

# Coproctor: un diseño para la industrialización de biodigestores rurales

COPROCTOR: A DESIGN FOR THE INDUSTRIALIZATION OF RURAL BIO DIGESTERS

Artículo recibido el 12 de septiembre de 2013 y aprobado el 13 de diciembre de 2013

Iconofacto · Vol. 9, Nº 13 / Páginas 9 – 26 / Medellín-Colombia / Julio-diciembre 2013

José José Limongi Pereira Licenciado en Diseño Industrial por la Universidad de Los Andes (ULA), Venezuela. Profesor de Taller, Departamento de Diseño Industrial, Facultad de Arquitectura y Diseño, ULA. Correo electrónico: josejose@ula.ve Universidad de Los Andes, Facultad de Arquitectura y Diseño, Escuela de Diseño Industrial, 2 Piso, Núcleo La Hechicera, Mérida, Edo. Mérida, 5101, Venezuela.

**RESUMEN:** Los sistemas de tratamiento de aguas residuales son esenciales en el control de la contaminación ambiental. Su desarrollo se ha orientado hacia una optimización tecnológica, por medio de la emulación de los procesos que ocurren en la naturaleza. Dentro de estos sistemas se encuentran los biodigestores, que tratan las aguas negras a partir de la degradación orgánica anaerobia, y permiten alcanzar la estabilización completa del material residual, cierto grado de saneamiento del agua tratada, y la obtención de subproductos tales como biogás combustible y fertilizantes orgánicos. Habiéndose registrado la construcción de un biodigestor tipo chino en la comunidad del Km 49 del municipio Alberto Adriani del estado Mérida, Venezuela, se desarrolló un modelo de biodigestor rural estandarizado denominado Coproctor, que incrementa la eficiencia de estos sistemas en términos de fabricación, instalación y funcionamiento, lo que posibilita la industrialización a bajo costo de este tipo de tecnologías. Abordando el producto como un sistema y partiendo de la comparación de soluciones existentes y del uso de un perfil de PVC de producción comercial con características idóneas para este fin, se diseñó el Coproctor con todos sus componentes, incluso un “biofiltro” que incrementa su eficiencia. Este nuevo biodigestor fue puesto a prueba mediante experimentos.

**PALABRAS CLAVE:** biodigestor rural, saneamiento ambiental, estandarización, adaptación tecnológica, diseño industrial.

**ABSTRACT:** Wastewater treatment systems are essential in the control of environmental pollution. Developments in this regard have been directed towards an optimization technology which emulates processes that occur daily in nature. Within these systems are digesters that treat wastewater from anaerobic organic degradation processes of various kinds, making possible to achieve a complete stabilization of waste material, a degree of consolidation in the treated water and the generation of products such as fuel bio-gas and fertilizers. Having recorded the construction of a "Chinese" type biodigester in a community located at Kilometer 49 of the Municipality of Alberto Adriani in Merida State, Venezuela, a standardized model for a rural digester called "COPROCTOR" was developed. This latter increases the efficiency of these systems in terms of fabrication, installation and operation, propounding the industrialization of this kind of technologies. Addressing the development of the product as a system and stemming from a comparison of existing solutions and the use of a PVC commercial profile suitable for this purpose, "COPROCTOR" with all its components was designed, including a bio-filter to increase its efficiency. This new bio-digester was tested through experiments.

**KEY WORDS:** rural bio-digester, environmental sanitation, standardization, technological adaptation, industrial design.

### INTRODUCCIÓN

Un *biodigester* puede definirse como un procesador anaerobio de aguas residuales ubicado por debajo del nivel del suelo -al igual que los pozos sépticos- pero que, a diferencia de éstos, en su interior la materia orgánica, de origen animal y vegetal, es descompuesta por la acción de bacterias presentes en las excretas. De este proceso se obtiene como resultado un líquido libre de agentes patógenos y rico en compuestos químicos (beneficiosos, como abono orgánico) y gas metano, el cual es liberado durante la reacción (Limongi, 2003).

Este trabajo, que se llevó a cabo como parte del proyecto de grado conducente al título de Licenciado en Diseño Industrial del autor, considera la adaptación tecnológica como medio para lograr la factibilidad y rentabilidad productiva por medio del principio de la biodigestión anaerobia como alternativa de saneamiento ambiental (OPS/OMS, 2001).

