

BIODIGESTORES DE PEQUEÑA ESCALA

Un análisis práctico sobre su factibilidad

Huerga, I. R.; Butti, M.; Venturelli, L.

EEA Oliveros - Instituto de Ingeniería Rural



■ Ediciones

Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria



Biodigestores de Pequeña Escala

Un análisis práctico sobre su factibilidad

Autores:

Ing. Amb. Ignacio Huerga

Estación Experimental Agropecuaria INTA Oliveros – Centro Regional Santa Fe.

Ing. Amb. Mariano Butti

Instituto de Ingeniería Rural – Centro de Investigación de Agroindustria – Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias

Ing. Agr. Leonardo Venturelli

Instituto de Ingeniería Rural – Centro de Investigación de Agroindustria – Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias

Primera Edición

Estación Experimental Agropecuaria INTA Oliveros – Centro Regional Santa Fe. Ruta 11 km 353 Oliveros (2206) Provincia de Santa Fe. <http://inta.gob.ar/unidades/612000>

Venturelli, Leonardo

Biodigestores de pequeña escala : un análisis práctico sobre su factibilidad / Leonardo Venturelli ; Mariano Butti ; Ignacio Huerga. - 1a ed. – Santa Fe : Ediciones INTA, 2014.

E-Book.

ISBN 978-987-521-476-7

1. Agricultura Familiar. 2. Energías Renovables. I. Butti, Mariano II. Huerga, Ignacio III. Título
CDD 630

Fecha de catalogación: 14/02/2014

AGRADECIMIENTOS

Al personal de la Escuela N° 6253, por su amabilidad en el trato, su predisposición para el trabajo, su compromiso en la construcción y seguimiento del prototipo. Por las ganas de construir juntos este proceso.

Al Profesor Lorenzo Perez y su equipo de trabajo de la Municipalidad de Venado Tuerto, por las gestiones realizadas en la generación de la estructura de sostén del proceso.

A los coordinadores del proyecto, por confiar en nuestras aptitudes.

A Rodolfo Florean, por colaborar con el dibujo de los planos que se muestran en esta publicación.

A los agricultores familiares. “La tierra pertenece a quienes la trabajan”

A nuestras familias, por el apoyo incondicional.

PROLOGO

El desarrollo de tecnologías apropiadas en energías renovables es un tema que ha sido tomado desde el INTA ya desde los años 90 y que se reeditó en el 2008 cuando se organizó un encuentro sobre estas tecnologías disponibles a pequeña escala. Con varios artefactos desarrollados por diferentes organismos, instituciones y personas, se pudo observar una diversidad de propuestas dispersas, y a la vez la necesidad de generar y validar tecnologías apropiadas. De esta forma surgió el proyecto de energías renovables apropiadas que facilitó la integración de equipos de trabajo, la articulación interinstitucional y la atención de demandas concretas en un proceso de investigación acción participativa.

La generación de energías renovables es una urgente necesidad que implica su desarrollo distribuido y que se debate en un modelo concentrado que no facilita su aplicación.

El desarrollo de la experiencia y la producción de esta publicación resumen aspectos distintivos del enfoque con que se ha tomado la temática, con equipos técnicos de distintos lugares, colaborando con otras instituciones, con la participación de los actores locales (alumnos, docentes, comunidad educativa), partiendo de reciclar los recursos con que se cuentan generando una respuesta concreta adecuada a las necesidades y posibilidades de la institución.

La publicación presenta los detalles del sistema de construcción y funcionamiento de la tecnología y permite la multiplicación de la experiencia facilitando su adaptación y apropiación.

Los biodigestores adaptados a las diferentes condiciones permiten contar con una fuente energética renovable y facilita el reciclado de residuos orgánicos.

Esta publicación es un producto concreto del trabajo del proyecto de INTA y del esfuerzo de los técnicos en la generación de tecnologías apropiadas.

Ing. Ftal. MSc Francisco Cardozo.

Coordinador PE "Eficiencia Energética y Energías Renovables para la Agricultura Familiar y el Desarrollo Rural" Cartera de proyectos 2009-2012. INTA EEA Oliveros

En primer lugar mi más sincero agradecimiento a los autores por concederme el privilegio de prologar esta publicación.

"Biodigestores de pequeña escala" no pretende ser un manual sobre biodigestión, dado que hay suficiente bibliografía al respecto -citada en esta publicación-. Lo que se propone es contar una experiencia concreta sobre un biodigestor construido de manera participativa, que se encuentra instalado y en funcionamiento en la Escuela Rural N° 6253 "Jose de San Martín", ubicada en la zona rural de Santa Isabel, al sur de la provincia de Santa Fe.

La Agricultura Familiar requiere energía tanto para la unidad doméstica como para la producción. En el año 2009, el INTA creó en el Area Estratégica de Agroindustria el Proyecto Específico "Eficiencia energética y energías renovables apropiadas para la agricultura familiar y el desarrollo rural". En la nueva cartera de Proyectos, dentro del Programa Nacional de Agroindustria y Agregado de Valor se acaba de crear el Módulo "Desarrollo de Energías Renovables para la Agricultura Familiar y unidades productivas de baja escala". Uno de los objetivos de este módulo es la difusión y capacitación sobre el uso de artefactos que utilizan fuentes de energía renovable tanto para productores como para técnicos. También se propone concientizar acerca del uso de fuentes renovables de energía, más limpias, de menor impacto

ambiental. Las Escuelas Agrarias constituyen un medio propicio, tanto por su legitimación en el desarrollo local, como también por el fuerte vínculo que tiene con los padres de los alumnos, en su mayoría productores familiares de la zona.

Esta publicación, además de relatar una experiencia concreta, brinda los elementos básicos a tener en cuenta, para quienes pretendan iniciar un proyecto para construir una instalación de este tipo.

En muchos lugares del territorio nacional, los productores se encuentran en zonas de muy difícil acceso y baja densidad poblacional, lo que hace aún menos factible la ampliación de las redes convencionales de energía, hasta esos lugares. Por lo tanto es necesario contar con mayor cantidad de experiencias y continuar investigando, para dar respuestas y soluciones a problemas energéticos de los productores. Esta publicación hace un aporte en este sentido.

Ing. Mec. Marcos Hall

Coordinador Módulo 3: "Desarrollo de Energías Renovables para la Agricultura Familiar y unidades productivas de baja escala" – PNAlyAV. INTA IPAF Región Pampeana. Cartera de proyectos 2013.

RESUMEN

El objetivo general que persigue la siguiente publicación es mostrar las etapas de construcción de un modelo de biodigestor en pequeña escala, mediante una experiencia práctica sobre el territorio que contempló la participación activa de diferentes actores locales (Municipios, PyMES, Docentes y Alumnos, productores) en las instancias de diagnóstico, investigación & desarrollo e instalación.

Desde hace mucho tiempo se viene indagando sobre los biodigestores como tecnología apropiada para la población rural, en donde la energía es escasa, costosa y los residuos generan un problema que afecta a la calidad de vida de los pobladores.

Para una familia rural, un biodigestor puede ser útil en varios aspectos, pero resaltamos dos características principales: la cantidad de gas que éste puede generar y el volumen de residuos a ser tratados en el mismo.

El abordaje de esta actividad fue en una Escuela Rural al sur de la Provincia de Santa Fe y sentó sus bases bajo la lógica de la Investigación Acción Participativa. En las distintas etapas del proceso se logró involucrar a diversos actores locales. Como consecuencia de ello, se diseñó e instaló un digestor según el volumen de residuos generados en el establecimiento.

Los valores medidos de producción de biogás a la fecha otorgan un promedio de 350 L día^{-1} . Los fines energéticos del gas producido fueron para cocción, particularmente en el proceso de elaboración de dulces. De esta forma, se aprovecha la energía generada por el biodigestor en un producto diferenciado. Desde lo didáctico y educativo, la apropiación de los alumnos en dicha tecnología permite potenciar la enseñanza relacionada al uso de fuentes alternativas de energía y al cuidado del medio ambiente.

ÍNDICE

RESUMEN	2
ÍNDICE.....	4
1. INTRODUCCIÓN.....	6
2. OBJETIVO.....	14
3. PARTES QUE COMPONEN UN DIGESTOR	16
4. TIPOS DE DIGESTORES.....	20
5. CONCEPTOS EN EL DISEÑO DE UN BIODIGESTOR FAMILIAR	22
6. CASO DE ESTUDIO: BIODIGESTOR FAMILIAR EN ESCUELA RURAL.....	26
7. CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO Y ACCESORIOS	28
8. PRUEBAS NECESARIAS PREVIO A LA INSTALACIÓN.....	38
9. INSTALACIÓN, PUESTA EN MARCHA E INICIO DEL PROCESO.....	40
10. CONSIDERACIONES.....	50
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....	52
ANEXO I Planos.....	54
ANEXO II Materiales Utilizados en la construcción.....	80
ANEXO III Herramientas manuales utilizadas.....	84
ANEXO IV Selladores, adhesivos y pegamentos.....	88
ANEXO V Técnicas analíticas de monitoreo	92

1. INTRODUCCIÓN

1.1. La historia

Desde hace mucho tiempo se viene indagando sobre los biodigestores como tecnología apropiada para la población rural, en donde la energía es escasa o costosa; y los residuos generan un problema que afecta a la calidad de vida de los pobladores.

El año 1808 fue el punto de partida de la primera investigación, a cargo de Humphry Davy, quien detectó gas metano en la descomposición del estiércol vacuno. Recién en 1884, Louis Pasteur llegó a la conclusión de que la fermentación de los estiércoles podrían ser una fuente de energía para calefacción e iluminación, aplicación a la que llegó el inglés Donald Cameron en el año 1896, al perfeccionar su tanque séptico y utilizar el gas generado para consumo propio. Siguiendo con esta línea, en el año 1900 se cita la puesta en funcionamiento del primer biodigestor en Bombai, donde el biogás fue utilizado para lograr el accionar de un motor (CEPIS 1995).

Entre los años 1933 y 1939, Buswell desarrolló en la Universidad de Illinois trabajos experimentales en digestión de residuos agrícolas y estiércol de animales, realizando aplicaciones en granjas agropecuarias.

En la década del 70, la crisis energética trajo a colación un gran número de programas que tuvieron la iniciativa de instalar biodigestores para el abastecimiento de energía en las comunidades rurales, haciendo especial énfasis en aquellos equipos de pequeña y mediana escala. Es aquí donde India y China surgen como pioneros en la tecnología, ya que en estos países se construyeron más de un millón de unidades en zonas agrícolas, gracias al apoyo de los gobiernos que financiaban esta actividad. Desde entonces, los países en desarrollo han sido los principales promotores en la difusión e implementación de la biodigestión en pequeña escala.

Thomas (2009) menciona la experiencia del Gobierno de la India sobre el programa de la década del 60', orientado a la producción de gas mediante reactores de biomasa, citando que evaluaciones recientes han registrado una fuerte subutilización de la capacidad instalada, ya que se encontraban en funcionamiento el 55 % de los equipos familiares y un 7.3% de los de uso comunitario. Las explicaciones aducidas se enmarcaban en aspectos socio-culturales (tabues religiosos y división del trabajo) y socio-económicos (precio y conflictos de derecho de propiedad de la materia prima).

Además de los países citados en la aplicación de biodigestores en pequeña y mediana escala, se suman a la lista Nepal, Vietnam, Colombia, Perú, Ecuador, Tanzania y Costa Rica. En éste último, se instalaron 7 biodigestores del tipo familiar de bajo costo, encontrando en ellos una solución para el tratamiento de los desechos y la generación de energía, en particular, para cocina (Lansing, 2008). En otros países de América, como México, Honduras y Ecuador se están orientando hacia el diseño tubular plástico para ser aplicado en familias rurales. Un caso similar fue detectado en África, particularmente en Kenia, donde un estudio desarrollado por Day y cols. (1990) muestra que el biogás obtenido de los biodigestores en pequeña escala es utilizado en cocina e iluminación, y la implementación de biodigestores mejora notablemente la calidad de vida de los pobladores rurales.

En Argentina, a fines de 1949 en la Universidad Nacional de Córdoba, el Dr. Bernardo Mácola realizó una serie de experiencias fermentando estiércol bovino y equino. En sintonía con esta línea, se crea una compañía dedicada a la construcción de equipos destinados a producir luz, calefacción y fuerza motriz utilizando residuos de granja como materia prima. Al mismo

tiempo, en el delta del Paraná, con el objeto de realizar los pozos de agua, se encuentra biogás a 12 metros de profundidad del suelo. Estas experiencias son detalladas por Gropelli y Giampaolli (2001).

Durante la década del 80, en el INTA se desarrolló una línea de investigación abocada a esta temática, desarrollando biodigestores del tipo demostrativos construidos en mampostería y acero. Dicha línea tuvo sede en el Instituto de Ingeniería Rural (Castelar, Buenos Aires) y en establecimientos agropecuarios, donde la necesidad energética y el tratamiento de los desechos era una de las implicancias que estos tenían.

Siguiendo con estas investigaciones, la Universidad Nacional del Litoral emprende el camino, constituyendo el grupo de Energías No Convencionales. Entre los años 1993 y 1995 se instalaron 3 biodigestores en escuelas rurales, que se citan a continuación. El primero en la escuela rural de Los Cerrillos (Entre Ríos), que alimenta las hornallas de la cocina del comedor escolar. Un segundo equipo en Alto Verde (Santa Fe), donde a partir del biogás se cocina para 400 chicos por día en un comedor comunitario, ahorrando tubos de gas envasado y el consiguiente gasto de recursos económicos. El tercero, en Monte Vera (Santa Fe), donde se empieza a utilizar por primera vez residuos urbanos orgánicos recolectados en forma selectiva por los vecinos; y el biogás es utilizado para el criadero avícola. De aquí en adelante es que se realizaron experiencias de instalación de biodigestores en diferentes ámbitos, especialmente, rurales.

1.2. Las materias primas que sirven para producir biogás

Se utilizan todos aquellos materiales que provienen de una fuente orgánica, como ser restos de alimentos, desechos de origen animal (estiércol, orinas, cama de ponedoras, residuos de mataderos), residuos de cosechas, cultivos energéticos utilizados para tal fin (sorgo, maíz), residuos agroindustriales (harinas, efluentes líquidos con una alta carga orgánica, bagazo de caña, vinaza, glicerina) entre otros.

Es importante destacar que cada corriente de desecho tiene su capacidad de generación. Algunos ejemplos se dan en la **Tabla 1**¹. Resulta importante aclarar que estos valores de producción de gas se obtienen en condiciones ideales y sólo pueden utilizarse como referenciales, ya que en términos prácticos, ocurren importantes reducciones debido a diversos factores, que se desarrollan a continuación.

¹ Carrillo L. 2004; Hilbert 1993; Gropelli y Giampaolli 2001; CEPIS 1995

Tabla 1– Producción de biogás con distintas materias primas

Material	litros de biogás por kg residuo fresco
Restos vegetales de maíz	833,0
Pasto seco	625,0
Sorgo granífero	550,0
Cáscara de arroz seca	350,0
Paja de trigo seca	350,0
Cáscara de cítricos	110,0
Estiércol ovino	100,0
Pasto verde	98,4
Residuos de comida	97,5
Estiércol Caprino	80,0
Estiércol de cerdos	77,0
Estiércol de gallina	62,5
Desechos de Huerta	51,0
Estiércol vacuno	50,0
Estiércol equino	45,0

1.3. Factores a tener en cuenta

Se citan a continuación los factores que deben tenerse en cuenta para el manejo óptimo del biodigestor. No es el objetivo entrar en detalle sobre los mismos ya que existe múltiple bibliografía que hace referencia a éste tema, que se encuentra citada al final de esta publicación, y sugerimos revisarla a quienes quieran profundizar sobre éste tema.

- Contar con una buena relación entre el Carbono y el Nitrógeno (C/N; entre 20 y 30) dentro del biodigestor, para favorecer la alimentación y reproducción de las bacterias. Mezclas entre materiales ricos en estos compuestos permitirán lograr tal relación.
- Concentración de la carga al biodigestor: Se debe evaluar desde dos parámetros. El primero es la cantidad de sólidos totales (ST) a ingresar en el biodigestor, que debe encontrarse entre el 7% y 9%. Reflejan el contenido de agua que posee la materia prima e ingresa al sistema. La segunda es la carga de la materia a ser degradada, expresada en el contenido de sólidos volátiles (SV). Debe situarse entre 1 y 6 kilogramos de SV por metro cúbico de biodigestor por día.
- Medición del pH: El rango aceptable se encuentra entre 6,5 a 7,5 (medio prácticamente neutro). Para un pH inferior a 6 se aconseja reducir la carga de alimentación, o en su defecto, detenerla. Para corregir un pH ácido en forma rápida, se puede adicionar agua de cal o algún efluente básico.

Es aconsejable, en lugar de medir el pH, realizar un análisis de acidez-alcalinidad de la mezcla, donde puede observarse con mejor aproximación el comportamiento del biodigestor. Jenkins (1993) propuso una técnica para obtener parámetros de control a

partir de una titulación ácido-base. Con un ácido fuerte (sulfúrico) se obtiene el valor de alcalinidad parcial al bicarbonato, llevando la muestra a pH 5,75 (ALC1), mientras que la alcalinidad total es obtenida a pH 4,3 (ALC2), valor que es proporcional al contenido de ácidos grasos volátiles. La relación entre ALC1/ALC2 debe ser siempre superior a 0,5. Por otro lado, con una base fuerte (hidróxido de sodio) sobre la muestra previamente utilizada para el análisis de alcalinidad, se puede determinar la acidez total. La diferencia entre ALC1 y acidez siempre debe ser mayor a cero.

Lossie (2008), propone una alternativa que consiste en medir la relación existente entre la concentración de ácidos orgánicos volátiles (FOS) y el carbonato inorgánico total (TAC), mediante una titulación del inóculo a dos valores de pH: 5 y 4,4. Dicha relación, al igual que la presentada en el párrafo anterior, permite detectar a tiempo los problemas del proceso hasta el inminente vuelco de la fase biológica del digestor.

- **Temperatura:** Si bien se pueden diseñar biodigestores para diferentes rangos de temperatura, en lo que respecta a los prototipos de pequeña y mediana escala es preferible que estos trabajen en el rango mesofílico, es decir, entre 10°C a 37°C. Lo importante es que la temperatura se mantenga constante durante la mayor cantidad de tiempo posible, por lo que es imprescindible contar con un buen sistema de aislación.
- **Agitación:** Sumamente beneficioso para lograr un contacto íntimo entre las bacterias y la materia a degradar, y evitar la formación de la costra superficial. La agitación debe ser leve, y en esta escala puede lograrse con algún elemento mecánico, como el agitador de paletas que se describirá posteriormente.
- **Nutrientes:** Además del carbono y el nitrógeno, es necesario la presencia de otros nutrientes como el fósforo, en una proporción al nitrógeno del orden de 5 (N/P=5). Es necesario contar con cantidades bien balanceadas de macronutrientes, como así también metales alcalinos y alcalinotérreos, entre los que encontramos sodio, potasio, calcio y magnesio; y muy pequeñas concentraciones de hierro, cobre, cinc, níquel y azufre.

Es importante destacar que un aumento en la concentración de algunos nutrientes puede generar un efecto adverso e inhibir el proceso. Es frecuente que suceda con el amoníaco, presente en el estiércol aviar, y los compuestos de azufre, donde las partes tóxicas son las no-disociadas: amoníaco disuelto (NH_3) que aparece en pH superiores a 8; y el ácido sulfhídrico (SH_2) que se presenta a pH inferior a 6,5.

1.4. Los usos del biogás

El metano es el componente energético útil y de su contenido depende el valor combustible del biogás, es decir su capacidad calorífica. El gas que se genera en el proceso tiene múltiples aplicaciones, como por ejemplo, cocción, calefacción, combustible de motores, iluminación, incubadora de pollos y cerdos recién nacidos y refrigeración.

A continuación se presenta un listado de la demanda de energía que podría ser cubierta en el medio rural con 1 metro cúbico de biogás, según diversos autores (Gropelli y Giampaoli 2001; Guevara Vera 1995; Hilbert 1993).

- Iluminar con una lámpara de mantilla durante 12 horas. Esto fue implementado en el programa de biogás desarrollado por la GTZ en Bolivia, con buenos resultados en los pobladores rurales (Marti, 2008)
- Cocinar para 2 a 3 personas. Con un quemador mediano, es posible mantener la cocción durante 3 horas. Una experiencia interesante es la presentada por Portuondo y cols (2001), quienes diseñaron en Cuba un quemador de biogás construido en cerámica para

cocción de alimentos. Con el mismo, lograron una eficiencia térmica del 60%, que fue posible gracias a garantizar la combustión completa del biogás y a la propiedad refractaria de la arcilla.

- Calentar agua en un termotanque de 110 litros durante 1 a 3 horas. Gropelli y Giampaolli (2001) recomiendan el uso del termotanque en lugar del calefón, debido a que es preferible calefaccionar el agua durante todo el día dentro del mismo a que utilizar el biogás en un calefón. En relación a ello, Vizques Arias (2009) menciona un caso particular sobre un tambo en Costa Rica, donde se utiliza esta aplicación en calentar agua para el lavado de las instalaciones de ordeñe, generando ahorro de GLP o electricidad.
- Enfriar en heladera de absorción con marcha normal durante 7 horas. Se estima un consumo de 0,01 m³ de biogás por m³ de heladera por hora de funcionamiento.
- Hacer funcionar un motor de 1 HP de ciclo Otto durante 1 hora. En Valle del Cauca, Colombia, mediante el uso de biodigestores tubulares plásticos, se logró reducir entre el 45 y 65% del consumo de diesel en motores para la generación de energía, utilizando el biogás generado por el estiércol de porcinos, mostrando una disminución del 40% en el costo de kWh (Zapata, 1999)

1.5. Usos del biofertilizante

Durante la degradación anaeróbica de la materia orgánica se extraen carbono, hidrógeno, oxígeno, azufre y nitrógeno. El resto de los componentes permanecen en la mezcla del biodigestor, y están presentes en el líquido de descarga.

Dicho líquido es una masa homogénea de color pardo-oscuro, relativamente estable, y algunos autores sostienen que tiene un buen poder como fertilizante. Si bien la cantidad de macronutrientes suele ser muy inferior a la existente en los fertilizantes químicos, se lo valora por su capacidad de mejorar la estructura del suelo.

Según Gropelli y Giampaolli (2001), el biofertilizante posee una mayor riqueza biológica que el humus y una granulación más fina que el estiércol, haciendo más fácil su penetración y mezcla en el suelo. También, los autores afirman que el poder de fijación evita la solubilidad y lixiviación excesiva de sales, manteniéndolas en forma aprovechable para las plantas.

Un pensamiento similar tiene Hilbert (1983), que menciona la capacidad del fertilizante para brindar rápidamente nutrientes disponibles debido a su rápida descomposición. Por otro lado, los ácidos húmicos presentes contribuyen a mejorar la estructura y porosidad del suelo, y a aumentar la capacidad de intercambio. El autor menciona que la cantidad de humus estable duplica generalmente al que se consigue mediante la utilización de estiércoles.

