-	-	
16/07/2013	12	8	2	12,33	13,00	15,00	12.063,74	12.063,74	0,015	11.880,32	11.340,31	-	
16/07/2013	-	9	30	0,40	13,00	-	-	-	0,015	-	-	-	
26/07/2013	10	10	20	10,43	18,00	-	-	-	0,020	-	-	52,00	
02/08/2013	6	9	20	6,39	15,00	12,00	9.651,00	9.651,00	0,017	9.485,78	8.991,73	-	
02/08/2013	-	11	46	0,49	15,00	-	-	-	0,017	-	-	-	
09/08/2013	7	8	30	7,35	15,00	-	-	-	0,017	-	-	-	
24/08/2013	15	10	10	15,42	10,00	24,00	19.301,99	19.301,99	0,013	19.056,34	18.382,97	-	
24/08/2013	-	10	30	0,44	10,00	-	-	-	0,013	-	-	-	
30/08/2013	6	9	20	6,39	26,00	-	-	-	0,033	-	-	-	
31/08/2013	1	8	10	1,34	30,00	15,00	12.063,74	12.063,74	0,042	11.561,09	10.416,43	-	
VOLUMEN TOTAL DE BIOGAS		13	9	34	13,40	22,00	24,40	19.623,69	0,026	19.114,90	17.689,39	52,00	
CONVERSION DE MATERIA ORGANICA EN BIOGAS - (Lt Biogas / Kg SV)												152,81	
Porcentaje de Metano del Biogás												52,00	
CONVERSION DE MATERIA ORGANICA EN METANO - (Lt CH4 / Kg SV)												79,46	
CONVERSION DE MATERIA ORGANICA EN METANO - (m3 CH4 / TON CASCARAS)												15,88	
CONVERSION DE MATERIA ORGANICA EN BIOGAS - (m3 BIOGAS / TON CASCARAS)												30,53	

BIODIGESTOR PILOTO N° 1		
Volumen Biodigestor	180,00	Lt
Contenido ST Inicial Bio 2	8,00	%
Relación (SSV / ST) Inicial Bio	59.210	SSV/ST

PRIMER MUESTRA PROCESADA			
Cascaras de Naranja	20,67	Gr ST / 100 Gr	
Concentración Cáscaras	0,9667	Gr SV / Gr ST	19,98 Gr SV / 100 Gr

Fecha	Día	Hora		Días de Corrida	Temp Dig.(°C)	Descarga Tratada			Ingreso Crudo			Velocid. de Carga Kg DQO/m3 Bio * Día	
		Hs.	Min.			Vol. (ml)	Conc. - Gr / 100Gr	pH react.	Peso (Gr)	Conc. - Gr SV / 100GrM	Gr SV		
28/06/2013	0	10	10	0,42	35,00	-	-	-	6,80	500,00	19,98	99,91	0,54
29/06/2013	1	10	47	1,45	34,00	-	-	-	7,50	-	19,98	-	-
01/07/2013	2	9	6	2,38	35,00	-	-	-	7,50	-	19,98	-	-
02/07/2013	2	10	51	1,45	34,00	-	-	-	7,40	-	19,98	-	-
03/07/2013	1	8	48	1,37	35,00	-	-	-	7,20	-	19,98	-	-
04/07/2013	1	8	32	1,36	34,00	-	-	-	7,50	-	19,98	-	-
16/07/2013	12	8	2	12,33	35,00	-	-	-	-	500,00	19,98	-	-
16/07/2013	0	9	30	0,40	36,00	-	-	-	-	-	-	-	-
26/07/2013	10	10	20	10,43	35,00	-	-	-	-	500,00	-	-	-
02/08/2013	6	9	20	6,39	35,00	-	-	-	-	-	-	-	-
02/08/2013	0	11	46	0,49	35,00	-	-	-	7,41	700,00	19,98	139,87	0,11
09/08/2013	7	8	30	7,35	36,00	-	-	-	-	-	-	-	-
24/08/2013	15	10	10	15,42	35,00	-	-	-	-	-	-	-	-
24/08/2013	0	10	30	0,44	35,00	-	-	-	7,40	700,00	19,98	139,87	0,13
30/08/2013	6	9	20	6,39	35,00	-	-	-	-	-	-	-	-
31/08/2013	1	8	10	1,34	35,00	-	-	-	-	500,00	19,98	99,91	-0,41
VOLUMEN TOTAL DE BIOGAS		13	9	34	13,40	22,00	24,40	19.623,69	0,026	19.114,90	17.689,39	52,00	
CONVERSION DE MATERIA ORGANICA EN BIOGAS - (Lt Biogas / Kg SV)												152,81	
Porcentaje de Metano del Biogás												52,00	
CONVERSION DE MATERIA ORGANICA EN METANO - (Lt CH4 / Kg SV)												79,46	
CONVERSION DE MATERIA ORGANICA EN METANO - (m3 CH4 / TON CASCARAS)												15,88	
CONVERSION DE MATERIA ORGANICA EN BIOGAS - (m3 BIOGAS / TON CASCARAS)												30,53	