En Venezuela, es la primera vez que se emprende -desde el enfoque del diseño industrial- la realización de un producto como *Coproctor*, un modelo novedoso de biodigester rural susceptible de ser producido de manera semi-industrial, de fácil manejo y ensamblaje, con componentes estanda-

Este trabajo, considera la adaptación tecnológica como medio para lograr la factibilidad y rentabilidad productiva por medio del principio de la biodigestión anaerobia como alternativa de saneamiento ambiental

rizados que pueden ser comprendidos y empleados con facilidad por un usuario no especializado en esta materia.

Para ello, se determinaron una serie de parámetros que permitieran simplificar, entre otros aspectos, el cálculo de la capacidad del reactor en función de las condiciones del medio rural venezolano; también se estableció el grado de eficiencia de un biodigestor rural en tres importantes renglones, que funcionaron como pautas de análisis y diseño del producto, a saber:

1. *Eficiencia en la construcción*: que incluye el costo de los componentes, facilidad de ensamblaje e instalación, calificación de la mano de obra y la posibilidad de instalación en diversos ambientes y condiciones.
2. *Eficiencia en la capacidad de procesamiento*: es decir, el tiempo que tarda en degradar el material y sanear el agua, la cantidad producida de gas metano y la calidad del agua obtenida.
3. *Eficiencia en el impacto sociocultural*: lo que implica la generación de cambios positivos en la actitud de la comunidad hacia el medioambiente. (Limongi, 2003).

Como parte de la investigación de este caso de estudio, se pudo detectar que, en el estado Mérida existen varios tipos de modelos funcionales de estas tecnologías rurales, específicamente en las comunidades de El Filo, Chaguará, Mérida y El Vigía. Durante la construcción de este último reactor, se determinaron una serie de deficiencias e inconvenientes, desde el punto de vista de su cálculo y construcción, que deben realizarse por ingenieros con conocimientos especializados. También se pudo apreciar que buena parte de estos inconvenientes se deben al exceso del lenguaje técnico y la comunicación entre quienes conocen la tecnología –los “expertos”– y quienes deben aprehenderla e implementarla, para luego diseminarla –la comunidad–. Es por estas y otras razones que estas alternativas resultan, al final, poco viables para la autogestión de las comunidades rurales nacionales.

Por otra parte, en esta misma labor de observación participativa, se determinó que la falta de un estudio previo de los suelos y una planificación teórica no contextualizada, contribuyen a incrementar estas dificultades y a hacer la solución muy com-



pleja y costosa, lo que repercute negativamente en su difusión en el medio rural nacional como alternativa viable de saneamiento ambiental.

Otro determinante para el desarrollo del proyecto en esta comunidad en particular, tiene que ver con el hecho de que la población se asentó sobre un pozo de agua profunda, para aprovecharlo y surtirse de él, puesto que no existen otras

fuentes naturales cercanas. Sin embargo, al no contar con sistemas de tratamientos de aguas negras, todos los desechos, humanos y animales, percolan al mismo pozo del cual consumen su agua; así, los vectores y agentes patógenos están siempre presentes en las comunidades, lo que afecta endémicamente en su mayoría a la población infantil de la zona. A esto se le suma el agravante de que, aun cuando se han desarrollado varios de estos biodigestores en nuestro caso de estudio (comunidades rurales del sur del estado Mérida, Venezuela) no se ha hecho un seguimiento ni la consecuente medición del impacto en el saneamiento ambiental básico que estas tecnologías pueden -y deberían- generar en las colectividades o poblaciones rurales andinas.

Es por ello que, a partir de esta experiencia, se propone el desarrollo de un modelo de biodigestor rural basado en la adaptación de componentes industriales existentes, para generar una solución de diseño que simplifique la labor de cálculo, instalación, funcionamiento y mantenimiento del sistema y logre el saneamiento ambiental de las aguas negras y residuales de nuestras medio rural, y de esta manera proveer una alternativa accesible, viable y factible a las comunidades.