Existen experiencias desarrolladas en la aplicación de los efluentes provenientes de un biodigestor para la producción de especies. En los siguientes tópicos se detallan algunas de estas:

- Riego periódico (dos veces por semana) a plantines de *Ciprés lambertiano* con biofertilizante proveniente de un biodigestor alimentado con residuos orgánicos. Se pudo observar una influencia sustancial en la altura de los plantines (y por ende, en su crecimiento) donde se aplicó el biofertilizante respecto a un testigo sin aplicación (Gropelli y Giampaolli, 2001).
- Uso de efluente del biodigestor mezclado con fertilizantes comerciales y su aplicación al cultivo puerro (*Allium porrum* L.) en una finca ubicada en Naranjo, Costa Rica. Las características del cultivo de prueba se vieron aumentadas en rendimiento, desarrollo y calidad cuando se utilizó proporciones iguales de fertilizante y abono en el experimento

(50% fertilizante y 50% abono). La mayor calidad sensorial del producto obtenido (puerro) se encontró en las plantas tratadas con un 100% de abono, las cuales fueron de mejor aceptación por el consumidor en el agrado del sabor (Valverde y Guevara, 1989)

- En un estudio de aplicación del biofertilizante en espinaca, no se encontraron diferencias con la urea cuando se aplican las mismas dosis de Nitrógeno, siendo lineal la respuesta de la producción a la dosis aplicada (Kean S. y Preston T.R. 2001). Así mismo, el biofertilizante muestra una mejor respuesta cuando se agrega a las semillas que a los plantines, para distintas dosis (expresadas en kg por Ha) en una misma variedad de éste cultivo (Bunyeth H. y Preston T.R. 2011).
- La EMBRAPA ha analizado la aplicación de biofertilizantes en la plantación de café y maíz, observando incrementos en la productividad y, a su vez, detectando importantes aportes en cuanto a la eliminación de plagas encontradas anteriormente.
- En la Universidad de Luján se han desarrollado experiencias de fertilización con un efluente proveniente del biodigestor utilizado para el tratamiento de los desechos de tambo, obteniendo mejores resultados en el peso de plantas de lechuga frente a tratamientos donde no se aplicaron estos efluentes (Puerta y cols 2011).

Es importante destacar que en nuestro país existen experiencias de aplicación de biofertilizantes obtenidos de otros procesos de degradación, como es el caso de los efluentes de tambo y porcinos, ya sea en cultivos intensivos o extensivos. No obstante, para el uso de éste tipo de efluentes como así también de los provenientes del biodigestor, es necesario contar con patógenos y virus en su composición, que puedan ser transmitidos a los cultivos.

1.6. La actualidad de los biodigestores familiares en Argentina

El principal beneficio de estos sistemas es la dotación de energía para pequeños productores y poblaciones rurales que no cuentan con gas de red, y a su vez el acceso a la garrafa es limitado o costoso. Para esta población objetivo no se considera solamente al biogás como una alternativa para el tratamiento de los desechos orgánicos, ya que también son utilizados para compostaje o alimento de los animales. La desventaja principal radica en el manejo y mantenimiento del sistema. Tener un biodigestor es predisponerse a atender un sistema de tratamiento que necesita de un manejo diario para que su operación sea satisfactoria.

Actualmente, existen diversos grupos de trabajo de instituciones gubernamentales que buscan en esta alternativa una fuente de energía renovable que pueda ser adaptada en las comunidades donde las convencionales escasean. Se cita, entre otros, a las Universidades Nacionales de Luján, del Nordeste, Litoral, Cuyo, Buenos Aires, Tecnológica Nacional; Fundaciones Proteger, UOCRA y Energizar, el INTI y el INTA; y una decena de empresas privadas que se encuentran desarrollando proyectos en el área, como por ejemplo: EG Ingeniería (Santa Fe); Biometano del Sur (Buenos Aires); IBS (Córdoba).

Es importante destacar que el grupo de la UNL ha realizado más de 20 proyectos de biodigestores en pequeña y mediana escala, comenzando en el año 1993, como se mencionó en el apartado 1.1. Desde entonces unidades demostrativas han sido instaladas en guarderías infantiles, hogares, centros comunitarios y comedores escolares de las provincias de Santa Fe, Buenos Aires, Córdoba y San Juan.

La fundación UOCRA ha realizado proyectos de biodigestores en viviendas bioclimáticas. Un ejemplo de ello fue la instalación de un prototipo de 2000 L en la provincia de Chubut, que permitió a una familia realizar el tratamiento de los desechos y generar gas para la cocción de los alimentos. Un proyecto similar se llevó a cabo en Valle Grande, Jujuy.

El INTI de Concepción del Uruguay también ha desarrollado modelos de biodigestores de 7000 litros de capacidad. Citamos como ejemplo el prototipo instalado en Asociación del Departamento Colón de Ayuda al Discapacitado (ADCADIS), en la provincia de Entre Ríos, donde a partir del tratamiento de la glicerina generada en la producción de biodiesel con aceites usados, se puede generar hasta 16.000 litros de biogás diarios. Esta energía se utiliza para calefacción del biodigestor y del reactor de producción de biodiesel, y el excedente para el horno de la panadería. El efluente se emplea como abono en la huerta y jardines del establecimiento educativo.

En Corrientes, el gobierno provincial a través de la Secretaría de Desarrollo Humano, fomenta la construcción de biodigestores tubulares utilizando el silo bolsa como material del reactor. Con el objetivo de proveer de energía a distintas familias del interior de la provincia, el uso de los biodigestores permite tratar los desechos de las letrinas, y en algunos casos mezclarlos con residuos de la producción animal. El biogás generado es utilizado para alimentar hornos de panificación y en distintos procesos de elaboración de alimentos.

Con seguridad podemos afirmar que existen más casos de biodigestores en pequeña y mediana escala en nuestro país que los relevados en éste informe. Sólo se citaron algunos ejemplos que permiten dar un marco sobre la actualidad de esta tecnología, cuyo principal desafío radica en la sustentación en el tiempo. A modo de resumen, se muestra en la **Tabla 2** las prácticas desarrolladas en los párrafos anteriores.

Tabla 2 – Ejemplos de experiencias de biodigestores en pequeña y mediana escala en la República Argentina

Lugar	Tipo de biodigestor	Material	Capacidad	Producción estimada	Uso del biogás
El Maitén, Chubut	Hindú	Tanque plástico y mampostería	5000 l	0,6 m ³ /d	Cocción de alimentos
Valle Grande , Jujuy	Cilíndrico de flujo ascendente	Tanque plástico y mampostería	5000 l	3,4 m ³ /d	Cocción de alimentos
Monte Vera	Hindú	Mampostería			Cocción de alimentos
Escuela Lucia Aráoz. Angel Gallardo. Santa Fe	Hindú	Tanque Plástico	3.000 l	4 m ³ /d	Calefacción en criaderos de pollos
Escuela Gilberto Beltramino-Barrio Loyola sur, Santa Fe	Hindu Gasómetro incorporado	Tanque pre-fabricado (biodigestor y gasómetro)	2.000 l	2 m ³ /d	Cocción de alimentos
Vecinal Juana Azurduy- Barrio Aceria. Santa fe	Hindú Gasómetro separado	Tanque pre-fabricado (biodigestor y gasómetro)	2.500 l	2 m ³ /d	Cocción de alimentos
Solar Loyola. Guarderia Municipal. Santa fe	Hindu Gasómetro incorporado	Biodigestor de mampostería. Gasómetro de tanque plástico.	2.000 l	1,5 m ³ /d	Cocción de alimentos
Escuela Nº 95 Simon de Iriondo. Alto Verde-Santa fe.	Hindú Gasómetro incorporado	Tanque en fibra de vidrio por rotomoldeo (biodigestor y gasómetro)	5.000 l	3 m ³ /d	Cocción de alimentos
Escuela Rural. Los cerrillos. Pcia. Santa Fe	Hindú Gasómetro incorporado	Biodigestor de mampostería. Gasómetro de fibrocemento	2.000 l	1 m ³ /d	Cocción de alimentos
Barrio Río Paraná, Corrientes	Tubular	Silo bolsa (biodigestor y gasómetro)	15000 l	5 m ³ /d	Cocción de alimentos, hornos de panificación y cocción de dulces
Isla Vizcaíno, Corrientes	Tubular	Silo bolsa (biodigestor y gasómetro)	15000 l	5 m ³ /d	Cocción de alimentos, hornos de panificación y cocción de dulces
Barrio Irupé, Corrientes	Tubular	Silo bolsa (biodigestor y gasómetro)	20000l	8 m ³ /d	Cocción de alimentos, hornos de panificación y cocción de dulces
Colón, Entre Ríos	Hindu. Gasómetro incorporado	Tanque pre-fabricado	7000 l	7,8 m ³ /d	Calefacción reactor biodiesel, Horno de panadería

2. OBJETIVO

El objetivo general que persigue la siguiente publicación es mostrar las etapas de construcción de un modelo de biodigestor en pequeña escala, mediante una experiencia práctica sobre el territorio que contempló la participación activa de diferentes actores locales (Municipios, PyMES, Docentes y Alumnos, productores) en las instancias de diagnóstico, investigación & desarrollo e instalación.

3. PARTES QUE COMPONEN UN DIGESTOR

3.1. Reactor

El reactor es el “*alma máter*” del biodigestor. Es el recinto donde el material permanece el tiempo necesario para producir la degradación de la materia orgánica.

Los materiales y la forma que puede adoptar el reactor son variables. En sus comienzos, los biodigestores chinos e hindúes eran fabricados con mampostería. Actualmente, los biodigestores familiares pueden ser construidos con tanques plásticos (como el ejemplo que se desarrolla en esta publicación), tanques de polietileno reforzado en fibra de vidrio (PRFV), ferrocemento, mampostería, acero o bolsas de polietileno.

La forma adoptada es del tipo cilíndrico. Si se construyen con tanques, es probable que sean verticales; mientras que si la construcción es con silo bolsa, adoptarán la forma horizontal.

Existen diversas formas de dimensionar el volumen del reactor. Las más utilizadas son **el tiempo de retención hidráulico y la velocidad de carga**. El cálculo a través del tiempo de retención hidráulico es el producto entre éste parámetro y el caudal de materia orgánica que ingresa al biodigestor:

$$Vol_{biodigestor} = Caudal\ ingreso\ (l / d.m^3 / d) \times Tiempo\ de\ retención\ (d) \quad (1)$$

El concepto de tiempo de retención hidráulico es netamente teórico, pues expresa el período que transcurre desde que ingresa una porción de material al reactor hasta que egresa del mismo. Los reactores horizontales deben diseñarse de forma tal que la porción de material se movilice a lo largo del mismo evitando zonas “muertas”.

Es importante destacar la influencia de la temperatura sobre el proceso, dado que éste parámetro modificará el valor del tiempo de retención, siendo mayor en regiones frías y menor en regiones cálidas. En el diseño de un biodigestor sin calefacción, en la región pampeana, debe contemplarse un tiempo de residencia entre 30 a 45 días.

La velocidad de carga expresa la relación entre la masa de material degradable que ingresa al biodigestor y el volumen del mismo. El material degradable se expresa en función de los sólidos volátiles (SV) existentes. Estos pueden obtenerse por un simple análisis de la materia prima a degradar, exponiéndola en mufla a 550° C durante 2 horas (Metodología según APHA 2540 E, APHA 1992).

La velocidad de carga debe encontrarse entre 1 y 6 kg de SV/m³_{biodigestor}.día; o unidades equivalentes. Dependiendo del biodigestor que se va a construir, será el valor de la velocidad de carga a utilizar. Cuando se diseña un biodigestor sin aislación ni calefacción, el parámetro de diseño deberá ser cercano a 1. Los biodigestores de alta eficiencia (calefaccionados, agitación permanente, buena aislación) son diseñados para una velocidad de carga de 6. El resto de las opciones van dentro del rango que se presenta a continuación:

0: poca alimentación.

1: para diseños rurales funciona bien, con poca agitación y sin ser calefaccionados.

2,5: para diseños rurales con calefacción.

6: se logra en laboratorios, o bien, en biodigestores de alta eficiencia (agitados, calefaccionados y aislados).

3.2. Accesorios al reactor

3.2.i. Agitador mecánico

Es una de las partes fundamentales del reactor, pues permite que se logre un mejor contacto entre el material a degradar y las bacterias existentes en el biodigestor, como también impedir que se formen las costras en la interfase líquido-gas.

La tecnología existente para la agitación es variada, desde el reciclo de la carga por bombas, la inyección de biogás en el lecho o mediante agitadores mecánicos. Para los biodigestores familiares se utilizan estos últimos por la simpleza en su construcción. Es importante destacar que el diseño del agitador es diferente al de los reactores convencionales, ya que el mismo debe permitir un movimiento homogéneo de la carga sin romper el equilibrio simbiótico entre las bacterias.

3.2.ii. Cámara de carga y descarga

La cámara de carga es el lugar donde se colocan los residuos junto con el líquido utilizado para la dilución. Puede construirse de mampostería, o bien colocar un recipiente (tanque plástico, fibra de vidrio, fibrocemento, etc.). Lo importante es que las dimensiones de la misma sea tal que permita almacenar el volumen total de la carga agregada al biodigestor. Esta se une al biodigestor mediante una cañería de fibrocemento o PVC, evitando pérdidas de líquido.

En cambio, el diseño de la cámara de descarga dependerá del nivel interno de la fase líquida dentro del biodigestor. En la misma, el residuo se deposita por el principio de “vasos comunicantes”, es decir, cuando ingresa una determinada cantidad de materia al biodigestor por la cámara de carga, se produce la descarga en éste segundo recinto. El volumen de éste depósito deberá ser superior a la carga del biodigestor.

Algunos autores resaltan la importancia del diámetro de la cañería de descarga, teniendo un rango de 160 mm a 300 mm. Puede colocarse también una bomba estercolera por la cañería para facilitar la descarga del efluente.

3.3. Gasómetro

El gasómetro es el dispositivo donde se almacena el gas producido en el biodigestor. Tiene como función equilibrar las fluctuaciones de generación, consumo y cambios de volumen producidos por variables externas (ej. Temperatura)

Además de almacenar el biogás, el gasómetro permite regular la presión del sistema, que queda definida por la fuerza que ejerce su peso y el área donde éste apoya. Es por ello que, cuando se utilizan materiales livianos como gasómetro, es necesario aumentar su carga para que la presión del gas se mayor. Esta se recomienda que sea de 10 cm de columna de agua, como mínimo.

La forma más simple de construir un gasómetro es mediante el modelo “campana flotante”, que utiliza dos recipientes de diámetro distinto, de forma tal que uno pueda ser colocado dentro del otro. Éste último puede ser el mismo digestor (como en el caso del modelo “hindú”). El biogás ingresa al tanque invertido, y a medida que continúe la producción asciende. Es necesario contar con guías (exteriores o una interior) que impiden oscilaciones indeseadas, y un tope en la parte superior que limite el movimiento una vez alcanzado el volumen máximo de almacenamiento. Un ejemplo del modelo se observa en la **Figura 1**.

Actualmente, se han desarrollado modelos de gasómetros de volumen variable, principalmente contruidos con membranas plásticas (**Figura 2**). Esta tecnología se encuentra desarrollada en Europa y se ha instalado en nuestro país desde hace unos años, para

aplicaciones de biodigestores de volumen mayor a 30 m³, llegando a almacenar hasta 5.000 m³.

En una escala menor, pueden utilizarse estos tipos de modelos. De hecho, los biodigestores del tipo “silo bolsa” almacenan el gas en un segundo recinto. El inconveniente que puede mostrar éste dispositivo es la variación de presión del gas en el consumo del mismo, salvo que se utilice un soplante o válvula reguladora.

Un tercer ejemplo de gasómetros son los combinados, donde existe una base hormigonada cilíndrica y una cúpula construida de material flexible.

En las siguientes imágenes se observan ejemplos de los gasómetros citados en los párrafos anteriores.



Figura 1 Gasómetro del tipo “Campana flotante”. Imagen gentileza Orlando Giampaoli



Figura 2 Gasómetro de membrana
Imagen obtenida de <http://www.bsdv.com>

3.4. Filtros

3.4.i. Trampa de llama

Es un accesorio de seguridad que evita el retroceso del fuego (en caso que lo hubiera) hacia el gasómetro. Pueden colocarse válvulas de una sola vía como opción. Caso contrario, se pueden construir con caños de PVC y accesorios de polipropileno.

3.4.ii. Trampa de agua

Al igual que la trampa de llama, es un accesorio de seguridad que cumple con dos objetivos: evitar una sobrepresión en el sistema y coleccionar el vapor de agua condensado en la cañería del biogás (recordar que uno de los componentes del biogás es vapor de agua). No contar con una trampa de agua puede generar roturas extremas en el biodigestor

Este accesorio se construye con múltiples materiales, como por ejemplo, botellas plásticas y caños de PVC. Cualquiera sea el modelo que se elija, se debe diseñar de la siguiente manera: En primer lugar, cargar con líquido (agua) el recipiente (botella de agua o caño de PVC, según la opción escogida). Colocar dicho recipiente en una ramificación T de la cañería de biogás, situada en el punto más bajo de la misma. En la trampa de agua debe ingresar la ramificación mencionada anteriormente. A unos 15-20 cm del extremo de éste caño, se debe hacer un orificio en el recipiente. De esta forma, cuando existe un aumento de la presión del sistema, el biogás desplaza al líquido. Al llegar a una presión equivalente a la distancia entre caño y orificio, todo el líquido ha sido desplazado y el biogás escapa por el orificio propiamente dicho.

3.4.iii. Filtro de sulfhídrico

El objetivo de éste accesorio es remover los gases compuestos por sulfuros que pueden existir en el biogás. La forma más sencilla de construirlos es con caños de PVC rellenos con virulana

de acero. No obstante, se conoce que tiene un mejor rendimiento el carbón activado, aunque su costo es mayor.

Es importante destacar que éste accesorio debe ser completamente aislado, ya que funciona como un reactor de lecho fijo, donde el gas se pone en contacto con el sustrato.

4. TIPOS DE DIGESTORES

A continuación se brinda una breve descripción de los distintos modelos de biodigestores que pueden ser implementados en los sistemas de agricultura familiar.

4.1. Biodigestores de flujo continuo

Estos biodigestores tienen una geometría alargada, asemejándose al sistema digestivo de un ser vivo (animal o humano). El grado de descomposición del residuo aumenta con el eje horizontal del biodigestor.

Se implementan cuando el diseño supera volúmenes de 15 m³, ya que construir un modelo cilíndrico implicaría realizar una excavación demasiado profunda, dificultándose la misma por la presencia de la napa freática (Gropelli y Giampaolli, 2001)

Un modelo simplificado en costo y construcción son los biodigestores tubulares de polietileno de alta densidad. En éste caso, es difícil contar con agitadores mecánicos por las características del material de construcción. No obstante, si se logran buenas producciones en corto tiempo (2 años), se puede recuperar la inversión y lograr un beneficio con éste modelo.

Modelos de éste tipo de biodigestores puede consultarse en: Gropelli y Giampaolli (2001); Hilbert (1993); Martí Herrero (2008)

4.2. Biodigestores de mezcla perfecta

En éste tipo de diseño, el sustrato que ingresa al biodigestor se dispersa inmediatamente en todo el volumen del mismo. La composición de la corriente de descarga es de características similares a la mezcla interna del biodigestor. Esto ocurre siempre que existan buenas condiciones de mezclado.

Para éste modelo es necesario contar con una superficie cilíndrica o esférica, y dotar al mismo de agitadores (mecánicos o neumáticos) para que se produzca la mezcla anteriormente mencionada.

Dos ejemplos claros de estos modelos son el biodigestor hindú y el chino. La diferencia principal que existe entre un modelo y otro es la forma de almacenar el biogás: en los chinos se realiza con una cubierta fija mientras que en el hindú con una flotante (gasómetro).

El modelo hindú se compone por una cámara de carga, una de descarga y una cilíndrica donde se realiza la digestión. Esta última puede estar compuesta por un tabique que la divide en dos partes, de forma que el material a degradarse cumpla con el tiempo de residencia calculado. Sobre la cámara cilíndrica se coloca el gasómetro, donde se almacena el biogás generado. Éste se ajusta a la forma de dicha cámara, de forma que varíe su volumen a medida que aumenta la producción de biogás o bien, se consuma el mismo.

Una alternativa a estos diseños es colocar el gasómetro separado del biodigestor, lo que incrementa el costo del equipo, pero facilita cuestiones de diseño.

El modelo chino utiliza el principio de “prensa hidráulica”, concebido en un diseño que no utiliza partes móviles. Se conforma solamente de una sola cámara, cerrada por un fondo cónico y una cúpula esférica. El biogás se almacena dentro del biodigestor, provocando una presión variable. A medida que esta aumenta, fuerza a subir el nivel del líquido interno en la cámara de carga y de descarga. Es por éste motivo que el volumen de estos compartimientos debe ser mayor a que en el modelo hindú.

Si bien el modelo chino es más sencillo de construir pues tiene menos partes; se deben evitar la formación de fisuras para que no se produzcan la pérdida de biogás. Por otro lado, al existir presión variable, se deberá contar de algún dispositivo de regulación de caudal de biogás, caso contrario, se estaría perdiendo eficiencia en su uso.

Bibliografía recomendada: FAO 1986; Ministerio de Energía de Chile (2010)

5. CONCEPTOS EN EL DISEÑO DE UN BIODIGESTOR FAMILIAR

5.1. ¿Cómo dimensionar un biodigestor familiar?

Un biodigestor puede ser útil en varios aspectos de la familia rural, pero resaltamos dos características principales: la cantidad de gas que puede generar y el volumen de residuos que pueden ser tratados en el mismo.

En cuanto al primer criterio, se debería evaluar cual es la demanda del hogar y el tipo de energía a reemplazar. En caso de utilizar el biogás para generar energía eléctrica, los volúmenes necesarios de residuos son elevados, y se requiere un dimensionamiento de biodigestor que, para el caso de una familia, puede verse complicado. Esto no quita que con buenas ideas, capacitación y asistencia una familia pueda implementarlo en su hogar.

Presta mayor sencillez la utilización del biogás como reemplazo de leña, gas de garrafa o gas de red, aunque en éste último caso el costo es muy bajo y económicamente resulta poco viable. Para estas aplicaciones se debe estudiar cómo es la distribución del consumo de esta energía en el hogar (diaria, mensual y anual). De aquí pueden salir conclusiones previas al momento de la construcción, por ejemplo:

- De tener un consumo elevado de gas durante los meses invernales, se deberá proyectar un biodigestor de alta eficiencia (calefaccionado, aislado y agitado) para que la producción de biogás reemplace al combustible utilizado.
- Si el consumo es parejo a lo largo del año (por ejemplo, en un proceso productivo) en ese caso durante los meses de mayor temperatura podemos abastecer con biogás al mismo.

Del dato sobre consumo horario de gas se puede dimensionar el gasómetro: si es homogéneo respecto a la generación durante el día, no será necesario un gasómetro de gran capacidad. Si hay variaciones, se requerirá un dimensionamiento mayor.

Para dimensionar un biodigestor orientado hacia el tratamiento de los desechos, se requiere conocer las características de los mismos; principalmente, su composición física (humedad, consistencia, dureza), química (nutrientes, materia orgánica, compuestos indeseables para el proceso de la biodigestión, etc.) y la cantidad que se genera.

Como se mencionó en el apartado 3.1, el biodigestor puede dimensionarse a través del tiempo de residencia o bien mediante la velocidad de carga. Recordar que para la región pampeana, el tiempo de residencia ideal es de 45 días (mínimo 30) y la velocidad de carga dependerá del tipo de biodigestor a diseñar.

Otra de las opciones para dimensionar un biodigestor es según la cantidad de biofertilizante que pueda necesitar un agricultor familiar, aunque esta última es la menos requerida para la pequeña escala.

5.2. Ejemplo de diseño de un biodigestor

Se detalla a continuación el ejemplo de cálculo para el biodigestor construido en la experiencia que detalla éste informe.

Generación diaria de residuos:	20 kg/d
Tipo de residuos generados:	Restos de comida (vegetales), residuos de huerta, cama de pollo, estiércol bovino.

Tabla 3 – Características físicas de los desechos sólidos.