**Anexo III – Registro de datos obtenidos durante la alimentación continua en biodigestor piloto nº 1**

<b>Fecha</b>	<b>VCO (Kg. residuo/día)</b>	<b>Producción de biogás (Lt NPT / Kg. residuo)</b>	<b>Producción de biogás (Lt NPT / Kg. SV)</b>	<b>Estabilidad (<math>\alpha</math>)</b>
24/07/12	0,7	13,3	1,40	0,5
25/07/12	0,7	17,3	1,82	0,5
26/07/12	0,7	22,6	2,38	0,5
27/07/12	0,7	28,0	2,94	0,45
28/07/12	0,7	42,6	4,47	0,45
29/07/12	0,7	35,9	3,78	0,45
30/07/12	1,4	16,0	1,68	0,4
31/07/12	1,4	19,3	2,03	0,4
01/08/12	1,4	0,0	0,00	0,3
02/08/12	1,4	0,0	0,00	0,3
03/08/12	1,4	0,0	0,00	0,25
04/08/12	1,4	0,0	0,00	0,25

**Anexo IV – Registro de datos obtenidos durante la alimentación discontinua en biodigestor piloto nº 1**

<b>Fecha</b>	<b>VCO (Kg. residuo/día)</b>	<b>Producción de biogás (Lt NPT / Kg. residuo)</b>	<b>Producción de biogás (Lt NPT / Kg. SV)</b>	<b>Estabilidad (<math>\alpha</math>)</b>
28/06/13	0,5	14,9	7,5	0,3
29/06/13	0	18,6	9,3	0,3
01/07/13	0	18,6	9,3	0,3
02/07/13	0	28,0	14,0	0,3
03/07/13	0	28,0	14,0	0,4
04/07/13	0	28,0	14,0	0,4
16/07/13	0	28,0	14,0	0,4
16/07/13	0,5	0,0	0,0	0,4
26/07/13	0,5	28,0	14,0	0,4
02/08/13	0	22,4	11,2	0,61
02/08/13	0,7	0,0	0,0	0,61
09/08/13	0	16,0	11,2	0,62
24/08/13	0	18,6	13,0	0,62
24/08/13	0,7	0,0	0,0	0,62
30/08/13	0	20,0	14,0	0,6
31/08/13	0,5	0,0	0,0	0,6

Anexo V – Tabla de cálculo biodigestor piloto n°2. Alimentación discontinua.