#### METODOLOGÍA

El presente proyecto, un caso de estudio en una comunidad rural, de tipo investigación-acción en el campo del diseño industrial (UPEL, 2006), comprendió la realización de las siguientes etapas:

1. Un estudio de campo, de tipo descriptivo-comparativo, con la finalidad de determinar los principios funcionales, las partes y componentes, así como los aspectos de instalación, funcionamiento y mantenimiento de diferentes modelos de biodigestores existente en el estado Mérida, en Venezuela.
2. La implementación de la observación participativa y la comunicación dialógica para establecer los aspectos técnico-constructivos por abordarse bajo la óptica del diseño de productos para, a partir de ellos, proponer un modelo de sistema de biodigestión funcional, susceptible de ser estandarizable y capaz de ser producido de manera industrial o semi-industrial.
3. Un ensayo de carácter experimental, que implicó la construcción a escala de cuatro modelos experimentales *Coproctor*, en los cuales se

probaron varias alternativas de diseño del biofiltro, para generar un elemento de amplia superficie y reducido volumen, con miras a incrementar el contacto entre bacterias y sustrato, con el mínimo sacrificio de capacidad del contenedor. Esta última fase buscó comparar los cuatro modelos en términos de reducción del tiempo de tratamiento del agua y producción de biogás.

Para abordar la primera fase, se tomaron como muestra de estudio los cinco biodigestores existentes en el estado Mérida y distribuidos en cuatro de sus municipios, lo que permitió establecer la existencia de tres modelos de biodigestor:

- a) El modelo tipo *chino*, la tecnología de mayor difusión en el área de estudio.
- b) El modelo tipo *batch* en un solo caso (en el Km 51)
- c) El modelo experimental tipo *manga de plástico* desmantelado (en El Filo).

Además, se entrevistó a los encargados de realizar las labores de carga, liberación de gas, así como del mantenimiento de estos reactores, para determinar aspectos no óptimos o mejorables en los sistemas en cuestión.

De manera posterior, se determinó, con base en las propuestas de Baquedano (1987), que podían establecerse diversas combinaciones posibles de reactores, con el cruce de las variables de diseño y proceso tal como se expresa en el Cuadro N. 1.

	SEGÚN EL PROCESO	
SEGÚN EL DISEÑO	CONTINUO	DISCONTINUO
VERTICAL	CONTINUO VERTICAL	DISCONTINUO VERTICAL
HORIZONTAL	CONTINUO HORIZONTAL	DISCONTINUO HORIZONTAL

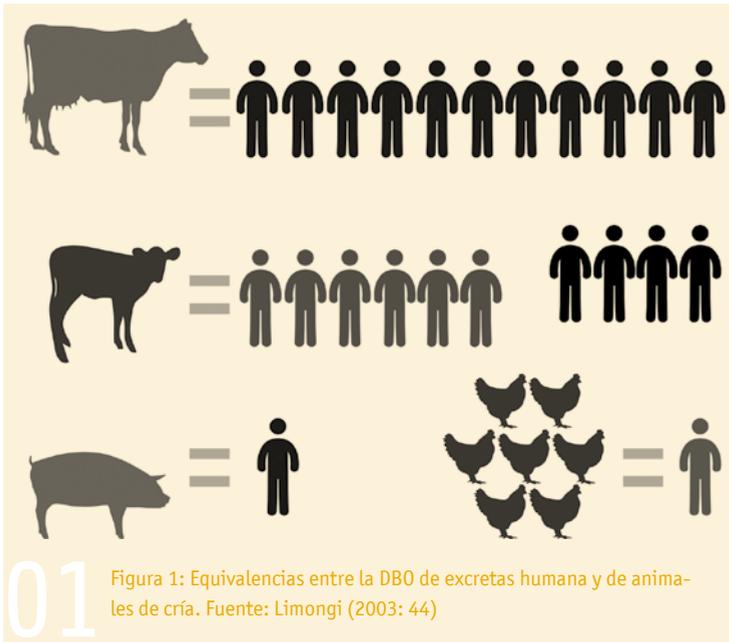
**01** Cuadro N° 1: Tipos de digestores según el cruce de variables de diseño y proceso. Fuente: Limongi (2003: 38).

## Lo interesante de esto es que al combinar las dos variables consideradas se encuentran otras alternativas de configuración del reactor

Lo interesante de esto es que al combinar las dos variables consideradas se encuentran otras alternativas de configuración del reactor, aun cuando de los reactores analizados en la zona, la solución más frecuente –y convencional- pareciera ser el desarrollo de sistemas de biodigestión de configuración vertical. Sin embargo, en la geografía venezolana esta orientación del sistema de tratamiento se enfrenta a dos importantes dificultades: la presencia de suelos rocosos en la zona montañosa del estado, y altos niveles freáticos a escasos centímetros del suelo en la zona llana.