Tipo de residuo	Cantidad (kg/d)	% ST ²	%SV ³
Residuos de cocina	15.0	17.7	81.4
Estiércol bovino	3.3	24.2	71.8
Cama de pollo	2.8	50	92.2

Experimentalmente se ha demostrado que una carga en digestores semicontinuos no debe tener más de un 8% a 12 % de sólidos totales para asegurar el buen funcionamiento del proceso (Ministerio de Energía de Chile, 2010). Para obtener un cálculo del total de agua a agregar, primero se debe calcular el contenido de sólidos de la mezcla:

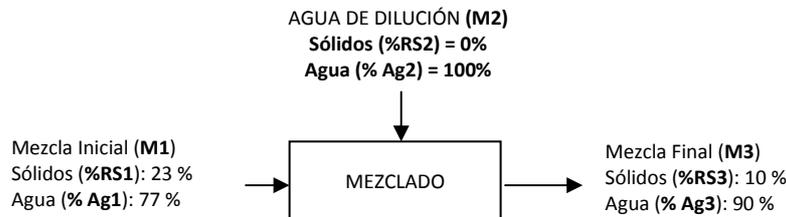
$$\%ST = \frac{\sum_{i=1}^n kg_residuo_i \times \%ST_residuo_i}{kg_total_residuos} \quad (2)$$

Para éste caso:

$$\%ST = \frac{15 \text{ kg/d} \times 0.177 + 3.3 \text{ kg/d} \times 0.242 + 2.8 \text{ kg/d} \times 0.5}{21.1 \text{ kg/d}}$$

$$\%ST = 23\%$$

Éste resultado indica que en 100 kg de mezcla tengo 23 kg de materia seca y 77 litros de agua. Mediante un simple balance de masas puedo identificar la cantidad de agua a agregar. Se realiza el cálculo para llevar 1 kg de residuos con estas características al 10% de ST:



Las ecuaciones del balance de masas son las siguientes:

Para la mezcla: $M1 = M2 + M3 \Rightarrow 1kg = M2 + M3 \quad (3)$

Para el agua: $M1 \times \% Ag1 = M2 \times \% Ag2 + M3 \times \% Ag3 \Rightarrow 1kg \times 0.77 = M2 \times 1 + M3 \times \% Ag3 \quad (4)$

Para los sólidos: $M1 \times \% RS1 = M2 \times \% RS2 + M3 \times \% RS3 \Rightarrow 1kg \times 0.23 = M2 \times 0 + M3 \times \% 0.1 \quad (5)$

² Sólidos totales: materia que se obtiene como residuo luego de someter a la muestra a un proceso de evaporación entre 103º y 105º C. Desde otro punto de vista, representa el contenido de humedad.

³ Sólidos volátiles: materia orgánica que desaparecerá luego de someter a la muestra a 550º C ± 50º C. De esta depende la velocidad de carga.

De (5) se obtiene que $M3 = \frac{0.23 \times 1kg}{0.1} = 2.3Kg$ (6)

Reemplazando éste valor en (3) $M2 = 2.3kg - 1kg \Rightarrow M2 = 1.3kg$ (7)

Dicho valor se puede chequear en la ecuación (4)

Del balance de masas obtenemos que por cada kilogramo de residuos, es necesario agregar 1,3 kg (o bien, 1,3 litros) de agua. En función de la cantidad de residuos (base húmeda) diarios generados, el total de agua por carga será:

$$\text{Litros de agua} = 1.3 \text{ l/kg residuo} \times 20 \text{ kg/d} = 26 \text{ litros de agua}$$

El volumen total de la carga, considerando que la densidad de los residuos orgánicos es similar a la del agua (Tchobanoglus et al, 1994), es la siguiente:

Volumen total = volumen de agua + volumen de residuos (8)

Volumen total = 46 l/d

Considerando un tiempo de residencia de 45 días (según Gropelli y Giampaoli 2001); se puede calcular el volumen del biodigestor con la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen}_{\text{biodigestor}} = TRH \times \text{volumen}_{\text{residuos}} \text{ (9)}$$

Volumen_Biodigestor = 45 días x 46 l/d = 2070 l = 2.07 m³

Con éste volumen obtenido, se verifica la velocidad de carga según la siguiente expresión:

$$\text{Velocidad carga} = \frac{\text{Material degradable (kg SV)}}{\text{Volumen}_{\text{BIODIGESTOR}}(\text{m}^3) \times \text{Tiempo (d)}} \text{ (10)}$$

El cálculo del material degradable se realiza de la siguiente manera:

$$\%SV_{\text{por día}} = \sum_{i=1}^n \text{kg}_{\text{residuo}_i} \times \%ST_{\text{residuo}_i} \times \%SV_{\text{residuo}_i} \text{ (11)}$$

%SV_por_día = 4.025 kg SV/d.

La velocidad de carga será

$$\text{Velocidad carga} = \frac{4.025 \text{ kg SV/d}}{2.07 \text{ m}^3} = 1.94 \text{ kg SV/m}^3$$

Notar que éste valor es superior a 1 kg SV/m³ biodigestor.día

El biodigestor será construido con tanques plásticos. En el mercado se consiguen recipientes de 2000 y 2500 litros. Considerando que el mismo será de baja eficiencia (agitación dos veces al día, sin calefacción, aislado), se selecciona un tanque de 2500 litros. Teniendo en cuenta que el 80% del tanque estará ocupado por la fase líquida y el resto por la fase gaseosa, el tiempo de residencia y la velocidad de carga serán:

- Tiempo de residencia = 2000 l / 42.2 l/d = 47,4 días
- Velocidad de carga = 4.025 kg SV/d / 2.0 m³ = 2.01 kg SV/m³.biodigestor.

Para el caso del gasómetro, primero se estima la cantidad (teórica) de biogás que se genera según los tipos de residuos a utilizar. En la

Tabla 4 se dan estos valores:

Tabla 4 – Producción de biogás por tipo de residuo

Tipo de residuo	Cantidad (kg/d)	Producción biogás (l/kg BH) ⁴	Total
Residuos de cocina	15.0	75 – 120 ⁵	1.125
Estiércol bovino	3.3	15 – 40 ⁶	49.5
Cama de pollo	2.8	80 - 120 ⁷	224
TOTAL			1398.5

Se estarían generando cerca de 1400 litros de biogás por día, valor que en temporada invernal podría ser menor. Al ser utilizado el biogás para la producción de dulces, se estima un consumo homogéneo, por lo que podría implementarse un gasómetro de 1000 litros para almacenarlo cuando éste no se utilice.

⁴ Al ser un biodigestor de baja eficiencia, se tomarán los valores menores de éste rango.

⁵ Gropelli – Giampaolli 2001;

⁶ Gropelli – Giampaolli 2001

⁷ Ministerio de Energía de Chile, 2010.

6. CASO DE ESTUDIO: BIODIGESTOR FAMILIAR EN ESCUELA RURAL

El abordaje de la actividad en la Escuela Rural sentó sus bases bajo la lógica Investigación Acción Participativa. Se buscó involucrar a diversos actores locales, en las distintas etapas proceso. Se enumeran los principales.

- a) Escuela Rural “José de San Martín” nº6253 – Alumnos y cuerpo docente
- b) Municipalidad de Venado Tuerto – Secretaría de Espacios Públicos y Medio Ambiente Área de Energía Renovables y Sustentabilidad.
- c) Sangiorgio Ingeniería – Micro-PyMES local.
- d) INTA – EEA Oliveros - Eficiencia Energética y Energía Renovables para la Agricultura Familiar y el desarrollo Rural.
- e) INTA Instituto de Ingeniería Rural
- f) INTI Concepción del Uruguay: Cursos de Capacitación y asesoramiento técnico
- g) INTA Agencia de Extensión Venado Tuerto PROHUERTA
- h) INTA IPAF Región Pampeana: Multiplicación de la experiencia Red de Escuelas de la Pcia. de Buenos Aires.

La actividad desarrollada pone énfasis en dos elementos importantes: el técnico, donde se busca el desarrollo de un biodigestor; y el educativo, donde la premisa se centra en dar a conocer esta tecnología a los alumnos, docentes, y la población que asiste con frecuencia a la escuela (padres, hermanos y vecinos).

Es importante destacar la relevancia que tienen los establecimientos educativos rurales dentro de nuestro país, ya que según el Ministerio de Ciencia y Tecnología, cerca del 50% corresponden a escuelas rurales, donde asisten 714.393 alumnos (MECyT 2004). Y si bien actualmente se ha modificado la población rural (principalmente en la pampa húmeda), las escuelas rurales son claves para el desarrollo social y humano de las personas que viven en el campo, e influyen notablemente en su calidad de vida.

Esta experiencia se llevó a cabo en la Escuela Rural nº 6253 “José de San Martín”, Estación Rúnciman – Santa Isabel de la Provincia de Santa Fe. La misma alberga una cantidad aproximada de 40 alumnos, con un cuerpo de 8 docentes (incluida la dirección) y 2 personas para actividades complementarias (cocina y mantenimiento del predio). Cuenta además con huerta, granja de pollos, vacas y producción apícola. También con una sala de chacinados y fabricación de productos regionales.

Un aspecto de importancia que se tuvo en cuenta en esta elección fueron los antecedentes en la utilización de energías renovables por parte de la escuela. Desde el año 2009 funciona un sistema híbrido de un aerogenerador con células fotovoltaicas, que permite abastecer eléctricamente el sistema de iluminación externo del predio. Por otro lado, cuenta con paneles y cocinas solares, donde se realizan distintas experiencias, como el calentamiento de leche, cocción de dulces y otras actividades culinarias.

Parte de esta filosofía surge de la cordial relación existente entre la Escuela y el Área de Energías Renovables de la Municipalidad de Venado Tuerto, desde donde surgen iniciativas relacionadas con el uso de fuentes renovables de energía en el ámbito urbano y rural. El Municipio es uno de los pioneros en tener un espacio relacionado a dicha temática. Es loable destacar la participación activa de los referentes de dicha área en esta actividad, desde la perspectiva organizacional, educativa y técnica.

El rol de la Micro-Pyme local estuvo centrado principalmente en el desarrollo de la Pre-ingeniería del biodigestor, que consistió en el cálculo del volumen del reactor, la estimación de la producción de biogás, realizar un listado de los materiales necesarios para su construcción y desarrollar un cálculo de las pérdidas de calor del biodigestor durante el día. A partir de éste último es que surge la necesidad de realizar un mejor aislamiento, y calentar el agua de dilución para mejorar la eficiencia del biodigestor.

La experiencia de la construcción del biodigestor se circunscribe en el marco del proyecto “Eficiencia Energética y Energías Renovables para la Agricultura familiar y el desarrollo Rural” del INTA, donde uno de los objetivos perseguidos es el del diseño y desarrollo de prototipos que puedan ser empleados en viviendas rurales, promoviendo la utilización de energías renovables.

7. CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO Y ACCESORIOS

A continuación describiremos técnicamente el proceso constructivo y los materiales utilizados del biodigestor diseñado en éste caso de estudio

7.1. Reactor

El primer paso consiste en realizar los agujeros sobre el tanque de 2500 L en donde se conectará los caños que unen el reactor a las cámaras de entrada y salida. Para que la conexión caño - tanque sea solidaria se utilizan bridas de 160 mm de diámetro⁸.

Se deben marcar con una fibra las circunferencias, utilizando como referencia las bridas, a una altura de 58 cm y 66 cm desde la horizontal del piso a su centro, para la cañería de entrada y salida respectivamente. También deberán hacerse las marcas para los orificios de fijación de las bridas.

Luego de marcarlos, se procede a realizar el calado de los orificios utilizando una máquina agujereadora provista de una mecha de 5 mm, perforando sobre la marca un agujero al lado de otro (**Figura 3**). También se realizan los agujeros de fijación correspondientes al diámetro de los bulones (19 mm). A través del empleo de una lima, se emprolijan los cortes, para evitar obstrucciones (**Figura 4**). Se prepara una junta de goma empleando una cámara de autos o tractor para asegurar el sellado, la cual se coloca entre el tanque y la brida. Se emplean un mínimo de cuatro bulones por brida (ej. \varnothing 18.75 mm y 62 mm de largo) para su sujeción (**Figura 5**). Debe colocarse adhesivo-sellador (preferentemente butílico, o silicona en su defecto) en la junta. Una vez colocada la brida, también se sella la luz entre el tanque y la brida, por dentro y por fuera del mismo.

Una vez sellado se coloca una curva de 30° de 160 mm en cada una de las salidas, con adhesivo para pvc (**Figura 6**). Luego se cortan dos secciones de caño 160 mm de longitud tal que lleguen a la cámara de carga y descarga, siendo éste último menor al primero.

Sobre el plano del cono superior del tanque a una distancia de 25-30 cm del extremo superior, anterior a la nervadura que une la parte cónica con la cilíndrica, se realiza un agujero de 30 mm, en el cual se coloca una salida de tanque de 1" (**Figura 7**). En el interior del tanque se enrosca una cupla que irá unida a un caño de 1", cuya longitud será tal que el caño quede 50 cm por debajo del nivel del líquido dentro del biodigestor (**Figura 8**).

Por otro lado, para sujetar posteriormente el agitador, en la base del tanque a través de una Te en epoxi se enrosca en sus dos extremos una sección de longitud semejante al radio del tanque de caño de polipropileno, de forma que la Te quede fija al fondo del tanque. En la rosca superior de la Te, se enrosca un caño que permita ingresar la parte inferior del agitador. Esta estructura, denominada "caño camisa", permite que el agitador funcione alineado en el biodigestor (**Figura 9**).

En las siguientes figuras se muestran lo descrito en los párrafos anteriores. Mayor detalle puede encontrar en los planos 1.1 al 1.5 del **ANEXO I**.

⁸ Es importante destacar que en otros modelos de biodigestores, se han utilizado materiales de sellado (resina náutica, fibra de vidrio y poxilina) a fin de poder reemplazar la brida, que es costosa y no siempre está disponible en el mercado.



Figura 3 – Perforación en tanque.

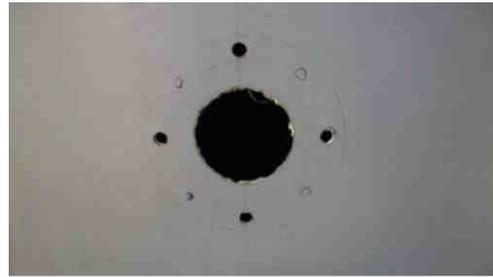


Figura 4 – Vista del tanque perforado.



Figura 5 – Vista interna – bulones de fijación de la brida



Figura 6 – Colocación de la brida y curva



Figura 7 – Vista externa caño camisa



Figura 8 – Vista interna caño camisa. Parte superior del tanque



Figura 9 – Vista caño camisa. Parte Inferior

7.1.i. Salida de gas

Se coloca una salida de tanque de ½", para lo que previamente debe agujerarse (\varnothing 20 mm) el tanque o en algunos modelos aprovechar el agujero que posee la carga del mismo (**Figura 10**).

Conviene incorporar silicona entre la junta de goma para asegurar su sellado. En la siguiente figura se muestra éste accesorio y en el plano 1.1 del **ANEXO I** se puede observar un mayor detalle del mismo.



Figura 10 – Salida de biogás del biodigestor.

7.1.ii. Agitador

El diseño del agitador corresponde a relaciones adimensionales que se toman en función del diámetro del tanque a ser utilizado. En éste caso en particular, se tomaron las siguientes equivalencias:

-	Diámetro del agitador/diámetro de tanque	=	1/5
-	Relación ancho/largo de paletas	=	3/5
-	Relación largo de paletas/radio agitador	=	5/6
-	Altura del agitador/altura nivel líquido	=	1/5

Para la construcción del agitador se utilizó caño de ½" con recubrimiento epoxi, para garantizar su durabilidad. Se debe contar con las siguientes secciones: 37 cm, 111 cm, 31 cm, dos de 13 cm y dos de 32 cm. Se cortan dos secciones rectangulares en chapa de 25 cm x 15 cm de un espesor mínimo de 1.6 mm (chapa nº16). Sobre la línea media se realizan al menos cinco orificios de cuatro milímetros para remachar sobre el caño correspondiente. A la superficie de contacto entre el caño y la chapa, conviene mecanizar, empleando una lima o amoladora eléctrica, un pequeño plano que sirva como apoyo para facilitar su perforación. Las chapas se remachan sobre las secciones de caño de 32 cm., constituyendo las paletas del agitador.

La conexión entre secciones pueden ser mediante rosca (para lo cual es necesario contar con una terraja para dicho material) o soldadura. En esta experiencia se utilizan ambos métodos. Las paletas se enroscaron en extremos opuestos de una cruz de galvanizado. En los otros dos se anexaron la sección de 31 cm y la de 117 cm, que constituyen el eje del agitador. Esto puede visualizarse en la **Figura 12**.

En uno de los extremos de la sección de 37 cm se coloca un codo de 90º, unido al eje del agitador, y en el otro se realiza un corte transversal, para posteriormente plegar a 90º una sección de 12 cm, que es la manija. Se coloca un corte de 11 cm en caño de polipropileno de 1". Se le suelda un tope en el extremo.

En éste caso en particular, para que el esfuerzo realizado por la persona sea menor, se coloca un rodamiento blindado axial COD SKF 51106 en el eje del agitador, incrustado en una cupla epoxi de 1". Esta cupla se enrosca en la parte exterior del niple de la salida de tanque, utilizada para colocar el caño camisa. Notar que para colocar el rodamiento se debió tornearse el eje del

agitador, a fin de que el mismo quede empotrado en el rodamiento. Una opción que evitaría realizar el torneado es colocar una crapodina o bien un rulemán (**Figura 11**).

El montaje del agitador debe realizarse en el interior del tanque, presentando la cruz con las dos paletas y posicionando el extremo inferior en el interior del caño camisa. La sección más larga del agitador se colocará desde el exterior, roscando y/o soldándola a un extremo a la cruz, para evitar que se desenrosque. Se debe introducir dentro de éste eje el caño de polipropileno de 1", que como se describió en el apartado 7.1, va unido al extremo interior de la salida de tanque, a fin que haga de "sello hidráulico", permitiendo que pueda movilizarse el agitador sin tener pérdidas de gas (**Figura 13**).

En las siguientes figuras se muestran la construcción del agitador y su montaje en el biodigestor. Se visualiza un mayor detalle en los planos 2.1 al 2.3 del **ANEXO I**.

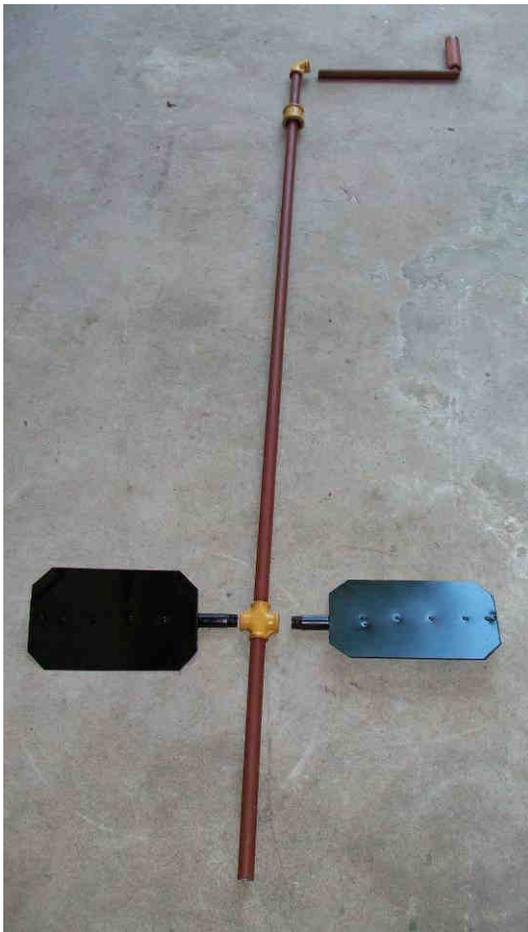


Figura 12 – Vista de agitador



Figura 11 – Vista de manija y rulemán



Figura 13 – Montaje de agitador dentro del biodigestor.

7.1.iii. Tapa

Se aprovechan los agujeros de fijación de la tapa con que viene provisto el tanque (8 orificios). Se agranda el diámetro de los orificios, según la medida del bulón (**Figura 14**) y utilizando como referencia los agujeros de fijación del marco, se perfora la tapa. Luego se colocan los bulones desde adentro del tanque en todos los orificios. En éste caso se utilizan bulones de 4.25 de diámetro y 30 mm de largo.

Se coloca una doble capa de nylon entre la tapa y el tanque (**Figura 15**), incrustándola sobre los tornillos y dejando una concavidad para poder introducir luego la tapa, previo sellado con butílico. Luego se coloca la tapa, contratapa, arandelas y se ajustan las tuercas (**Figura 16**). En las siguientes figuras se muestra la secuencia de colocación de la tapa.



Figura 14 – Colocación de bulones en biodigestor



Figura 15 – Colocación de silicona y nylon para evitar fugas de biogás.



Figura 16 – Colocación y amurado de tapa.

7.2. Gasómetro

En su construcción se emplean dos tanques de polietileno de 1000 (T1) y 1100 L (T2). En el tanque de menor volumen (T1) se almacena el biogás, mientras que el de mayor capacidad (T2) hace de contención del primero y se llena con agua, a fin de que genere un sello hidráulico.

Por medio de una caladora eléctrica o a través de una sierra manual, por encima del comienzo del cono de T2 se realiza un corte de toda la circunferencia (

Figura 17). En T1 el corte se realiza por debajo de la boca, para aprovechar al máximo el volumen del mismo (**Figura 18**).

De manera invertida se introduce T1 dentro de T2. Se coloca en T1 una salida de tanque de ½" provisto de un pico de manguera, para la posterior conexión de biogás que unirá éste compartimiento con el biodigestor.

Para construir el contrapeso se utiliza la boca de la tapa, que quedó del corte, colocándola lo más centrada posible sobre la base del tanque invertido. Luego se debe completar con mezcla (cemento: arena 1:3) una cantidad aproximada a 12 baldes (**Figura 19**).

Una vez fraguado el contrapeso, se procede a colocar las guías adheridas al gasómetro⁹. Para ello, se cortarán cuatro secciones de 100 cm de caño galvanizado, con terminación roscada. Se procede a colocar una cruz de polipropileno en el centro del tanque, enroscando los caños en la misma y engrampando, por medio de omegas, al contrapeso del gasómetro. En la terminación de los caños se coloca una reducción de 1" a ½"; y a esta una T de 1", por donde se insertan los caños exteriores utilizados como guía (esta última operación se realiza durante la etapa de instalación).

En las siguientes figuras se muestra la secuencia de construcción del gasómetro. Mayor detalle se puede visualizar en los planos 3.1 al 3.3 del **ANEXO I**.



Figura 17 – Corte de tanque de mayor diámetro, encima del comienzo del cono.



Figura 18 – Corte del tanque de menor diámetro por debajo de la boca del mismo.

⁹ Se realizaron pruebas utilizando varillas roscadas de diámetro de 1,6, colocando unas ruedas en sus extremos y que las mismas se desplacen sobre un ángulo. Esta opción se descartó, lo que no quita que otro usuario pueda mejorarla.



Figura 19 – Construcción del contrapeso

7.3. Filtros de sulfhídrico

Se corta una sección de 30 cm de caño de 110 mm. Utilizando la agujereadora eléctrica con una mecha de copa de 20 mm se realiza un orificio en el centro de las dos tapas (Figura 20). En cada una de las tapas se coloca la salida de tanque de ½" (Figura 21). El interior del caño se llena con virulana de hierro lo más comprimida posible. Las tapas son pegadas con pegamento de PVC y selladas con silicona (Figura 22).

Lo ideal es contar con un filtro de carbono activado, debido a que cuenta con mayor eficiencia de eliminación de los sulfuros y presenta mayor durabilidad que la viruta de hierro. No obstante, éste material tiene un mayor precio y no es de fácil disponibilidad.

En las siguientes figuras se muestra la construcción realizada en esta experiencia. Mayor detalle se puede visualizar en el plano 4.1 del ANEXO I.



Figura 20 – Perforación de tapa para trampa de sulfhídrico.



Figura 21 – Colocación de salida de tanque en tapa de PVC



Figura 22 – Relleno del caño con virulana de acero.