EMPRESA: RPB SA

MUESTRA : CASCARAS DE NARANJA

Diámetro Gasómetro 52,50 cm

Área Gasómetro 2.164,76 cm<sup>2</sup>

Fecha	Día	Hora		Días de Corrida	Temp Amb (°C)	Volumen Despl.(ml)	Gasómetro Altura (cm)	Vol. Húm. Total (ml)	Presión Parc. H2O	Vol. Seco Parcial (ml)	Vol Seco Total PTN (ml)	%
		Hs.	Min.									
29/06/2013	-	18	10	0,76	-	-	-	-	-	-	-	-
09/07/2013	10	10	47	10,45	13,00	3.980,00	61,00	136.030,28	0,015	133.962,01	127.872,83	-
14/07/2013	15	17	6	15,71	17,50	-	29,50	63.860,38	0,020	62.592,45	58.821,82	-
20/07/2013	21	16	51	21,70	13,00	-	69,40	150.234,26	0,015	147.950,02	141.225,02	61,65
11/08/2013	43	10	48	43,45	12,00	-	32,00	69.272,28	0,014	68.279,67	65.404,74	66,66
16/08/2013	48	17	32	48,73	13,50	-	50,70	109.753,27	0,016	108.034,31	102.943,68	56,85
19/08/2013	51	11	46	51,49	15,50	-	57,60	124.690,10	0,018	122.491,29	115.910,30	48,46
01/09/2013	64	9	34	64,40	22,00	-	24,40	52.820,11	0,026	51.450,64	47.613,64	-
<b>VOLUMEN TOTAL DE BIOGAS</b>								<b>506.770,02</b>			<b>473.097,38</b>	<b>58,41</b>

CONVERSION DE MATERIA ORGANICA EN BIOGAS - (Lt Biogas / Kg SV)	370,35
Porcentaje de Metano del Biogás	58,41
CONVERSION DE MATERIA ORGANICA EN METANO - (Lt CH4 / Kg SV)	216,30
CONVERSION DE MATERIA ORGANICA EN METANO - ( m3 CH4 / TON CASCARAS)	43,22
CONVERSION DE MATERIA ORGANICA EN BIOGAS - ( m3 BIOGAS / TON CASCARAS)	74,00


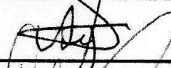
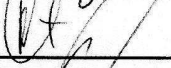




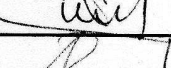



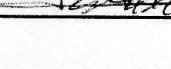
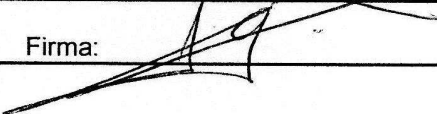
BIODIGESTOR PILOTO N° 2		
Volumen Biodigestor	42,00	Lt
Contenido ST Inicial Bio 2	5,60	%
Relación (SSV / ST) Inicial Bio	59,210	SSV/ST

PRIMER MUESTRA PROCESADA				
Cascaras de Naranja	20,67	Gr ST / 100 Gr		
Concentración Cáscaras	0,9667	Gr SV / Gr ST	19,98	Gr SV / 100 Gr

Fecha	Día	Hora		Días de Corrida	Temp Dig.(°C)	Descarga Tratada			Ingreso Crudo			Velocid. de Carga Kg DQO/m3 Bio * Dia	Tiempo de residencia de los solidos Dias
		Hs.	Min.			Vol. (ml)	Conc. - Gr / 100Gr	pH react.	Peso (Gr)	Conc. - Gr SV / 100GrM	Gr SV		
29/06/2013	0	18	10	0,76	33,10			7,64	1.151,00	19,98	229,99	0,56	63,64
09/07/2013	10	10	47	10,45	32,80			7,84	1.030,00	19,98	205,81	0,93	53,95
14/07/2013	15	17	6	15,71	33,70			7,69	1.342,00	19,98	268,15	1,07	48,69
20/07/2013	2	16	51	21,70	33,00			7,65	486,00	19,98	97,11	0,11	42,70
11/08/2013	43	10	48	43,45	32,90			7,37	1.005,00	19,98	200,82	0,91	20,95
16/08/2013	48	17	32	48,73	33,50	1.850,00		7,45	1.379,00	19,98	275,55	2,38	15,67
19/08/2013	5	11	46	51,49	33,80			7,41			-	-	
01/09/2013	64	9	34	64,40	33,60			7,04			-	-	
									6.393,00	-	1.277,43		41