1. Además, se documentó el proceso de construcción de un biodigestor rural tipo *chino* (de diseño vertical), en la comunidad del Km 49 del municipio Alberto Adriani (estado Mérida, Venezuela), con la intención de comprender la tecnología implicada en su cálculo y construcción, y esto permitió detectar una serie de inconvenientes e imprevistos que complejizaron notablemente este proceso, con repercusiones humanas y económicas a los estimados iniciales, como lo fueron la constitución del suelo (arenoso), el nivel freático del mismo, por mencionar algunos.
2. Otro punto del estudio fue la revisión de alternativas de biofiltros, las características en las que se basa su diseño y su relevancia como mecanismo de optimización de la eficiencia del proceso de biodigestión. Para ello, se analizó el modelo *Pal Ring* producido por la Universidad Central de Venezuela (Taylhardat, 1998), con la intención de comprender la importancia de este tipo de elementos para lograr una mayor velocidad de procesamiento del material en descomposición. Así, se logró establecer que el parámetro crucial para el incremento de la eficiencia funcional de un reactor está determinado por una mayor cantidad de superficies de adherencia que requieren las bacterias para realizar el proceso de biodegradación.

A continuación, y con la finalidad de facilitar el cálculo del volumen del reactor, se determinó la necesidad de estandarizar la cantidad de desechos que produce una unidad familiar, y los animales que ésta pudiera incluir. Por ello se propuso, a partir de los postulados de Chantlett (1973), una tabla de equivalencias entre las excretas humanas y de animales de corral, en función de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), tal como se expresa en la Figura 1.

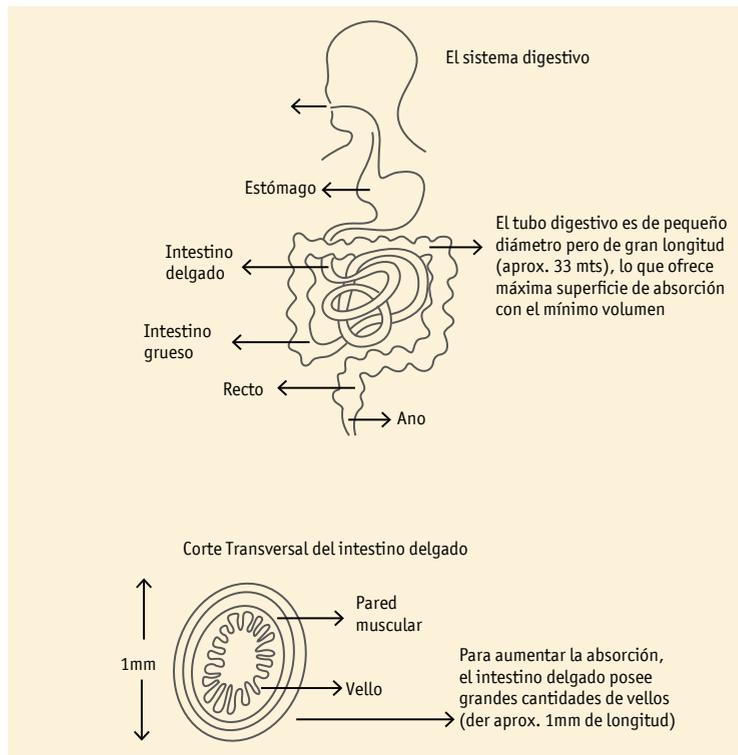


Podemos ver así cómo se puede generar un parámetro fácilmente medible de la calidad del material producido por una unidad familiar rural, teniendo como punto de referencia a una persona adulta. Así, se estableció que, por ejemplo en términos de DBO, el excremento de una vaca equivale a lo producido por 15 personas; y el excremento de una persona es igual a lo generado por 7 aves de corral, aproximadamente. Adicionalmente, se logró determinar que, a partir datos del Instituto Nacional de Estadística de Venezuela (2001), que indica que la cantidad de agua desechada por persona por día (equivalente a 250 litros/día, o 0,250 mts.<sup>3</sup>/día), una unidad familiar rural promedio de 5 integrantes desearían 12050 litros/día, es decir, 1,250 mts.<sup>3</sup>/día. Con estos parámetros establecidos y cuantificados se pudo, en una etapa posterior del proyecto, estandarizar el volumen de excremento producido para, a partir de ello, permitir el cálculo de manera rápida y simple, de la relación dimensional del reactor.