7.4. Trampa de agua

Al igual que la trampa de sulfhídrico, se corta una sección de 30 cm en caño, en éste caso, de 160 mm (**Figura 23**). A 5 cm desde la parte superior del mismo se realiza un agujero de un diámetro de 10 mm el cual cumplirá la función de descargar el líquido excedente del tubo.

En el centro de una de las tapas se realiza un agujero, donde se coloca una salida de tanque de $\frac{1}{2}$ " , enroscando en la parte interior una sección de caño de $\frac{1}{2}$ " de 25 cm de largo (**Figura 24**) y en la parte exterior una T $\frac{1}{2}$ " de PP, donde se colocan conectores rectos para manguera de $\frac{1}{2}$ ". Esta tapa se pega en el extremo del caño de PVC cercano al agujero realizado. Otra tapa se pega en el otro extremo del caño, utilizando para ambos casos pegamento para PVC. Se sella con silicona para evitar filtración de agua (**Figura 25**).

En las siguientes figuras se muestra la construcción de éste accesorio. Un mayor detalle se puede visualizar en los planos 5.1 y 5.2 del **ANEXO I**.



Figura 23 – Corte de sección de caño de PVC.



Figura 24 – Vista de caño PVC, salida de tanque y caño de PP de 25 cm.



Figura 25 – Vista de la trampa de agua: Salida de tanque, agujero de descarga de excedente

7.5. Trampa de llama

La construcción de la trampa de llama se inicia a partir de un tubo de PVC de 160 mm diámetro y 18 cm de longitud. En la tapa superior se realizan dos orificios para colocar dos salidas de tanque de $\frac{1}{2}$ ". Si es necesario se debe reducir el diámetro de estos accesorios de polipropileno para que entren en la circunferencia de la tapa. En la salida de tanque en donde se conecta la entrada de biogás, por dentro del caño debe colocarse una sección de caño de polipropileno cuya longitud quede 2 cm por debajo de la superficie de agua. Finalmente en ambas salidas de tanque se enroscan dos codos de $\frac{1}{2}$ ".

Es importante aquí conocer el volumen de líquido que llevará éste dispositivo, a los fines que el biogás pueda burbujear en la misma. En caso que se llene por encima de la presión del sistema, el biogás no podrá circular por esta.

En la siguiente figura se muestra la trampa de llama construida. Un mayor detalle se puede visualizar en los planos 6.1. 6.2 y 6.3 del **ANEXO I**.



Figura 26 – Vista de la trampa de llama.

8. PRUEBAS NECESARIAS PREVIO A LA INSTALACIÓN

8.1. Prueba hidráulica

Esta prueba consiste en verificar que no existen pérdidas de líquido en el biodigestor. Es recomendable realizar la misma una vez finalizada la construcción y el montaje de las piezas, para comprobar si el sellado de las partes fue efectivo. Se debe cargar el reactor con agua hasta llegar al nivel de la boca de salida. Primero realizar una inspección visual en el sellado de las dos bridas y la salida original del tanque. Repetir la inspección a las 24 hs. En el caso de encontrar una mínima pérdida, vaciar el biodigestor y realizar nuevamente el sellado en donde se detectó el problema.

8.2. Prueba neumática.

La prueba neumática consiste en verificar que no existirán pérdidas futuras de biogás. En éste caso, con el biodigestor lleno de líquido hasta el nivel de descarga, se conectan todos los dispositivos entre sí (trampa de agua, de llama y de sulfhídrico; gasómetro y elemento de consumo de biogás) y a través de un compresor se inyecta aire al sistema hasta que el gasómetro llegue al límite superior.

Existen dos caminos para realizar la evaluación. El primero es empleando una esponja y detergente, colocando espuma en cada una de las uniones y realizar una inspección visual, observando si se forman burbujas. En caso de existir una pérdida mínima, se encontrarán formación de burbujas cuando se pase detergente.

Otro camino es luego de cargar el gasómetro con aire hasta el límite superior, esperar un tiempo de 48 hs y verificar que éste no haya descendido su nivel. Si existen pérdidas de aire, el gasómetro va a descender completamente luego del período de tiempo evaluado. Notar que puede existir una fluctuación en el volumen debido a cambios de temperatura ambiente, pero esto no llevará a un completo descenso del gasómetro.

En caso de encontrar una fuga, se debe volver a sellar las uniones y repetir esta prueba hasta que el sistema quede hermético. Es importante resaltar que, de existir una mínima pérdida de aire, en 48 hs el gasómetro estará en su mínimo nivel.

9. INSTALACIÓN, PUESTA EN MARCHA E INICIO DEL PROCESO

9.1. Criterios de selección del lugar.

Para definir el lugar de instalación del reactor y del gasómetro se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- **Seguridad:** Buscar un lugar lo suficientemente alejado de las instalaciones de la escuela, que no interrumpa la circulación de los alumnos durante los recreos y actividades al aire libre.
- **Consumo del biogás:** Lo suficientemente cercano de los puntos de consumo para evitar grandes costos de cañerías, y provocar pérdidas de presión del biogás.
- **Generación de residuos:** No tan alejado al sitio donde se generan los residuos, para facilitar su carga y evitar transportar la materia prima del biodigestor largas distancias.
- **Utilización del biofertilizante:** Al ser utilizado el líquido para mejorar el suelo de la huerta, el biodigestor deberá estar cercano a la misma a los fines de facilitar su manejo.



Figura 27 – Ubicación de la Escuela N° 6253 “José de San Martín” en el entorno rural.



Figura 28 – Croquis: Ubicación del biodigestor dentro del predio de la Escuela N° 6253 “José de San Martín”



Figura 29 – Vista lateral del sector donde fue instalado el biodigestor.



Figura 30 – vista frontal del sector donde fue instalado el biodigestor.

9.2. Instalación del biodigestor

Se realizaron tres excavaciones. La primera de ellas, de un diámetro de 1.8 m y una profundidad de 0.9 m, donde se coloca el biodigestor; otra de 1.3 m de diámetro y 0.8 m de profundidad donde se coloca el gasómetro (**Figura 31**) y la última de 0.4m de ancho por 0.65 de largo por 0.5 de profundidad, donde se coloca la trampa de agua.

En estas excavaciones se realizó un contrapiso con arena y cemento en una proporción 3:1. En el caso del pozo donde se encuentra la trampa de agua, se armó una cámara de inspección para poder acceder a la misma.

La superficie del reactor se cubrió con botellas reutilizadas de PET con el fin de generar una cámara de aire que actúe como aislante térmico. Las mismas fueron sujetadas con polietileno Strich (**Figura 32**).

Aledaño al pozo del gasómetro, se colocaron cuadro guías verticales de caño galvanizado. A través de las mismas se enhebraron las Te que se encuentran al final de los caños adheridos al contrapeso del gasómetro, tal como fue descrito en 7.2 (Figura 33). De esta manera se asegura un deslizamiento suave y recto de su campana, ya que de lo contrario tendrá influencia en el caudal de gas entregado y por lo tanto en la intermitencia de la llama.



Figura 31 – Vista pozo de biodigestor (delante) y gasómetro (detrás).



Figura 32 – Colocación de botellas plásticas como medio de aislación para el biodigestor



Figura 33 – Vista de guías colocadas en el gasómetro.

Terminadas la instalación del gasómetro y el biodigestor, se colocan ambos en sus respectivas excavaciones y se rellena con tierra, apisonando la misma y dejando que se asiente.

La conexión desde el reactor hasta el gasómetro se realiza con caño de polipropileno de ½". El mismo fue protegido contra el sol con cinta para tal fin (**Figura 34**). A través de una unión roscada y una TE se vincula la cañería al gasómetro. En uno de los extremos de la TE se coloca un pico y 4 metros de manguera de polietileno negra (de las utilizadas para riego) conectadas a la salida de gas del gasómetro (**Figura 35**). De esta forma se permite que el gasómetro pueda movilizarse en sentido ascendente y descendente.



Figura 34 – Conexión de biogás desde el digestor al gasómetro.



Figura 35 – Colocación de manguera negra para lograr el ascenso y descenso del gasómetro

La cañería que une el gasómetro con la hornalla fue construida con manguera negra (polietileno). Posee una pendiente negativa hacia la trampa de agua, punto de menor altura de dicha conducción. Para lograr tal fin se coloca por dentro de caño de PVC (**Figura 36**) y se la protege con una construcción de mampostería (**Figura 37**). Para mayor seguridad en la conducción de biogás se recomienda el uso de caño de polipropileno o epoxi.



Figura 36 – Construcción de cañería de biogás. Vista de caño de PVC por donde se coloca la manguera plástica. Elevación de nivel



Figura 37 – Vista final: construcción de mampostería para protección de la cañería

Sobre la pared exterior del sitio donde se encuentra instalado el dispositivo para consumo, se coloca el filtro de sulfhídrico adherido con Omegas para caño de PVC de 110. Posterior al mismo, se coloca la trampa de llama, que en lugar de utilizar el artefacto descrito en 3.3; se opta por colocar una válvula de una única vía, que evite el retroceso de la llama y permita el paso de gas. Por medio de una T, se realiza una derivación en donde se introduce un manómetro en U, a los fines de controlar la presión total del sistema (**Figura 38**).

Figura 38 – Vista de trampa de llama, válvula de una sola vía y manómetro en U.



Del lado interior de la sala, se coloca un quemador de 3500 cal/h (**Figura 39**). Se agranda su pico a un diámetro final de 2,5 a 3 mm y se reduce la entrada de aire. Dicha conexión debe realizarla un gasista matriculado, a los fines de cumplir con la reglamentación vigente en la provincia.



Figura 39 – Quemador de biogás.

Mayor detalle de la obra civil, instalación de los equipos y accesorios se pueden observar en los planos 7.1 al 7.4 del **ANEXO I**.

9.3. Puesta en marcha

Una vez instalado el biodigestor y verificada su hermeticidad, se procede a realizar la puesta en marcha del proceso biológico.

En primer lugar, se agrega al biodigestor la carga inicial (inóculo). Las alternativas posibles fueron:

- a) Cargar $\frac{1}{4}$ parte del biodigestor con estiércol fresco de animales y el resto con agua.
- b) Cargar el volumen total del biodigestor con efluente proveniente de un sistema de producción pecuaria cercana.
- c) Cargar el biodigestor con un inóculo proveniente de otro biodigestor.

Debido a que dentro del predio escolar no había una cantidad elevada de estiércol animal para completar la carga requerida, se desecha la opción a. Por otro lado, tampoco existe un biodigestor cercano a dicho establecimiento, lo cual hace que la opción c sea poco viable.

Al existir cerca de la escuela criaderos de animales con efluentes apropiados para ser utilizados como inóculo, se optó por la opción b.

Dicho productor vierte en una cava el líquido utilizado para el lavado de las instalaciones y cuenta con una bomba para la correspondiente evacuación. Dicha bomba se utiliza para enviar 1000 litros de líquido hacia tanque plástico de igual capacidad, colocado sobre una camioneta, para transportar el efluente desde el criadero hacia la escuela. Luego, por gravedad, se descarga dicho contenido en el biodigestor, completando la carga con agua.

Para aumentar el número de bacterias dentro del biodigestor, se comienza a alimentar con una baja carga de residuos. Durante el inicio del proceso, se carga con 7 kg/d de desechos de verduras y hortalizas, estiércoles de animales y residuos de la cosecha de maíz. La respuesta del sistema, en cuanto a la producción de gas, se dio a la primera semana, y estuvo comprendida entre los 20 y 25 litros por cada kilogramo de residuo. Todo el volumen generado se ventea por el alto contenido de CO₂ que podría llegar a tener (esto, suponiéndolo, pues no se llegó a medir) y el oxígeno que podría haber quedado en las cañerías de biogás.

Al observarse una buena respuesta, se decide aumentar la carga a 11 kg/d. Para éste caso, no se nota un aumento de la producción de biogás en función de la masa de desechos agregados (sin cambiar su composición). El pico de producción diario durante éste período fue de 260 litros de biogás. Al igual que en el primer período, se ventea el gasómetro.

En éste momento es cuando surge el primer inconveniente. Se obstruye el caño de alimentación del biodigestor, visto que quedan restos de sólidos en la curva colocada al ingreso del mismo. Esto lleva a abrir el biodigestor por su tapa superior y desobstruirlo. Una vez realizado, se toma como práctica ayudar el ingreso del residuo con una manguera de polietileno de 1 $\frac{1}{2}$ "', a los fines que el material de carga pueda llegar con mayor facilidad al cuerpo del biodigestor.

Luego de 1 mes de funcionamiento se realiza un análisis fisicoquímico del inóculo del biodigestor. Se observa una disminución del pH (desde 6.5 a 4.8) y un incremento del FOS-TAC¹⁰ (desde 1.58 a 2.28). Estas observaciones llevaron a las siguientes conclusiones:

- El inóculo seleccionado todavía no se encontraba estabilizado.
- La concentración de sólidos dentro del biodigestor era muy baja (<1%)
- Se realizó una sobrecarga de alimentación. Se debería haber mantenido la inicial (7 kg/d)

Esto llevó a tomar las siguientes decisiones:

- Dejar de alimentar durante 15 días.

¹⁰ FOS-TAC: Análisis de Control para biodigestores. Mayor detalle se muestra en el ANEXO V

- Buscar inóculo que presente mejores condiciones y mayor concentración de sólidos: Esto fue posible por la existencia de otro criadero de cerdos, con un manejo de los líquidos distinto, y por lo tanto, condiciones diferentes al inóculo inicial.
- Sólo alimentar con estiércol bovino (no RSU- Residuo Sólidos Urbanos-).

Durante 1 mes, se agregan 60 litros del nuevo inóculo en 6 tandas (volumen total: 360 litros).

Si bien comienza a notarse un incremento del pH y una reducción del FOS-TAC, el sistema continúa sin generar gas, y con valores de pH menores a 7. Para llegar a pH neutro (7) se agrega lechada de cal, en una carga de 1000 gramos y dos de 500 gramos, monitoreando diariamente el pH a los fines de verificar la respuesta del sistema. Con estas medidas se logra recomponer el biodigestor, empezando a generar biogás.

Al biodigestor se lo continúa alimentando con una carga de residuos de entre 6 y 10 kg compuesto por estiércol de vaca, cáscaras de verduras y hortalizas y residuos de cocina. En la **Tabla 5** se muestran los parámetros máximos y mínimos registrados durante las distintas etapas de funcionamiento. En los **Gráficos 1 y 2** se pueden observar la producción acumulada de biogás (marzo 2012 a octubre de 2013) y la variación del FOS-TAC desde marzo a octubre del año 2012.

Tabla 5 – Registro de parámetros durante las distintas etapas del funcionamiento del biodigestor.

Etapa	Parámetros	Temperatura Ambiente	Producción de biogás (l/d)	Producción de biogás por kg de materia prima	FOS-TAC	pH
Inoculación	Máximo	31	260	24.1	2.23	N/R
	Mínimo	4	26	2.1	1.58	N/R
Acidificación	Máximo	24	100	13	4.8	6.7
	Mínimo	1	26	2.6	1.5	4.8
Producción	Máximo	27° C	390	43	1.56	7.2
	Mínimo	-4 ° C	60	8	0.15	6.7

Gráfico 1 - Producción acumulada de biogás – Escuela Rural 6253 “José de San Martín”

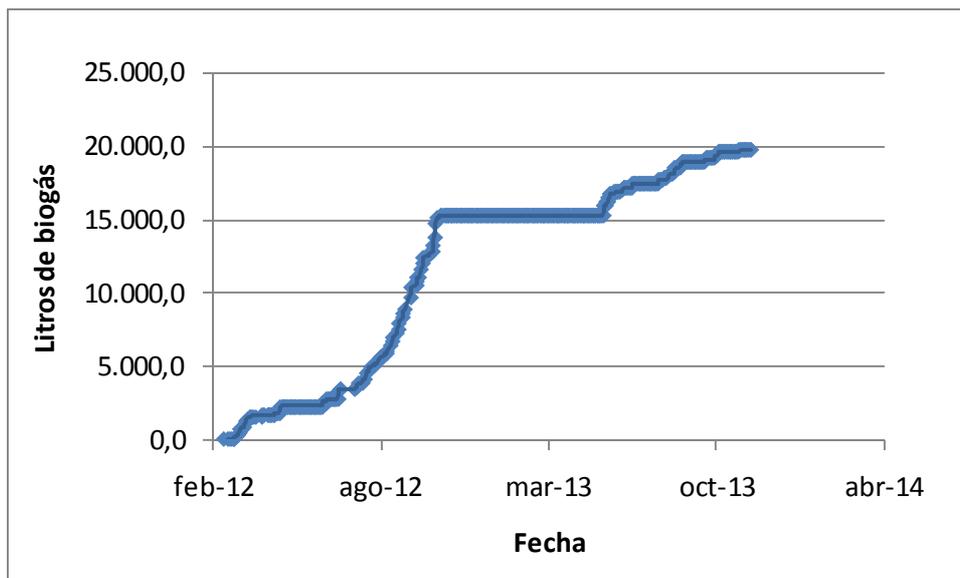
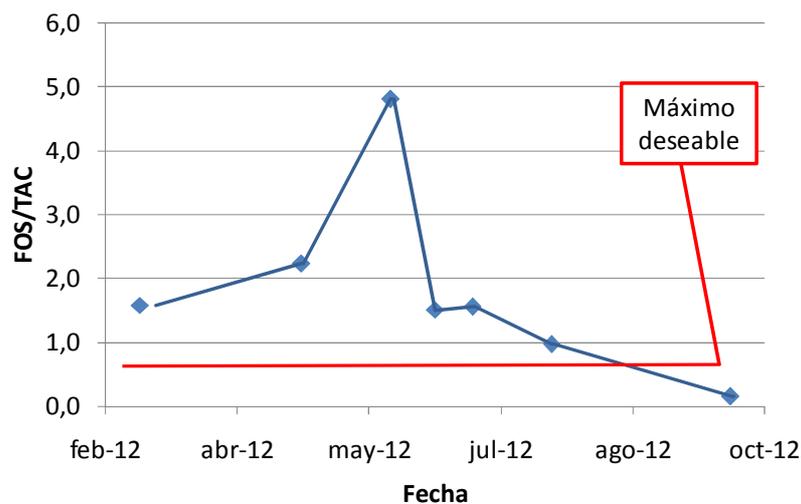


Gráfico 2 - Variación del FOS/TAC – Biodigestor Escuela Rural 6253 “José de San Martín”



Pudo comprobarse que el biogás generado a partir de julio de 2012 presenta una buena calidad, debido a que la llama se encuentra estable, con una coloración azul sin puntos amarillos que no se “despega” de la corona cuando funciona a caudal máximo. Este detalle se muestra en las **Figura 40** y **Figura 41**. Para verificar el contenido de CO₂, será necesario realizar un control a través del método Orsat.



Figura 40 – Quemador de biogás en funcionamiento.



Figura 41 – Llama de biogás azul, estable y sin despegarse de la corona del quemador.

9.4. Operación.

El biodigestor, como todo sistema biológico, necesita de una atención diaria. El mismo debe alimentarse cotidianamente para que su funcionamiento sea óptimo.

Al utilizarse un residuo sólido para su carga, la alimentación se realiza de dos formas: agregando primero el residuo y luego vertiendo el agua, para que se produzca el “efecto sifón” y pueda ingresar el material a degradar dentro del biodigestor. O bien, la otra alternativa es agregar agua sobre el recipiente en donde se encuentra el residuo, de forma de generar un lodo y luego colocar la mezcla en la boca de entrada del biodigestor. En caso de encontrar restos de residuos sobre la misma, puede agregarse el volumen de efluente extraído por la boca de salida. Como se mencionó en el apartado 9.3, se utiliza una manguera de polietileno para ayudar a ingresar al residuo dentro del cuerpo del biodigestor.

En éste caso en particular, el biodigestor no será alimentado durante las vacaciones. Al retomar la actividad escolar será necesario agregar los residuos en forma proporcional, como se ha realizado durante la puesta en marcha.

Lo ideal para estos reactores es tener una agitación continua y lenta durante todo el día. No obstante, para lograr esto se deberá contar con un agitador mecánico y generalmente, para digestores de pequeña y mediana escala se utilizan los manuales. En estos sistemas se recomienda agitar por lo menos 2 veces al día. Caso contrario, se podría formar una costra en la parte superior del biodigestor (en la interfase líquido – gas) similar a las formadas en las cámaras sépticas.

Al quemar el biogás se deberá observar el color de la llama. Una llama azul es indicadora de que el proceso se encuentra estable. Una llama color rojo, o bien, una llama que se desprende del quemador indica la existencia de algún problema. En ese caso, se debe vaciar el gasómetro y esperar que se vuelva a cargar para realizar nuevamente la prueba de la llama.

Es importante controlar que no haya fugas de gas en las instalaciones fijas y móviles de la conducción del biogás, desde el biodigestor hasta el artefacto de consumo. Para ello, por lo menos una vez por semana, con una mezcla de agua y detergente, se deben repasar las conexiones con un pincel y esponja. Si hay una pérdida, se podrá observar la formación de una burbuja.

Para el caso del efluente, el mismo podrá aplicarse en la abonera o lombricario, donde se encuentren otro tipo de residuos que no se degraden en el biodigestor (ej: hojas durante el otoño que se generan en exceso). Esto favorece la descomposición y forma un producto

estable. También puede aplicarse directamente sobre el suelo de la huerta que se encuentre sin cultivo. Para éste caso, luego de aplicarlo, se recomienda tapar el mismo con pasto u hojas secas. Esto mejora las condiciones del suelo, principalmente: textura, estructura, fijación de sales, desarrollo microbiano. También puede ser utilizado como “ferti-riego”, para lo cual, para preservar la sanidad alimentaria de los productos de la huerta, deberán extremarse las precauciones con las verduras de hojas y frutos. En todos los casos, se recomienda el uso de elementos de protección personal: guantes de látex o de nitrilo, y antiparras de seguridad.

10. CONSIDERACIONES

10.1. Análisis energético/económico.

El consumo actual promedio de energía calórica del establecimiento educativo es de 17.000 Mcal / año, el cual es abastecido a través de garrafas de 45 Kg de gas licuado de petróleo (GLP). El mismo puede desglosarse en dos períodos: En los meses fríos hay un elevado uso de la energía, dirigida principalmente en la calefacción de las instalaciones, y se estima en 75.860 Kcal /día, lo que produce una reposición por garrafa cada 7 días. En cambio, durante los meses cálidos, éste valor se reduce a 17.130 Kcal, ya que dicho insumo se utiliza fundamentalmente en la cocción de los alimentos, implicando una duración de la garrafa de 31 días. En término de costos del gas de garrafa, en invierno ascendería a 42.8 \$/día y en primavera/otoño a 9.7 \$/día¹¹.

Tomado como valor de referencia de producción de biogás 350 L/día, del total de energía consumida en el establecimientos para calefacción y cocción, de la energía demandada se logra cubrir un 2.53 % en invierno y 10.5 % en verano. Notar que los valores esperados de producción son de 1000 L/día en invierno y 2000 L/día en verano, que equivaldrían a un 7.25% y 64.2% respectivamente. Estos valores fundamentan la importancia de ahondar esfuerzos en la eficiencia energética, es decir, poner en debate cuales son los criterios y las pautas de consumo actual de la energía en el establecimiento, y mejorar la eficiencia de las tecnologías que utilizan fuentes renovables.

El costo de materiales para la construcción del biodigestor, sin contar mano de obra, ascendió a 6.172,4 pesos. Estimando una durabilidad del biodigestor de 10 años, su amortización anual sería de 617 \$ / año, equivalente a 1.69 \$ pesos por día. Los 350 L / día, de biogás producido equivalen a un costo en garrafa de 1.07 \$ / día. El valor de producción diario promedio de biogás que iguala los costos de amortización es de 548 L / día.