**Anexo VI – Constancia de Capacitación Introducción a la Problemática Ambiental**


 Capacitación / Entrenamiento <b>PLANILLA DE ASISTENCIA</b>		
ACTIVIDAD/TEMA: <i>Introducción a la Problemática Ambiental Mod I.</i>		
FECHA: <i>11/08/2010</i>	DURACIÓN: <i>1.5</i>	Horas
CANTIDAD DE HORAS TOTALES (NºAsist. X Horas):		<i>16,5</i> Horas
PARTICIPANTES		
Nombres y Apellido	Firma	Sector
1 <i>Alexandro Cepanday</i>		<i>Planta</i>
2 <i>Oscar Gerard</i>		<i>Laboratorio</i>
3 <i>Vicente Hernán</i>		<i>Insumos</i>
4 <i>Gerardo Pablo</i>		<i>RRHH</i>
5 <i>Comaló Hernán</i>		<i>Laboratorio</i>
6 <i>Dalozzano Andrea</i>		<i>Laboratorio</i>
7 <i>RETAMOSO, CALVIN A.</i>		<i>PORTERIA</i>
8 <i>ALEXIS A. RONDAU</i>		<i>MANTENI.</i>
9 <i>Jody Fobro, Motis</i>		<i>Aseptico.</i>
10 <i>Luiso Bordenave</i>		<i>Producción</i>
11 <i>JAVIER ALBORZO</i>		<i>ADM. DE VENTAS</i>
12		
13		
14		
15		
Disertante/Instructor: <i>Jan 2. Valls</i>		Firma: 
Observaciones:		

Form. RRHH-6.2.2-02-04 Rev. 02

**Anexo VII – Constancia de Capacitación Manejo de Residuos Industriales**

PLANTA CONCORDIA		
PLANILLA DE ASISTENCIA		
ACTIVIDAD/TEMA: <u>Capacitación en Manejo de Residuos Industriales</u>		
FECHA: <u>21/12/2010</u>	DURACIÓN: <u>1.5</u>	Horas
CANTIDAD DE HORAS TOTALES (NºAsist. X Horas): <u>22.5</u>		Horas
Nombres y Apellido	Firma	Sector
1 <u>Saramendi Pablo</u>		RRHH
2 <u>Otero Osvaldo M</u>		OF. técnica
3 <u>Volpi Pablo</u>		MANTENIMIENTO
4 <u>Gomez Martin</u>		MANTENIMIENTO
5 <u>RONDAN Alexis A</u>		MANTENIMIENTO
6 <u>Toscano Cesar</u>		Servicios
7 <u>Stroppi Nicolas</u>		Mantenimiento
8 <u>BENITI DANIEL</u>		Aseptico
9 <u>Basso Fernando Luis</u>		Producción
10 <u>DANILO VICTOR DIAZ</u>		PRODUCCION
11 <u>NICOLAS SILEO</u>		PRODUCCION
12 <u>FINK MATIO</u>		Produccion
13 <u>QARDOZO GERMAN</u>		LIMPIEZA
14 <u>Cornelio Hernan</u>		Laboratorio
15 <u>ROHR Rene</u>		MANTENIMIENTO
Disertante/Instructor: <u>Juan J. Salls</u>	Firma:	
Observaciones:		

**Anexo VIII – Constancia de Capacitación Fundamentos de la Biodigestión anaeróbica (Módulo I)**

 Capacitación / Entrenamiento <b>PLANILLA DE ASISTENCIA</b>		
ACTIVIDAD/TEMA: <i>Fundamentos de la Biodigestión anaeróbica (Módulo I)</i>		
FECHA: <i>25/11/2011</i>	DURACIÓN: <i>1.5</i>	Horas
CANTIDAD DE HORAS TOTALES (NºAsist. X Horas):		<i>4.5</i> Horas
PARTICIPANTES		
Nombres y Apellido	Firma	Sector
1 <i>Roberto Lazo</i>	<i>[Signature]</i>	<i>EFLUENTES</i>
2 <i>Rolito Ponce</i>	<i>[Signature]</i>	<i>''</i>
3 <i>Costaro Farneda</i>	<i>[Signature]</i>	<i>''</i>
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
Disertante/Instructor: <i>Juan J. Vallés</i>		Firma: <i>[Signature]</i>
Observaciones: <i>Dejamos programado para dentro de 2-3 semanas tener el Módulo II. También se tratará de cargar en los próximos días el biodigestor</i>		

Form. RRHH-6.2.2-02-04 Rev. 02