Por otra, parte se encontró que López (1990) tipifica los diferentes calibres de tuberías y artefactos sanitarios con base en unidades de descarga (UD) que representan la cantidad de agua expulsada en cada caso. López (1996) también propone una estandarización de medidas de los tanque sépticos en función del número de usuarios, y recomienda ciertas relaciones de proporcionalidad en sus dimensiones: el largo equivalente de 2 a 3 veces el ancho, la profundidad no debe ser inferior a 120 cm (debajo del nivel del suelo) ni superior a 160 cm, y la tubería de entrada debe estar 5 cms por encima de la tubería de salida.

3. Con toda esta información recopilada, y como primer paso de la fase de diseño, se determinaron los parámetros técnicos que regirían al *Coproctor*: un biodigestor anaerobio de proceso continuo y diseño horizontal (Limongi, citado). Se le denominó *Coproctor* al modelo de biodigestor en alusión al proceso coprolítico (del griego *copros* = excremento y *-lisis* = descomposición), y se estableció su funcionamiento de *carga continua* bajo el principio de *flujo pistón* (Baquedano, citado).
4. Es así como se partió de una analogía del principio funcional del tracto intestinal de los animales superiores: un conducto de reducido diámetro y extensa longitud (ver Figura 2), para establecer el concepto generador del *Coproctor*, el cual se enuncia así:

*El logro de la mayor superficie con un mínimo requerimiento de volumen, para ofrecer el mayor área de contacto entre las bacterias involucradas en el proceso de la biodigestión y el sustrato orgánico, reduciendo de esta manera el tiempo de saneamiento del agua, así como las dimensiones del tanque contenedor. (Limongi, 2003)*



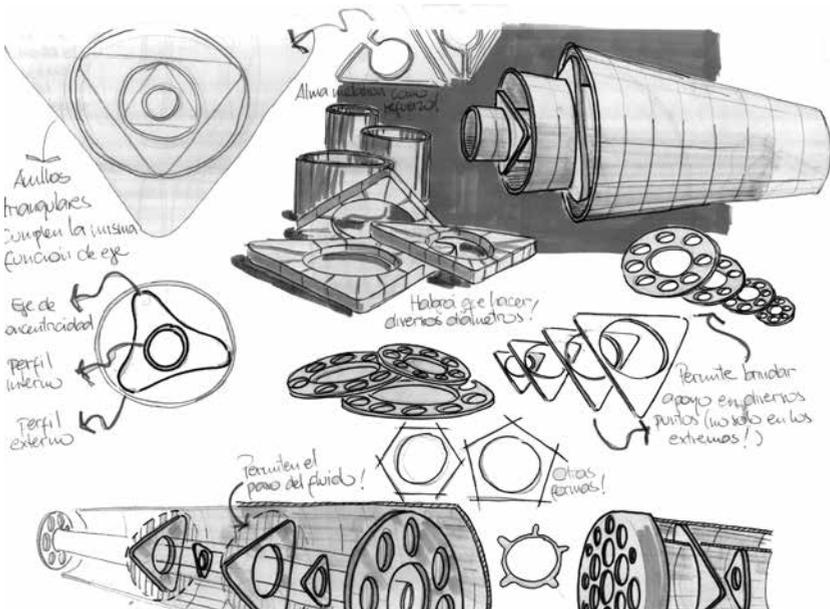
02 Figura 2: Concepto generador a partir de la analogía con el tracto intestinal (superficies de contacto). Fuente: Limongi (2003:89)

La analogía funcional propuesta parte de la consideración de una relación determinante: lograr la mayor superficie en el menor volumen posible. Por otra parte, el tracto digestivo de los animales superiores es el mejor sistema anaerobio de procesamiento de material orgánico, otro aspecto considerado de manera análoga en el producto en desarrollo.

Otra consideración de diseño consistió en el aprovechamiento de materiales poliméricos existentes en el país para la generación de piezas y componentes de bajo peso y fácil ensamblaje, mediante el uso de sistemas de unión simples, tales como pernos, remaches e incluso pegamentos poliméricos. Por ello, se desarrolló el cuerpo del reactor a partir de una tubería de PVC producida por la empresa PAVCO de Venezuela: un perfil de 40" (equivalente 1035 mm) de diámetro y de hasta seis metros de longitud.

La ventaja del empleo de tuberías, en lugar de tanques de agua (solución comercial existente en productos industriales), además de reducir la labor de excavación profunda, se fundamenta en el logro de mayor superficie de contacto en el menor espacio posible. Por ello, también se desarrollaron distintas alternativas de biofiltros de transversales que pudieran insertarse en el interior de esta tubería, para incrementar las superficies requeridas para potenciar la eficiencia del proceso de biodegradación anaerobia, tal como se muestra en la Figura 3.