La coyuntura energética actual posiblemente favorezca emprendimientos de una escala superior a la trabajada en éste caso, aunque es importante aclarar que en dicho análisis no se tuvieron en cuenta factores como las externabilidades negativas del manejo actual de los residuos o las valoraciones de los efectos sociales, en la escuela y sus relaciones con el territorio.

10.2. Análisis Ambiental y Social

Desde el punto de vista del **ambiente**, es decir la recuperación de residuos, resulta conveniente implementar un sistema de digestión anaeróbica ya que el proceso tiene como resultados biogás (que es energía) y su subproducto puede ser aprovechado como fertilizante, pensando al biodigestor como una tecnología integrada en un sistema que se encuentra diversificado en su producción.

Particularmente en la Escuela N° 6253, los residuos de cocina, huerta y granja, no presentan un problema de relevancia, debido al escaso volumen de los mismos y a la distribución en el espacio que tienen. No obstante, es menester la necesidad de dar una adecuada disposición a los mismos, a fin de evitar ciertos impactos negativos que pueden provocar un mal manejo. Para éste caso, el biodigestor es una alternativa de tratamiento.

¹¹ Calculado a partir del precio de la garrafa de 45 Kg de GLP, entregado en la escuela a Octubre de 2012.

Socialmente, una de las principales ventajas hacia adentro de la escuela es el efecto educativo y su multiplicación con los niños. Hacia afuera, el interés que despertó en diversos actores del territorio, como productores porcinos, que ya habían evidenciado con anterioridad el problema de los residuos de su producción y el tratamiento de efluentes.

El presente caso de estudio provee información de utilidad ya que en la actualidad existen numerosas escuelas a lo largo del país con demandas de biogás. Esto evidencia a un actor dentro de la sociedad a la vanguardia respecto a la conciencia de la problemática ambiental y la oportunidad que ocupan las energías renovables.

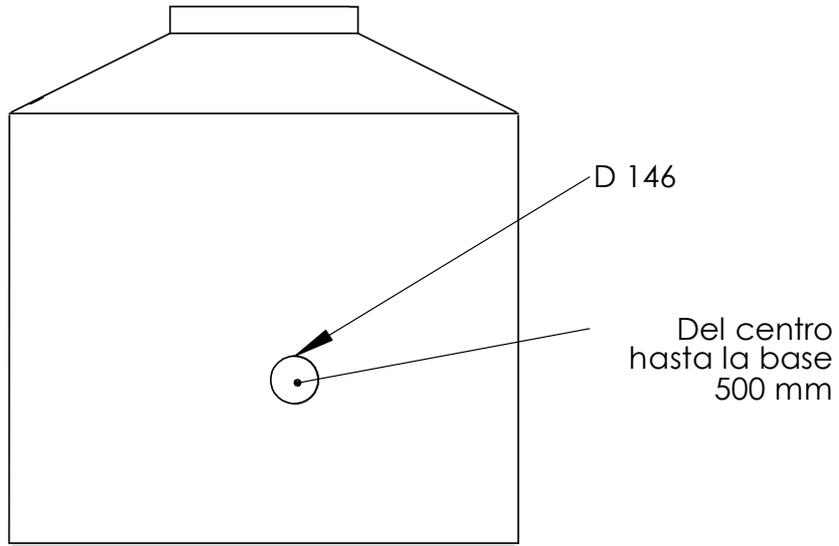
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- American Public Health Association (APHA) “Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales” 17 Edición. Madrid: Editorial Diaz de Santos SA, 1992.
- Bunyeth H y Preston T.R. “Biodigester effluent as fertilizer for water spinach established from seed or from cuttings” Livestock Research for Rural Development. Vol. 16. Art. N° 79. 2004.
- Carrillo L. “Energía de la biomasa” Primera Edición: S.S. Jujuy: el autor. 82 p. 2004. Zapata A “Utilización del biogás para generación de electricidad” Fundación CIPAV, Cali-Colombia, 1999.
- Cavalcanti do Nascimento R. “O uso do biofertilizante em solos agrícolas do cerrado da região do alto paranaíba (MG)” Boletim Goiano de Geografia Vol. 30 N° 2 (2010). P 55-66.
- Day D.L., Chen T.H., Anderson J.C. y Steinberg M.P. “Biogas plants for small farms in Kenya” Biomass Volume 21, Issue 2, 1990, Pages 83-99 .
- FAO. 1986. Reciclaje de Materias Orgánicas y Biogás. Una experiencia en China. Curso de capacitación. Chengdu, China, (Septiembre – Octubre, 1984). 400pp
- Groppelli, E. Giampaoli, O. “El Camino de la Biodigestión”. Primera Edición. Editorial UNL: Santa Fe (2001): 189 p.
- Guevara Vera A. “Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales” Lima: Editorial CEPIS, 1996. 77 p.
- Hilbert, J. “Manual para la producción de biogás”. Castelar: Instituto de Ingeniería Rural – INTA (1993): 54 p.
- Jenkins S.R., Morgan J.M., Sawyer C.L. “Measuring anaerobic sludge digestion and growth by a simple alkalimetric titration” Journal WPCF Vol. 5 N° 55 (1983): p 448 – 453.
- Kean S. y Preston T. R. “Comparison of biodigester effluent and urea as fertilizer for water spinach vegetable” Livestock Research for Rural Development 13 (6) 2001
- Lansing S, Botero R, Martin J. 2007. Waste treatment and biogas quality in small scale agricultural systems. Biosource Technology 99.
- Lossie U., Pütz p. “Control orientado de plantas de biogás con la ayuda de FOS/TAC” Técnica Analítica de HACH LANGE Laboratorios; 2009.
- Martí Herrero J. “Guía de diseño y manual de instalación de biodigestores familiares” GTZ Pro-Agro 2008. 74p.
- Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de la República Argentina. Informe de la República Argentina presentado en Seminario “Educación de la Población Rural en América Latina: ALIMENTACIÓN Y EDUCACIÓN PARA TODOS” UNESCO- FAO Santiago de Chile, 3, 4 y 5 de Agosto de 2004
- Ministerio de Energía de Chile. “Manual de Biogás” Proyecto CHI/00/G32 “Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables”. 2011.
- Portuondo E., Martínez Abreu M., Méndez W., Cárdenas Sánchez J. “Quemadores de cerámica para biogás” TECNOLOGÍA QUÍMICA Vol. XXI, No. 3, 2001.

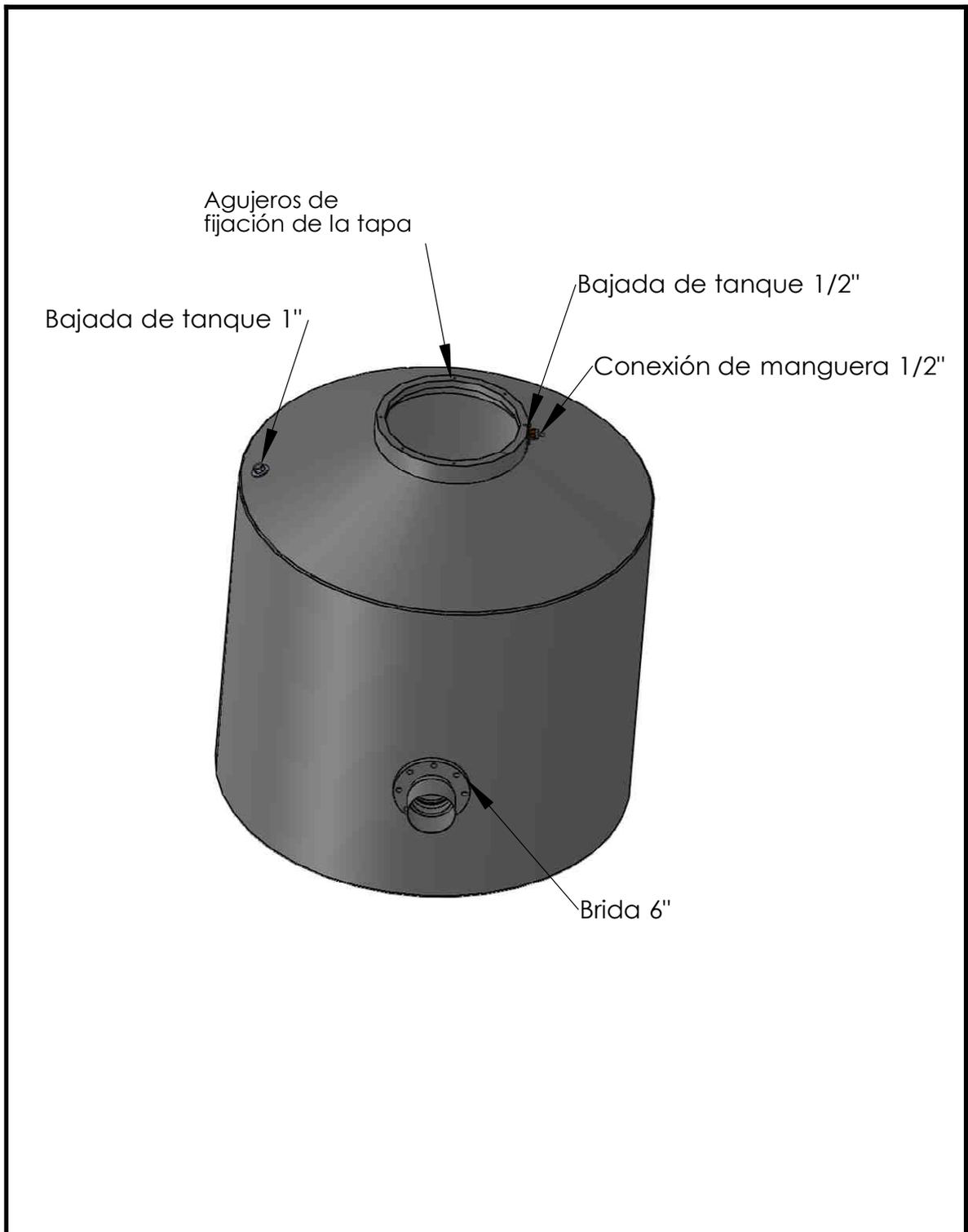
- Puerta A., Garbi M., Díaz, R., Tysko, M. "Effluent from the anaerobic digestion of dairy cattle manure as biofertilizer in organic lettuce seedling production (*Lactuca sativa* L.)". Consultado en Octubre de 2011. Disponible en http://www.ramiran.net/ramiran2010/docs/Ramiran2010_0283_final.pdf.
- Tchobanoglous G., Vigil S., Theisen H. "Gestión integral de residuos sólidos" Editorial McGraw-Hill Interamericana de España. 1994.
- Thomas, H. Tecnologías para la inclusión social y políticas públicas en América Latina (2009). Consultado en Julio de 2012. Disponible en <http://www.redtisa.org/es/tis.php>
- Valverde-Guevara, C.R. "Evaluación comparativa del efluente (subproducto del biodigestor) con la fertilización comercial en el cultivo del puerro (*Allium porrum* L.)" Editorial Heredia, Universidad Nacional, CR. Tesis perteneciente a la carrera "Licenciatura en Ingeniería Agronómica" de la Universidad Nacional, Escuela de Ciencias Agrarias, Heredia (Costa Rica). 93 p. 1989.
- Vizquez Arias J. "Biogás: energía recuperable. Análisis energético y económico de su potencial en fincas lecheras" Revista ECAG Informa N° 50, Costa Rica, 2009.

ANEXO I Planos¹²

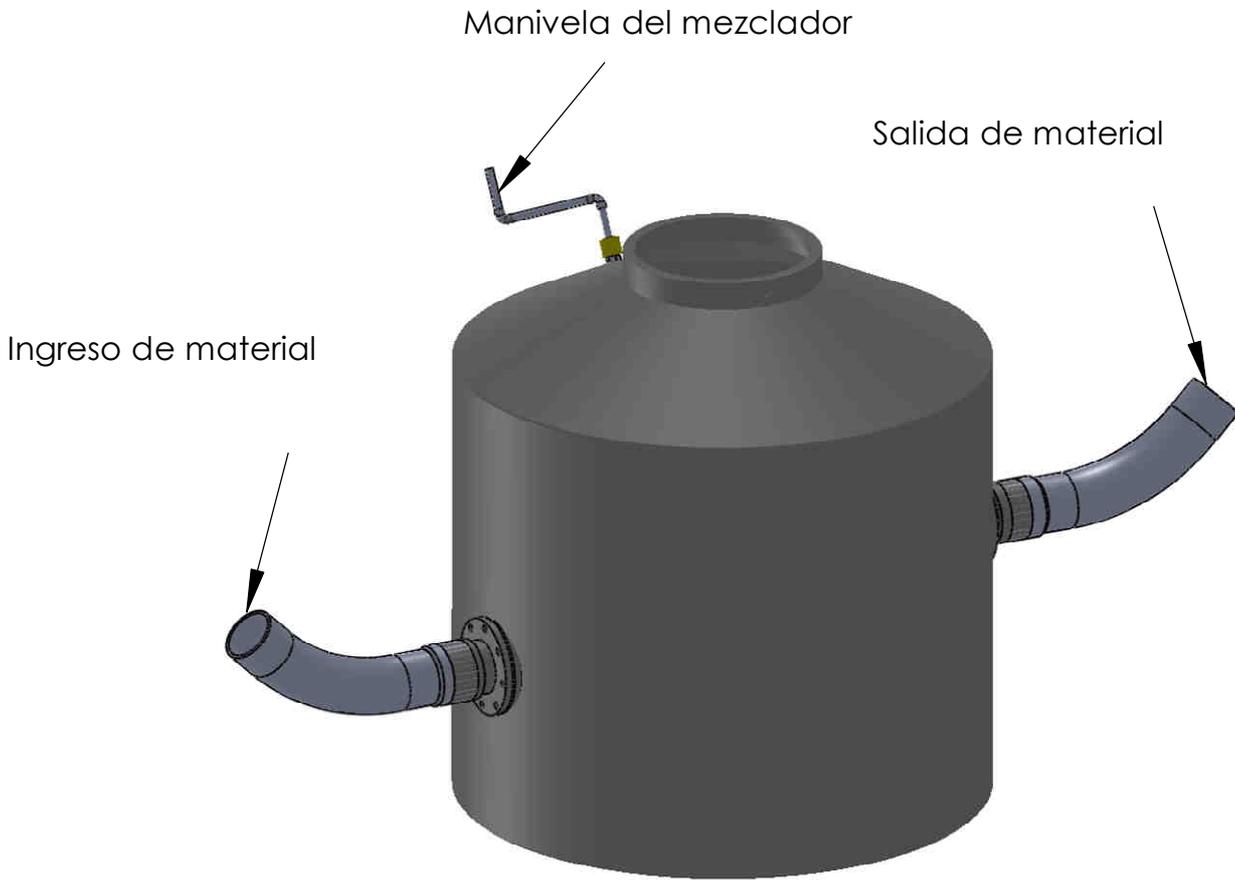
¹² **Nota:** Al realizar la conversión de los planos a formato PDF, la escala pudo haber sufrido alguna modificación. En caso de necesitar alguna medida que no esté detallada en los mismos, solicitar los archivos originales en formato digital.



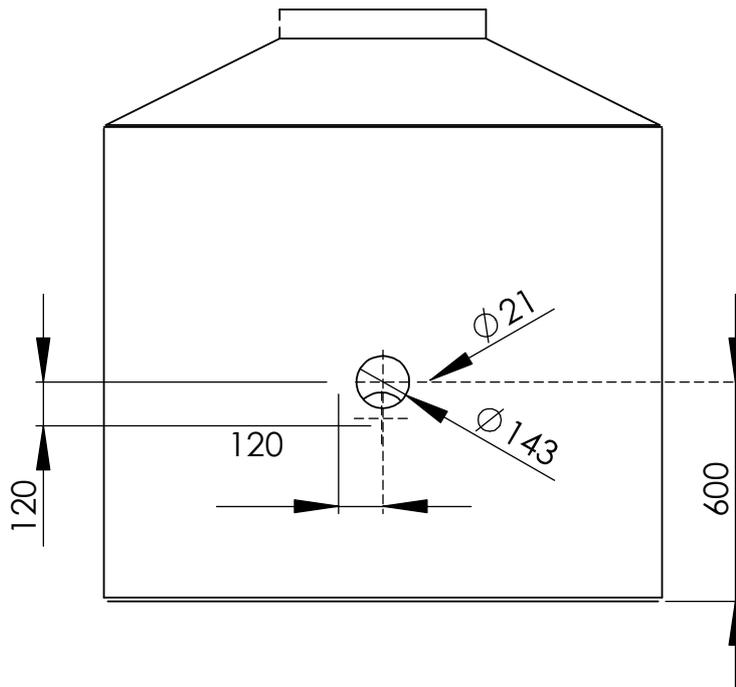
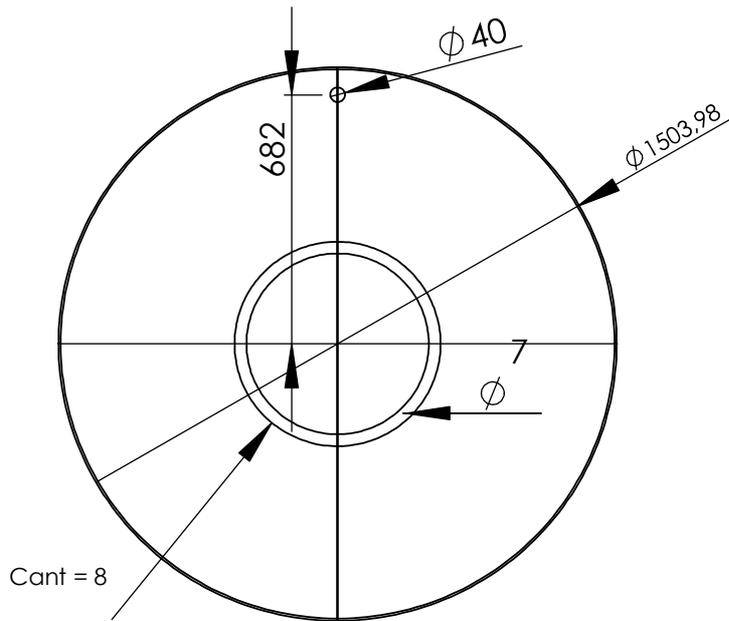
	Asignación	Fecha	Nombre	INTA Instituto de Ingeniería Rural E.E.A Oliveros
	Dibujó		Florean R	
	Revisó		Venturelli L	
	Aprobó		Huerga I	
	ESCALA:	Título		Plano
	A4	Biodigestor Familiar		Biodigestor medidas
	MATERIAL:			Nº : 1.1



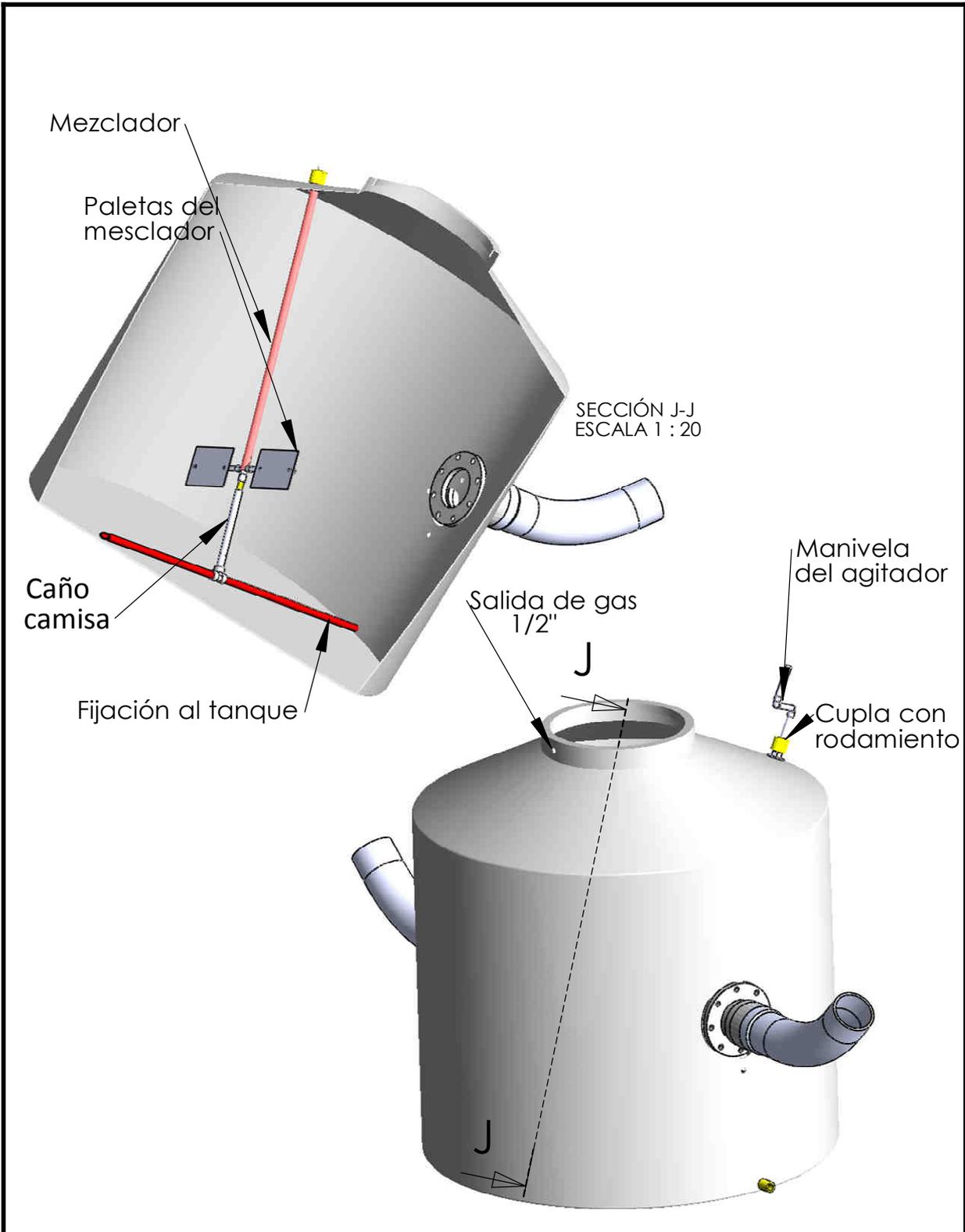
	Asignación	Fecha	Nombre	INTA Instituto de Ingeniería Rural E.E.A Oliveros
	Dibujó		Florean R	
	Revisó		Venturelli L	
	Aprobó		Huerga I	
	ESCALA:	Título		Plano
	A4	Biodigestor Familiar		Digestor
	MATERIAL: Polietileno trícapa			Detalles de armado 1
				Nº:1.2



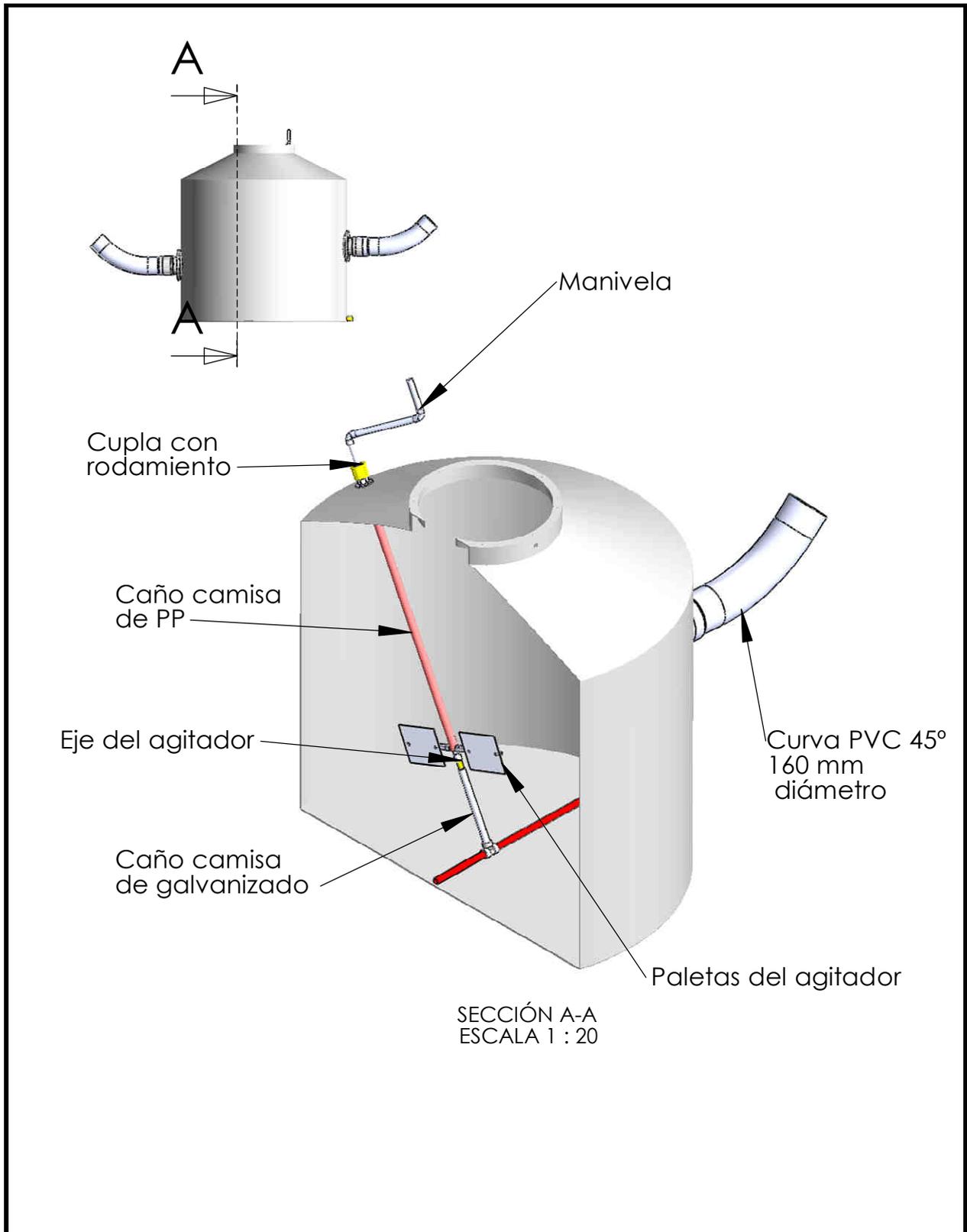
	Asignación	Fecha	Nombre		INTA Instituto de Ingeniería Rural E.E.A Oliveros
	Dibujó		Floean R		
	Revisó		Venturelli L		
	Aprobó		Huerga I		
	ESCALA:	Título			Plano
	A4	Biodigestor Familiar			Digestor Detalle de armado
	MATERIAL:				



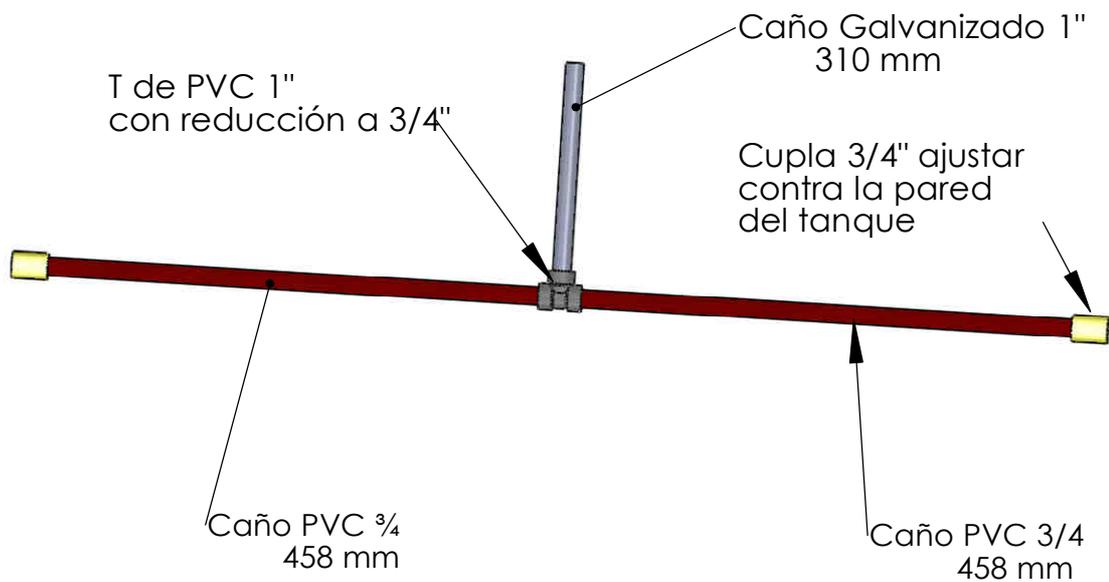
	Asignación	Fecha	Nombre	INTA Instituto de Ingeniería Rural E.E.A Oliveros
	Dibujó		Florean R	
	Revisó		Venturelli L	
	Aprobó		Huerga I	
	Título			Plano
A4	Biodigestor Familiar			Tanque Eternit 2500 Lts Mecanizado
MATERIAL:				Nº: 1.4



	Asignación	Fecha	Nombre		INTA Instituto de Ingeniería Rural E.E.A Oliveros
	Dibujo		Florean R		
	Reviso		Venturelli L		
	Aprobó		Huerga I		
	ESCALA:	Título			Plano
	A4	Biodigestor Familiar			Biodigestor
	MATERIAL:				Vista interior
					Nº: 1.5

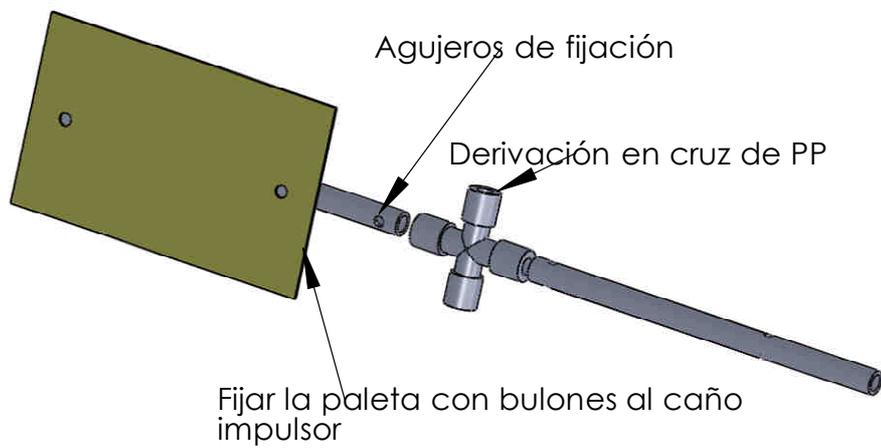


	Asignación	Fecha	Nombre		INTA Instituto de Ingeniería Rural E.E.A Oliveros
	Dibujó		Florean R		
	Revisó		Venturelli L		
	Aprobó		Huerga I		
	ESCALA:	Título			Plano
	A4	Biodigestor Familiar			Corte del Biodigestor
	MATERIAL:				Nº: 1.5 b

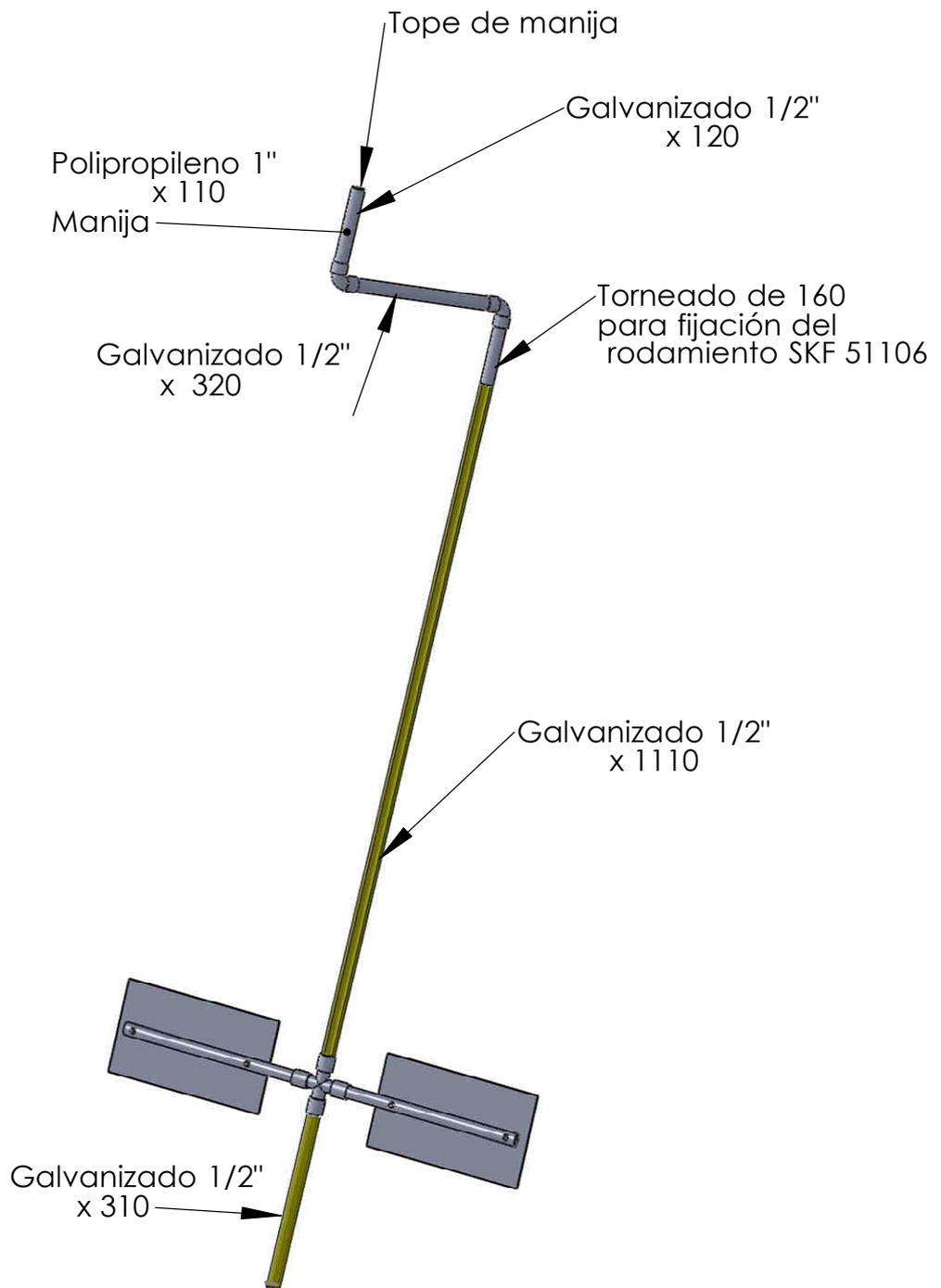


Armar dentro del tanque de manera que los caños de 458 queden apretados contra la pared del tanque

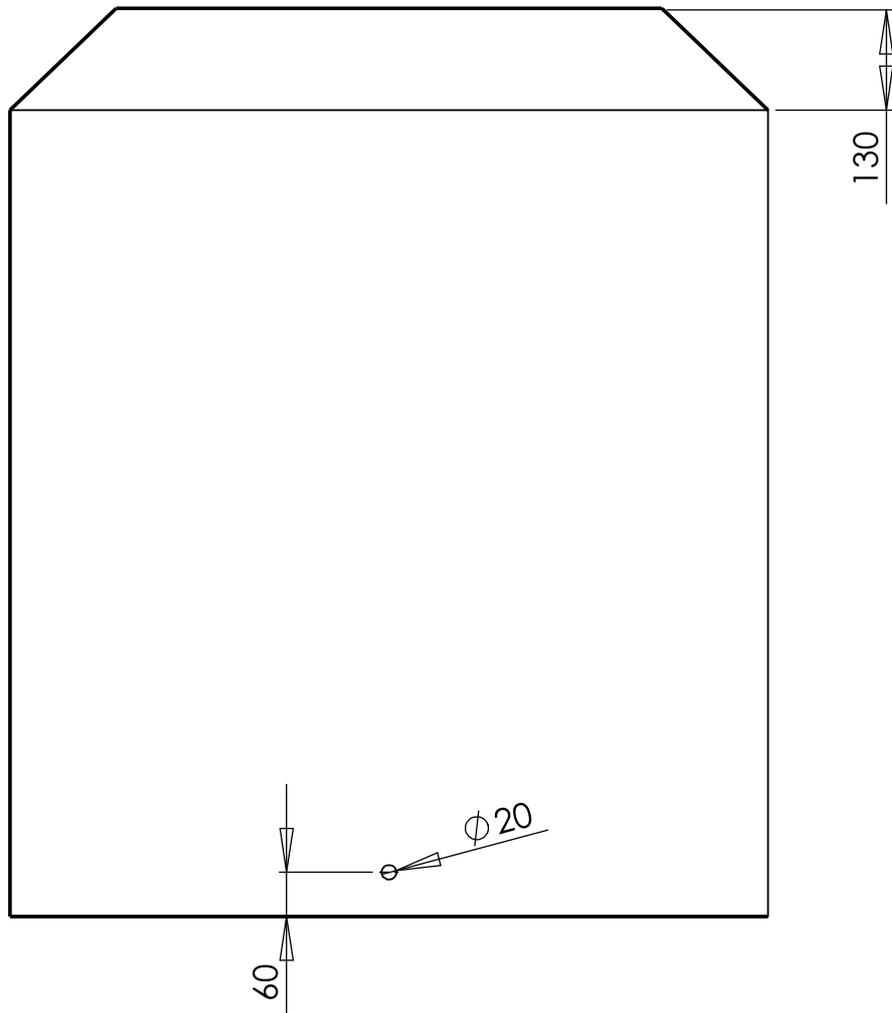
	Asignación	Fecha	Nombre	INTA Instituto de Ingeniería Rural E.E.A Oliveros
	Dibujó		Florean R	
	Revisó		Venturelli L	
	Aprobó		Huerga I	
ESCALA:	Título			Plano Mezclador
A4	Biodigestor Familiar			Fijación al tanque
MATERIAL:				Nº: 2.1



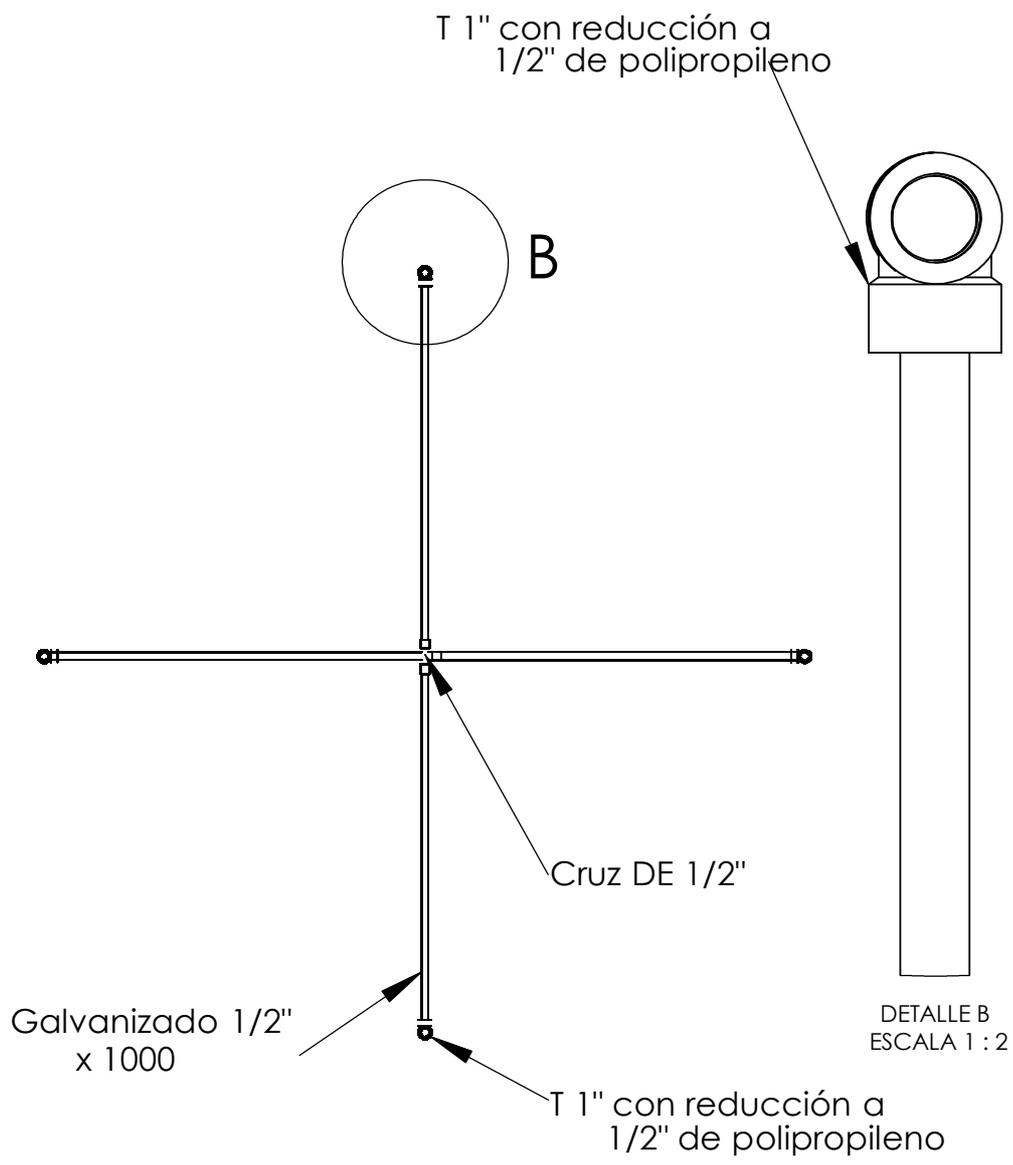
	Asignación	Fecha	Nombre		INTA Instituto de Ingeniería Rural E.E.A Oliveros
	Dibujó		Florean R.		
	Revisó		Venturelli L.		
	Aprobó		Hueriga I.		
ESCALA:	Título			Plano	Mezclador Detalle de armado
A4	Biodigestor Familiar				
MATERIAL:				Nº: 2.2	



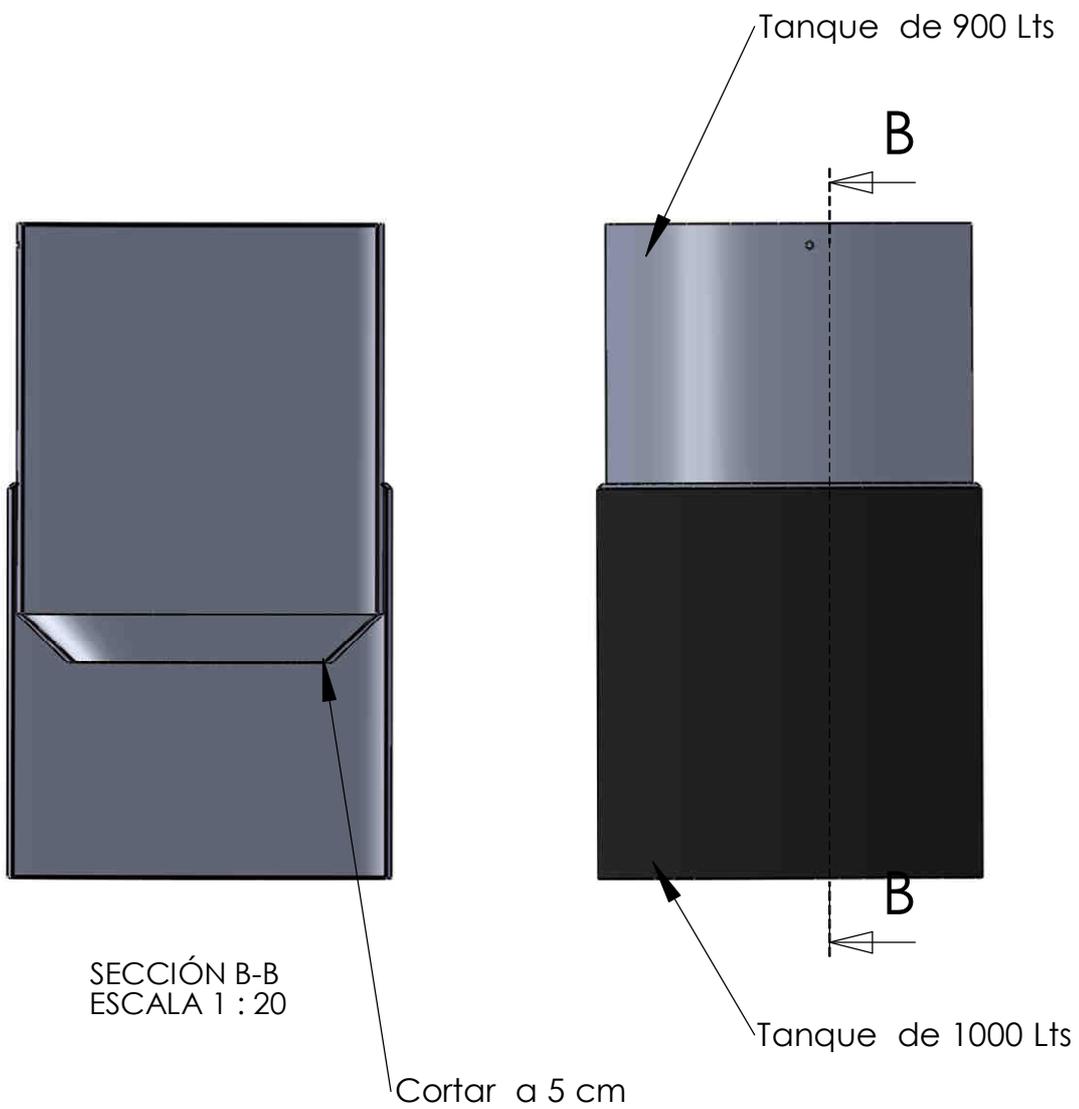
	Asignación	Fecha	Nombre		INTA Instituto de Ingeniería Rural E.E.A Oliveros
	Dibujó		Florean R		
	Revisó		Venturelli L		
	Aprobó		Huerga I		
	ESCALA:	Título			Plano
	A4	Biodigestor Familiar			Mezclador Detalle de montaje
	MATERIAL:				



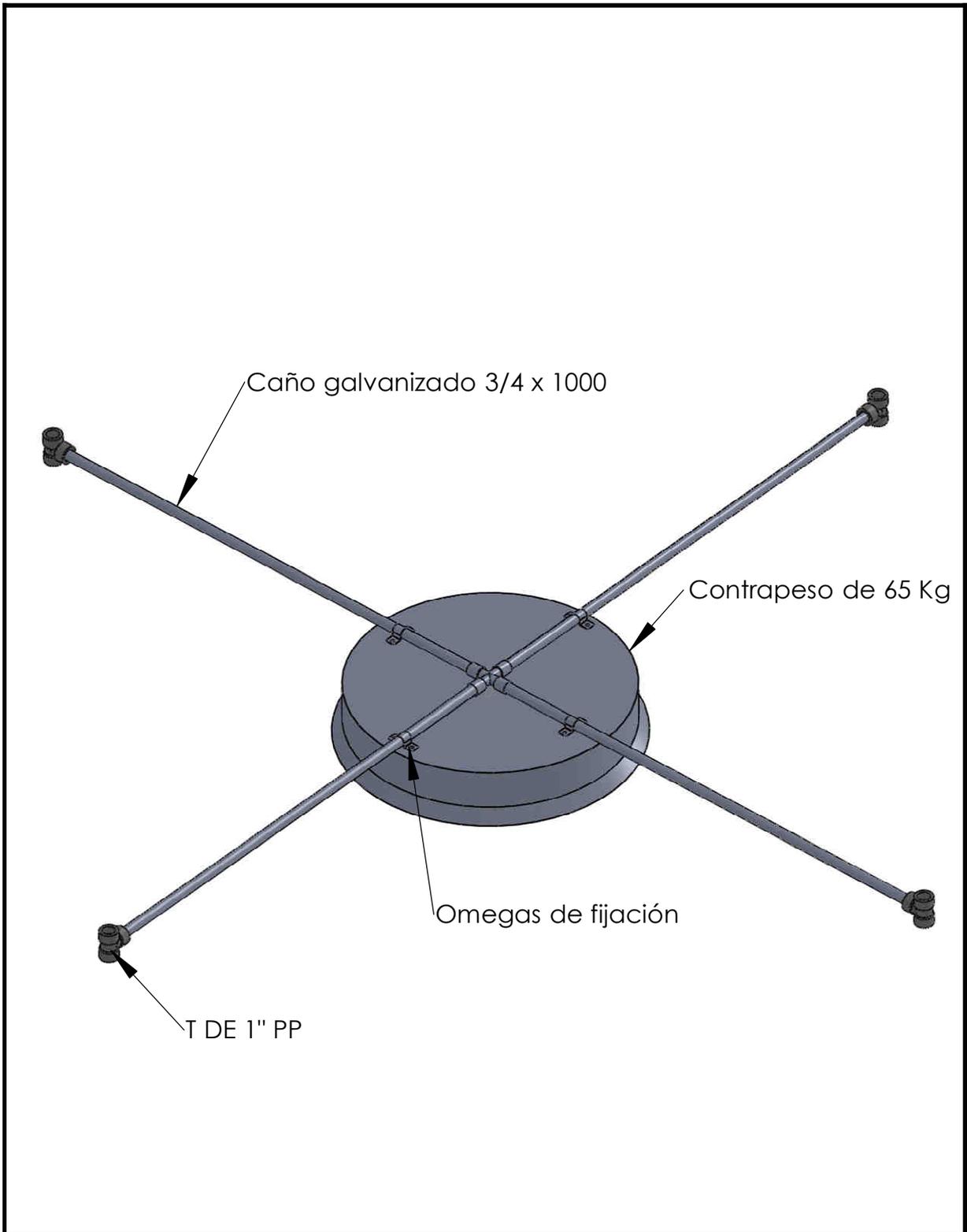
	Asignación	Fecha	Nombre		INTA Instituto de Ingeniería Rural E.E.A Oliveros
	Dibujó		Florean R		
	Revisó		Venturelli L		
	Aprobó		Huerga I		
ESCALA:	Titulo			Plano Tanque Eternit 960 Lts Mecanizado de campana	
A4	Biodigestor Familiar				
MATERIAL:					
					Nº: 3.1



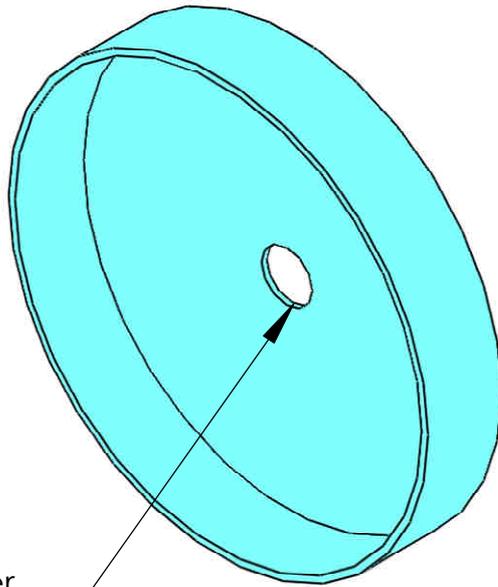
	Asignación	Fecha	Nombre		INTA Instituto de Ingeniería Rural E.E.A Oliveros
	Dibujó		Florean R		
	Revisó		Venturelli L		
	Aprobó		Huerga I		
ESCALA:	Titulo			Plano Guías de tapa Detalle de montaje	
A4	Biodigestor Familiar				
MATERIAL:				Nº: 3.2 a	



	Asignación	Fecha	Nombre		INTA Instituto de Ingeniería Rural E.E.A Oliveros
	Dibujó		Florean R		
	Revisó		Venturelli L		
	Aprobó		Huerga I		
ESCALA:	Título			Plano Gasómetro Detalle de montaje	
A4	Biodigestor Familiar				
MATERIAL: Polietileno 2 capas					
					Nº: 3.2b

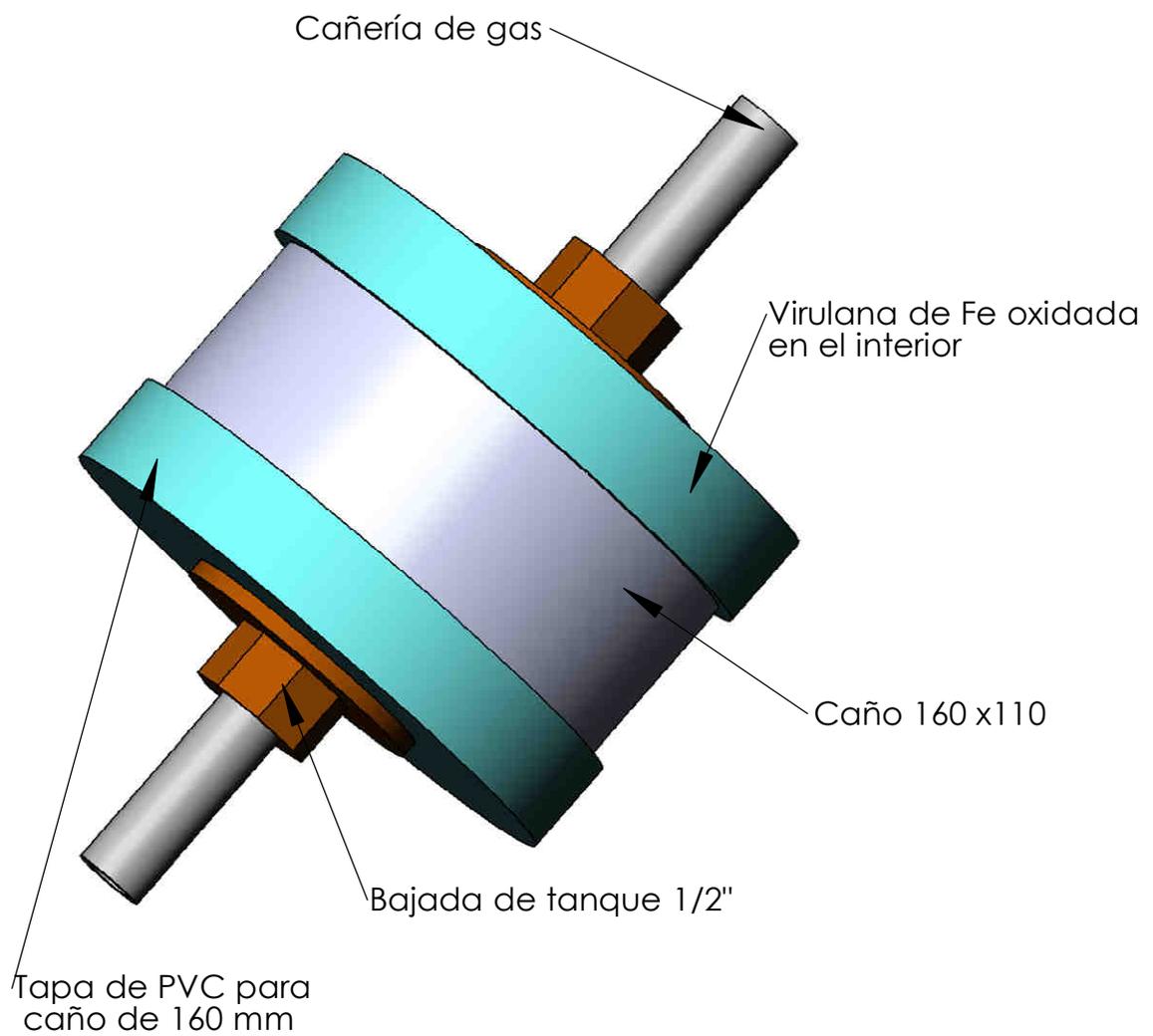


	Asignación	Fecha	Nombre	INTA Instituto de Ingeniería Rural E.E.A Oliveros
	Dibujó		Florean R	
	Revisó		Venturelli L	
	Aprobó		Huerga I.	
	ESCALA:	Título		Plano
	A4	Biodigestor Familiar		Contrapeso y guías de desplazamiento vertical
	MATERIAL:			Nº: 3.2 c

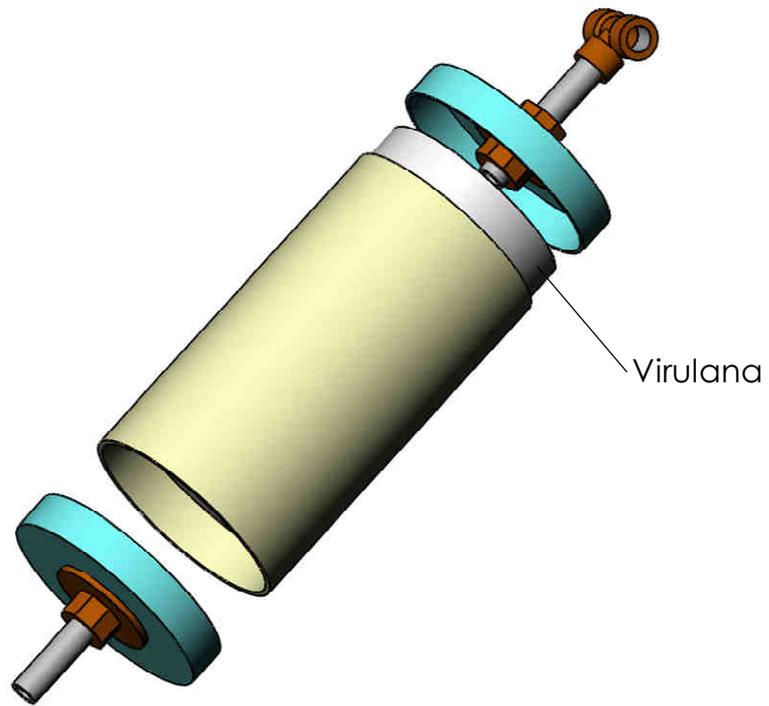


D 20 hacer con mecha de copa

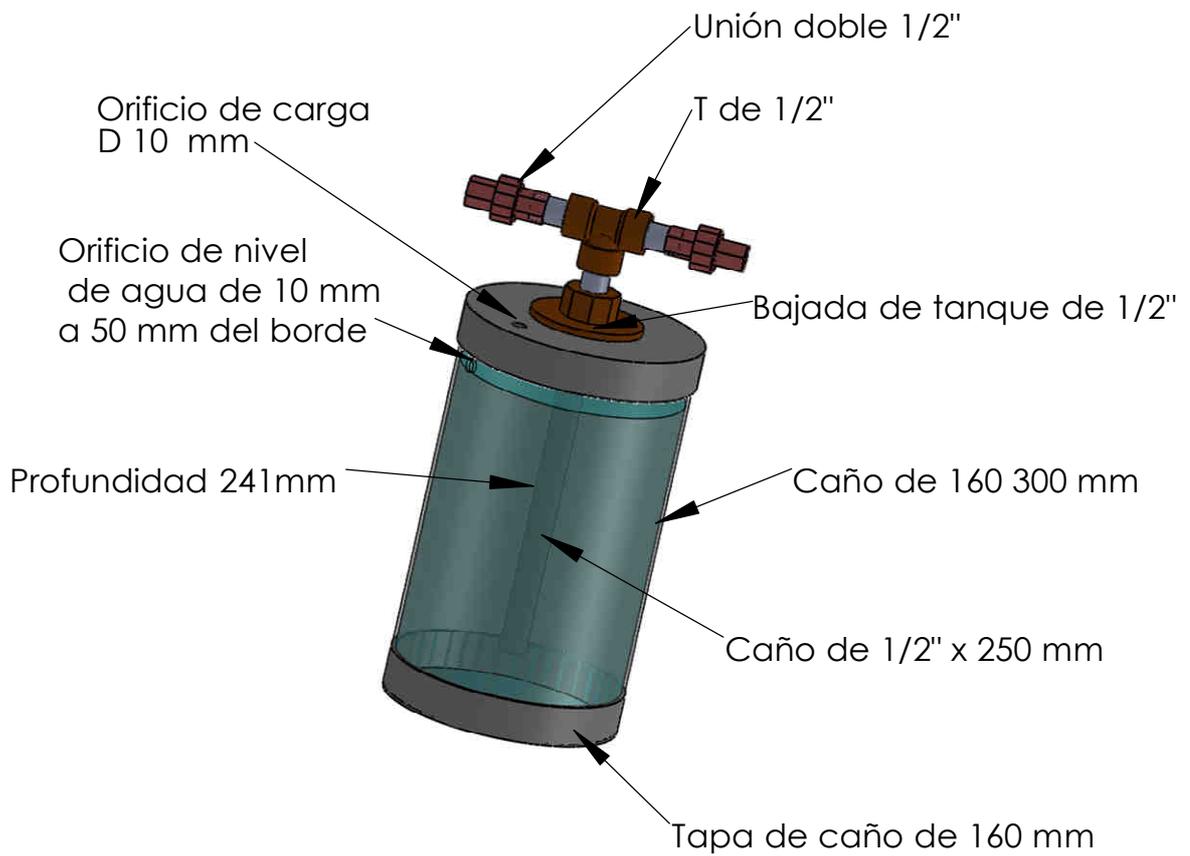
	Asignación	Fecha	Nombre		INTA Instituto de Ingeniería Rural E.E.A Oliveros
	Dibujó		Florean R		
	Revisó		Venturelli L		
	Aprobó		Huerga I		
	ESCALA:	Título			Plano
	A4	Biodigestor Familiar			Tapa de filtro sulfhídrico
	MATERIAL:				



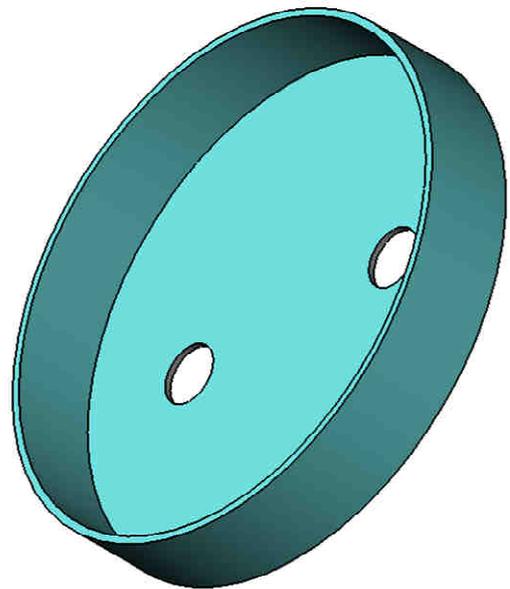
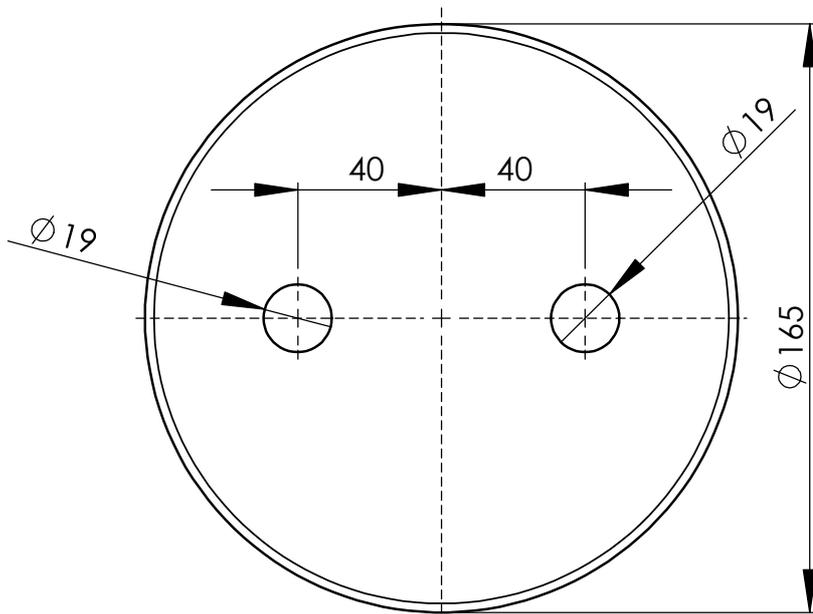
	Asignación	Fecha	Nombre		INTA Instituto de Ingeniería Rural E.E.A Oliveros
	Dibujó		Florean R		
	Revisó		Venturelli L		
	Aprobó		Huerga I		
ESCALA:	Título			Plano Filtro de SH 2 Detalles del montaje	
A4	Biodigestor Familiar				
MATERIAL:					
					Nº: 4.1b



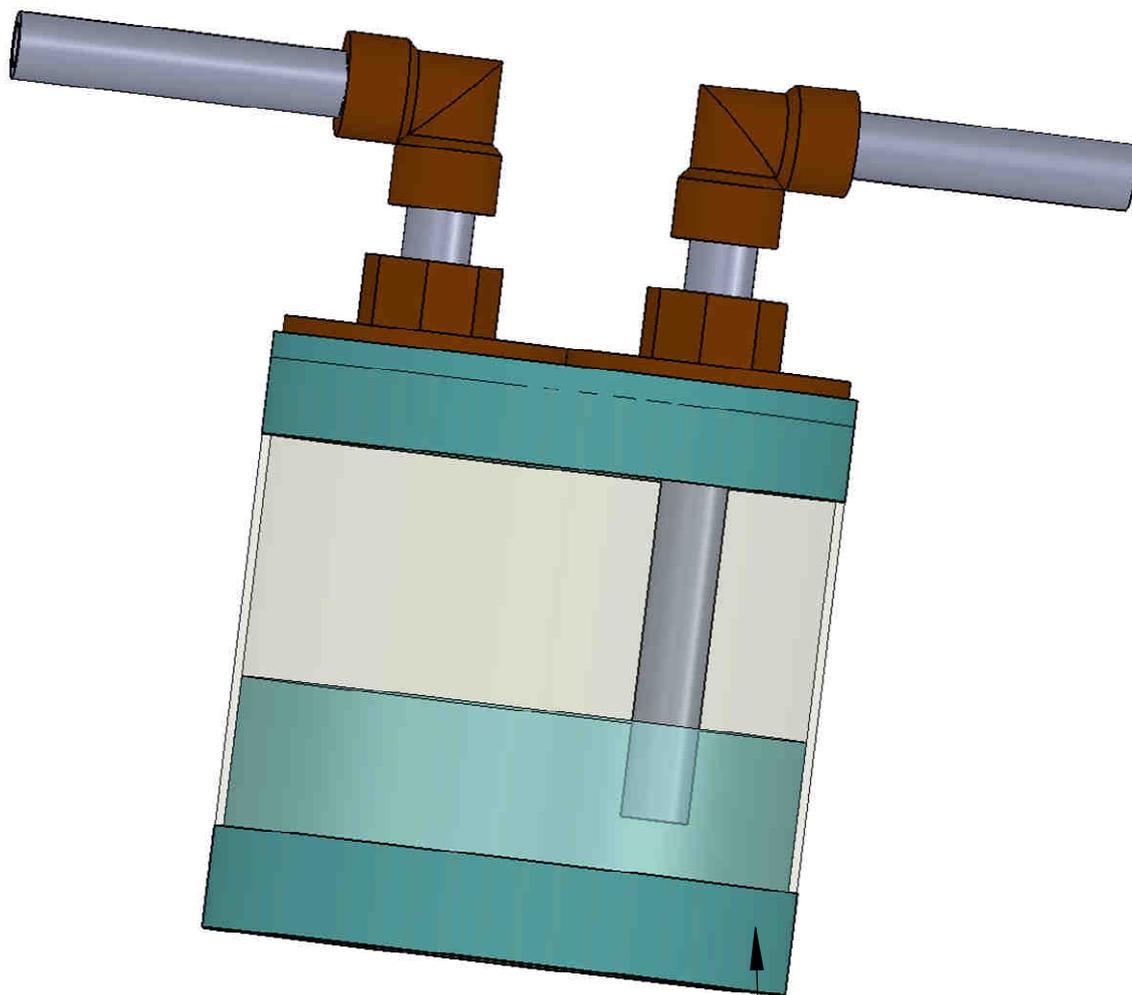
	Asignación	Fecha	Nombre		INTA Instituto de Ingeniería Rural E.E.A Oliveros
	Dibujó		Florean R		
	Revisó		Venturelli L		
	Aprobó		Huerga I		
	ESCALA:	Título Biodigestor Familiar			Plano
	A4				Filtro sulfhídrico Detalle de armado
	MATERIAL:				Nº: 4.1 c



	Asignación	Fecha	Nombre		INTA Instituto de Ingeniería Rural E.E.A Oliveros
	Dibujó		Florean R		
	Revisó		Venturelli L		
	Aprobó		Huerga I		
	ESCALA:	Título			Plano
	A4	Biodigestor Familiar			Trampa de agua Detalles del montaje
	MATERIAL:				

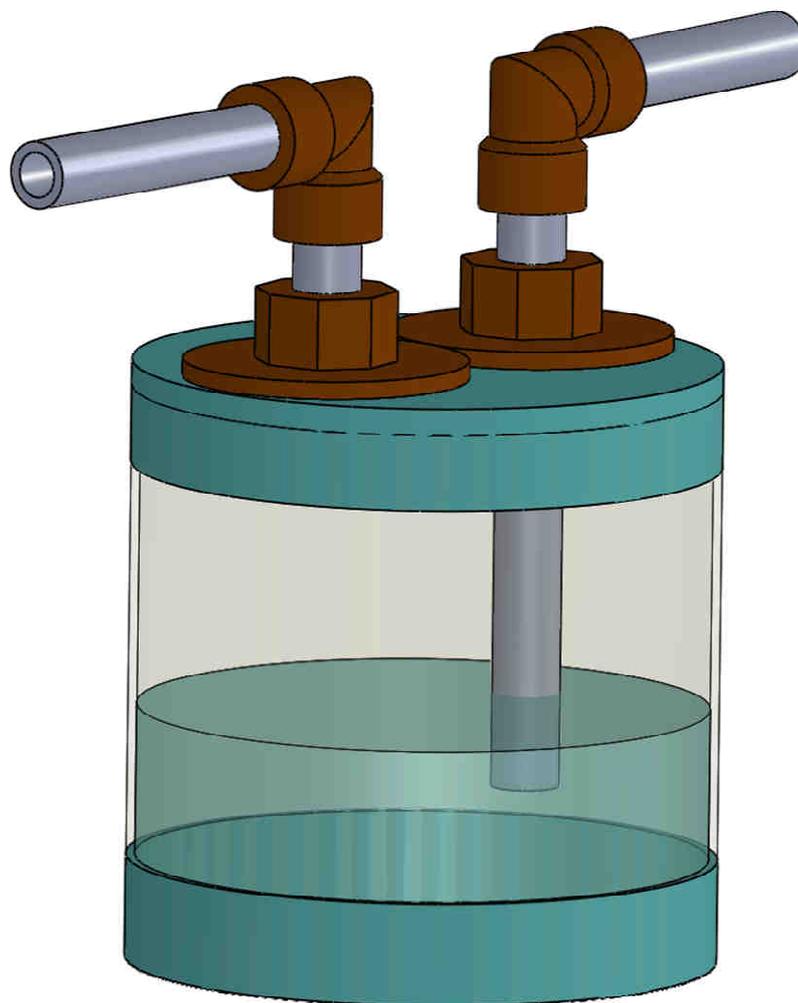


	Asignación	Fecha	Nombre	INTA Instituto de Ingeniería Rural E.E.A Oliveros
	Dibujó		Florean R	
	Revisó		Venturelli L	
	Aprobó		Huerga I	
ESCALA:	Título			Plano
A4	Biodigestor Familiar			Trampa de llama
MATERIAL: PVC estandar de agua				



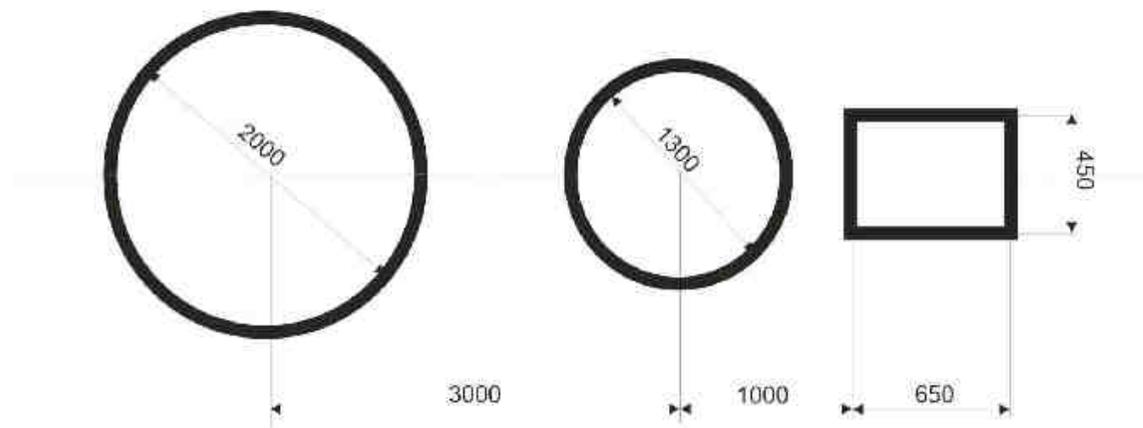
Cargar 70 mm de agua

	Asignación	Fecha	Nombre	Eficiencia energética y energías renovables apropiadas para la agricultura familiar y desarrollo rural	INTA Instituto de Ingeniería Rural E.E.A Oliveros
	Dibujó		Florean R		
	Revisó		Venturelli L		
	Aprobó		Huerga I		
ESCALA:	Título			Plano	Trampa de llama
A4	Biodigestor Familiar			Detalle de armado	
MATERIAL:				N° : 6.2	

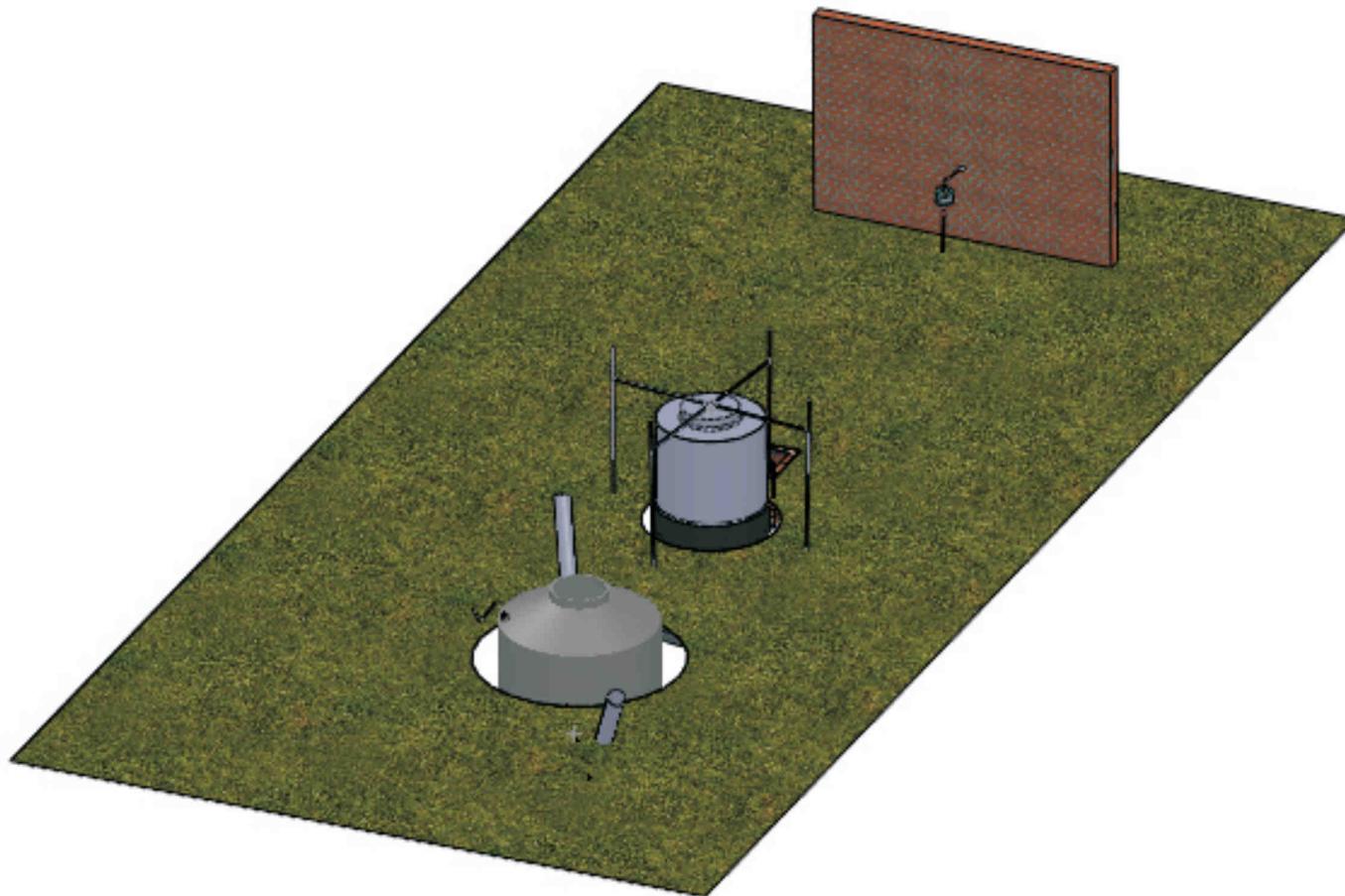


	Asignación	Fecha	Nombre	INTA Instituto de Ingeniería Rural E.E.A Oliveros
	Dibujó		Florean R	
	Revisó		Venturelli L	
	Aprobó		Huerga I	
ESCALA	Título			Plano
A4	Biodigestor Familiar			Trampa de llama
MATERIAL:				Nº : 6.3

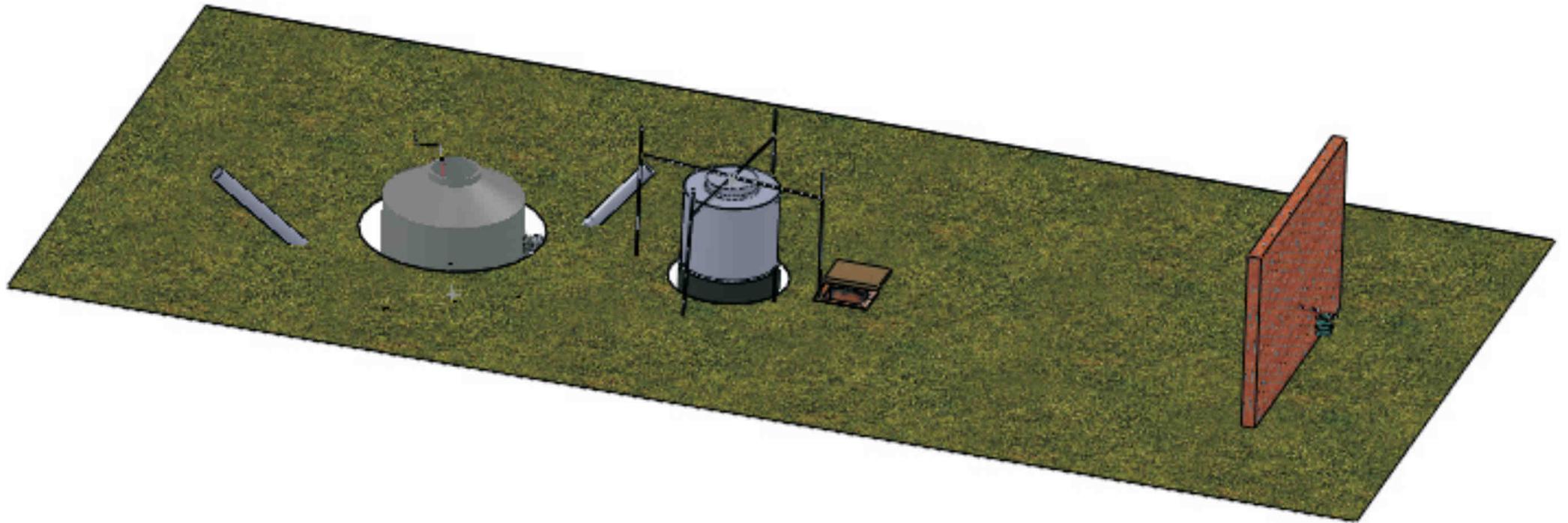
Diámetros y distancia entre pozos



Asignación	Fecha	Nombre		INTA Instituto de Ingeniería Rural E. E. A. Oliveros
Dibujó		Floreán R.		
Revisó		Venturelli L.		
Aprobó		Huerga I.		
	Biodigestor Familiar			Planta Medidas de construcción
				Plano 7.1



	Asignación	Fecha	Nombre	<p style="text-align: center;">INTA Instituto de Ingeniería Rural E.E.A Oliveros</p>
	Dibujó		Florean R	
	Revisó		Venturelli L	
	Aprobó		Huerga I	
	Biodigestor Familiar			Planta Vista aérea 1
				Plano7.3



	Asignación	Fecha	Nombre	INTA Instituto de Ingeniería Rural E.E.A Oliveros
	Dibujó		Floean R	
	Revisó		Venturelli L	
	Aprobó		Huerga I	
			Biodigestor Familiar	Planta Vista aérea 2
				Plano 7.4

ANEXO II Materiales Utilizados en la construcción.

Importante: La cantidad de materiales detalladas y el costo corresponden a la Experiencia realizada en la Escuela N° 6253. En éste caso, se busca que el lector tenga una idea estimada de los montos para implementar un biodigestor de estas características. No obstante, deberá realizar su propio presupuesto a la hora de proyectar un biodigestor. Los precios son del año 2011

Pieza	Parte del equipo	Cantidad	Costo Unitario	Costo Total
Tanque plástico tricapa 2500 l	Reactor	1	\$ 1.400,0	\$ 1.400,0
Tanque 1000 l bicapa	Gasómetro	1	\$ 907,5	\$ 907,5
Tanque 1100 l bicapa	Gasómetro	1	\$ 951,0	\$ 951,0
TE, reducciones y accesorios PP para guías	Gasómetro	4	\$ 5,3	\$ 21,0
Caño galvanizado de 1/2"	Gasómetro	4	\$ 21,8	\$ 87,2
Cemento (bolsas x50 kg) y arena	Gasómetro	1	\$ 50,0	\$ 50,0
Cruz 1/2" PP para guías	Gasómetro	1	\$ 8,5	\$ 8,5
Omegas para fijación de guías en gasómetro	Gasómetro	4	\$ 3,0	\$ 12,0
Tornillos y tarugos para fijación de omegas	Gasómetro	8	\$ 2,0	\$ 16,0
Caño polipropileno de 1/2" por metros	Gasómetro	4	\$ 35,0	\$ 140,0
Caño PVC 160 mm, serie fecal en metros	Ingreso residuos/egreso efluente	4	\$ 38,6	\$ 154,4
Bridas de PVC en 160 mm	Ingreso residuos/egreso efluente	2	\$ 126,0	\$ 252,0
Goma elástica usada de auto	Ingreso residuos/egreso efluente	2	\$ 10,0	\$ 20,0
Curva PVC 45° 160 mm M-H	Ingreso residuos/egreso efluente	2	\$ 98,0	\$ 196,0
Bulones 3/4 x 2.1/2 USS BH por tn	Ingreso residuos/egreso efluente	0,16	\$ 666,00	\$ 106,56
Buje reducción 160 mm a 200 mm en PVC	Ingreso residuos/egreso efluente	1	\$ 38,00	\$ 38,00
Bulones para sellado de tapa	Sellado de tapa	8	\$ 2,00	\$ 16,00
1m2 de Nylon blanco para sellado	Sellado de tapa	1	\$ 15,00	\$ 15,00
brida PP 1/2" con arandela de goma y rosca	Cañería de gas a gasómetro	2	\$ 5,0	\$ 10,0
Codo polipropileno de 1/2" H-H	Cañería de gas a gasómetro	1	\$ 1,5	\$ 1,5
Caño polipropileno de 1/2" por metros	Cañería de gas a gasómetro	5	\$ 3,0	\$ 15,0
Llave esférica 1/2" en polipropileno	Cañería de gas a gasómetro	1	\$ 15,0	\$ 15,0
TE 1/2" en polipropileno	Cañería de gas a gasómetro	2	\$ 1,6	\$ 3,2
Conector recto p/ manguera c/ rosca 1/2" M	Cañería de gas a gasómetro	3	\$ 2,0	\$ 6,0
Unión doble H-H 1/2" en polipropileno	Cañería de gas a gasómetro	1	\$ 5,0	\$ 5,0
Manguera plástica cristal, metros	Cañería de gas a gasómetro	4	\$ 10,0	\$ 40,0
brida PP 1/2" con arandela de goma y rosca	Agitador	1	\$ 7,0	\$ 7,0
Caño polipropileno 1", en metros	Agitador	2	\$ 10,0	\$ 20,0
Cupla H-H en polipropileno 1"	Agitador	1	\$ 2,0	\$ 2,0
Rodamiento axial COD SKF 51106	Agitador	1	\$ 26,0	\$ 26,0
Caño galvanizado de 1/2"	Agitador	3	\$ 21,8	\$ 65,5
Codo 90° EPOXI de 1/2" H-H	Agitador	1	\$ 5,0	\$ 5,0
Cruz EPOXI de 1/2"	Agitador	1	\$ 28,2	\$ 28,2
Cupla EPOXI de 1"	Agitador	1	\$ 3,4	\$ 3,4
Caño polipropileno 3/4", en metros	Agitador	4	\$ 6,3	\$ 25,2
Chapa AISI 340, en metros cuadrados (si la lámina es de 1m2, comprar media)	Agitador	0,1	\$ 180,0	\$ 18,0
Te 3/4" EPOXI	Agitador	1	\$ 21,4	\$ 21,4
Cupla polipropileno H-H 3/4"	Agitador	2	\$ 1,5	\$ 3,0

Buje de reducción de 1" a 3/4"	Agitador	2	\$ 2,0	\$ 4,0
TE 1/2" en polipropileno	Trampa de agua	1	\$ 1,6	\$ 1,6
Caño PVC 160 mm, serie fecal en metros	Trampa de agua	0,4	\$ 23,2	\$ 9,3
Caño polipropileno 1/2" en metros	Trampa de agua	0,4	\$ 38,6	\$ 15,4
Tapas para caño de PVC 160 mm	Trampa de agua	2	\$ 20,2	\$ 40,5
Conector recto para manguera con rosca 1/2" macho	Trampa de agua	2	\$ 2,0	\$ 4,0
Caño PVC 110 mm, serie fecal, en metros	Filtro sulfhídrico	0,5	\$ 24,6	\$ 12,3
brida pp 1/2" con arandela de goma y rosca	Filtro sulfhídrico	2	\$ 5,0	\$ 10,0
Tapas para caño de PVC 110 mm	Filtro sulfhídrico	2	\$ 20,2	\$ 40,4
Viruta de hierro sin oxidar	Filtro sulfhídrico	1	\$ 30,0	\$ 30,0
Cupla polipropileno H-H 1/2"	Filtro sulfhídrico	2	\$ 2,0	\$ 4,0
Unión doble H-H 1/2" en polipropileno	Filtro sulfhídrico	2	\$ 5,0	\$ 10,0
Caño PVC 160 mm diámetro, serie F fecal, en metros	Trampa de llama	0,18	\$ 38,6	\$ 6,9
brida polipropileno 1/2" con arandela de goma y rosca	Trampa de llama	2	\$ 5,0	\$ 10,0
Codo polipropileno de 1/2" H-H	Trampa de llama	2	\$ 1,5	\$ 3,0
Conector recto para manguera con rosca 1/2" macho	Trampa de llama	2	\$ 2,0	\$ 4,0
Caño polipropileno 1/2" en metros	Trampa de llama	0,05	\$ 35,0	\$ 1,8
Llave esférica 1/2" en polipropileno	Cañería de gas a quemador	1	\$ 15,0	\$ 15,0
Conector recto para manguera con rosca 1/2" macho	Cañería de gas a quemador	1	\$ 2,0	\$ 2,0
Codo polipropileno de 1/2" H-H	Cañería de gas a quemador	2	\$ 1,5	\$ 3,0
Válvula de una sola vía	Cañería de gas a quemador	1	\$ 18,0	\$ 18,0
Codo 1/2" EPOXI	Cañería de gas a quemador	5	\$ 5,0	\$ 25,0
Niple 1/2" x 15 cm EPOXI	Cañería de gas a quemador	2	\$ 9,3	\$ 18,7
Llave de paso para artefacto de gas	Cañería de gas a quemador	1	\$ 18,2	\$ 18,2
Manguera negra 1/2" por metros	Cañería de gas a quemador	30	\$ 93,0	\$ 27,9
Conector recto para manguera con rosca 1/2" macho	Cañería de gas a quemador	2	\$ 2,0	\$ 4,0
Unión doble H-H 1/2" en polipropileno	Cañería de gas a quemador	2	\$ 5,0	\$ 10,0
Omegas para fijación de caño de PVC a pared	Cañería de gas a quemador. Fijación trampa de SH2	2	\$ 7,8	\$ 15,6
Caño PVC 63 mm serie Fecal p	Cañería de gas a quemador. Protección manguera negra	8	\$ 19,5	\$ 156,0
Mechero de mesada con 1 mechero	Quemador	1	\$ 482,0	\$ 482,0
Cemento (bolsas x50 kg)	Obra civil	6	\$ 45,0	\$ 270,0
Arena (x m3)	Obra civil	0,5	\$ 74,0	\$ 37,0
Piedra (x m3)	Obra civil	0,25	\$ 360,0	\$ 90,0
Ladrillos (x unidad)	Obra civil	100	\$ 0,9	\$ 87,0
TOTAL				\$ 6.172,4

ANEXO III Herramientas manuales utilizadas

Herramienta	Foto	Herramienta	Foto	Herramienta	Foto
Amoladora de mano		Cinta métrica		Mecha de copa de 20 mm	
Terraja para roscar		Pistola para sellador-adhesivos		Arco de sierra	
Agujereadora eléctrica		Mechas varias		Llave de caño	
Pico de loro		Llave ajustable		Pinza	

Caladora		Juego de llaves		Cuchara y balde	
Tijera de podar		Remachadora		Nivel	
Destornilladores planos y estrella					

ANEXO IV Selladores, adhesivos y pegamentos

Tipo	Aplicación	Foto
Sellador de silicona	Tornillos, salida de tanque, tapa de biodigestor, bulones de las bridas	
Sellador butílico	Tornillos, salida de tanque, tapa de biodigestor, bulones de las bridas	
Sellaroscas	Conexiones roscadas (polipropileno), conexiones de mangueras, uniones.	
Cinta Teflón	Uniones roscadas	
Cemento PVC	Conexiones de caños y accesorios de PVC (curvas, caños, bridas)	

ANEXO V Técnicas analíticas de monitoreo

El análisis de FOS/TAC¹³ determinar el cociente de la concentración ácida y la capacidad compensadora del sustrato de fermentación. FOS significa ácidos orgánicos volátiles y se mide en mg Ac. Acético/l. TAC significa carbonato inorgánico total (capacidad de compensación alcalina), y se mide en mg CaCO₃/l.

La relación FOS/TAC está reconocida desde hace tiempo como valor-guía para evaluar los procesos de fermentación. Permite detectar a tiempo los problemas del proceso, hasta el inminente vuelco de la fase biológica del digester, con lo que pueden tomarse contramedidas inmediatamente.

En la práctica, una relación FOS/TAC de 0,3 a 0,4 es normal, aunque cada biodigester tiene su propio valor óptimo, el cual sólo puede determinarse mediante una observación a largo plazo y controles regulares, puesto que existe una fuerte dependencia del sustrato.

A continuación se describe la técnica propuesta:

1. Tomar una muestra representativa del sustrato de fermentación.
2. Eliminar todo componente grueso de la muestra. Es crucial que la preparación de la muestra (filtro, colador de té, colador de cocina o centrífuga) se efectúe siempre de la misma manera.
3. Pesar 20 ml de sustrato y, si fuera necesario, llenar de agua destilada.
4. Colocar la muestra sobre un agitador magnético y homogeneizarla continuamente durante el proceso de valoración.
5. Valoración con 0,1 N H₂SO₄ hasta pH 5; anótese el volumen (ml) de ácido agregado.
6. Valoración con 0,1 N H₂SO₄ hasta pH 4,4; anótese el volumen (ml) de ácido agregado.
7. Calcular el FOS/TAC mediante siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} \text{FOS} &= (\text{Vol H}_2\text{SO}_4 \text{ medido desde el inicio hasta pH 5}) \times 250 \\ \text{TAC} &= (\text{Vol H}_2\text{SO}_4 \text{ medido desde pH 5 a pH 4.4}) \times 500 \end{aligned}$$

Dicha técnica es similar a la propuesta por Jenkins et. al (1983), y si bien los puntos de titulación son diferentes (los obtiene a pH 5.75 y 4.3), el concepto es el mismo.

¹³ Tomado de "Control orientado de plantas de biogás con la ayuda de FOS/TAC" Ulrich Lossie; Petra Pütz; HACH LANGE Laboratorios; 2009

Biodigestores de Pequeña Escala

Un análisis práctico sobre su factibilidad

Autores:

Ing. Amb. Ignacio Huerga

Estación Experimental Agropecuaria INTA Oliveros – Centro Regional Santa Fe.

Ing. Amb. Mariano Butti

Instituto de Ingeniería Rural – Centro de Investigación de Agroindustria – Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias

Ing. Agr. Leonardo Venturelli

Instituto de Ingeniería Rural – Centro de Investigación de Agroindustria – Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias

Primera Edición

Estación Experimental Agropecuaria INTA Oliveros – Centro Regional Santa Fe. Ruta 11 km 353 Oliveros (2206) Provincia de Santa Fe. <http://inta.gob.ar/unidades/612000>

Instituto de Ingeniería Rural – Centro de Investigación de Agroindustria – Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias

Estación Experimental Agropecuaria INTA Oliveros – Centro Regional Santa Fe.

Noviembre de 2013

Contactos

EEA Oliveros INTA

(03476) 498010

Ing. Amb. Msc Ignacio Huerga (ihuerga@correo.inta.gov.ar)

Instituto de Ingeniería Rural. CIA. INTA

(011) 4665 0450

Ing. Amb. Mariano Butti (mbutti@cni.inta.gov.ar)

Tec. Rodolfo Florean (rflorean@cni.inta.gov.ar)

Ing. Agr. Leonardo Venturelli (lventurelli@cni.inta.gov.ar)

Escuela Rural José de San Martín nº6253

Jorge Pardo (jorgepardo_01@hotmail.com)

Área de Energías Renovables. Secretaría de Espacios Públicos.

Municipalidad de Venado Tuerto

Lorenzo Perez (lorenzopperez@gmail.com)



Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria



Ministerio de Agricultura,
Ganadería y Pesca
Presidencia de la Nación