03 Figura 3: Diseño de alternativas de biofiltros para biodigestor tipo *Coproctor*. Fuente: Limongi (2003:90)



Las variantes diseñadas buscaban incorporar dos aspectos: por un lado, la configuración lineal para aprovechar el flujo del líquido y fomentar el proceso, y por el otro, generar secciones que pudieran ser producidas industrialmente por procesos tecnológicos de bajo costo, como la extrusión de materiales poliméricos, tecnología bastante difundida en el estado Mérida y el resto del país.

En este punto, se desarrolló un modelo conceptual/funcional a escala 1:10, con el fin de probar experimentalmente la funcionalidad de la propuesta del biodigestor de carga continua y orientación horizontal *Coproctor*. Con este modelo se verificó la relación de producción de gas metano a partir del procesamiento de aguas negras residenciales. Este modelo inicial fue elaborado en tubería de PVC de 3", con una presión de diseño de 35 cm de columna de agua. Realizados los cálculos correspondientes, se determinó que la capacidad de modelo era de  $1,36E10^{-3}$  mts<sup>3</sup>. Con base en este dato se calculó el volumen de la cámara de hidropresión, (igual a  $2,295E10^{-4}$  mts<sup>3</sup>) y la cantidad de material por introducirse, establecido en 300cc/día. El modelo se llenó con aguas negras recolectadas del río Albarregas, en la planta de tratamiento de la ciudad de Mérida, Venezuela. La primera carga fue inoculada con agua de lavado de las cochineras de la comunidad del Km 49, en una proporción del 10%.

De forma complementaria, se realizaron en el laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de Los Andes (ULA) pruebas de medición de sólidos totales (volátiles y fijos) de las aguas recolectada, para corroborar la calidad del agua por tratar. Se calibraron 10 muestras, las cuales fueron secadas a una temperatura de 103,5°C; luego de medida su masa, se introdujeron en una mufla a 550°C, y se procedió a realizar las mediciones de masa en una balanza de precisión.

Finalmente, se procedió al diseño del biodigestor propuesto y la construcción de cuatro probetas experimentales a escala del reactor *Coproctor* (a partir de perfiles de PVC de 10" de diámetro por 150 cm de longitud), en los cuales se probaron tres diseños de biofiltro longitudinal, elaborados a partir de perfiles de PVC de uso comercial y variando su configuración dentro del reactor.

El experimento se desarrolló para comparar tres aspectos: el tiempo de degradación del material, la cantidad de gas producido y la calidad del agua tratada. Los modelos fueron instalados en la estación experimental de CIULAMIDE Santa Rosa (en La Hechicera, Mérida) bajo las mismas condiciones climáticas y de material por procesar en todos ellos, con la intención de realizar las mediciones para comprobar y comparar la eficiencia de los biofiltros propuestos, como ilustra la Figura 4.



04

Figura 4: Pruebas experimentales para medir y comparar alternativas de biofiltros propuestos. Fuente: Limongi (2003:112)

Se estableció como grupo control la probeta # 1 sin biofiltro; la probeta # 2 incorporaba un modelo de 5 anillos concéntricos de variado calibre y de 1,00 m de longitud. La probeta # 3 contenía un paquete de 60 anillos paralelos de diámetro reducido y 1,00 m de longitud; la probeta # 4 incorporaba un modelo integrado por 4 segmentos de 0,50 m de longitud, que combinaban secciones concéntricas con segmentos de reducido calibre. Adicionalmente, se incorporó un gasómetro a cada modelo para recolectar y medir el gas generado, así como válvulas dosificadoras en las cámaras de carga, con la intención de imitar las condiciones reales de fluidez de líquidos.

Esta etapa de experimentación se desarrolló durante un período de 6 semanas, en las cuales se inocularon los reactores con material proveniente de una laguna de sedimentación, y se alimentaron con aguas servidas recolectadas en la planta de tratamiento La Hechicera de la ciudad de Mérida. Se tomaron mediciones del volumen de material agregado, material expulsado, nivel de líquido en las cámaras de hidropresión (antes y después de vaciar el gas del tanque), volumen de gas acumulado en el gasómetro, así como las características físicas del agua, tales como el color, olor, etc.

## Estos datos, si bien no son concluyentes, permitieron determinar el modelo de biofiltro más eficiente.

### RESULTADOS

Las pruebas experimentales realizadas con el modelo a escala 1:10 del biodigestor *Coproctor* permitieron determinar que el proceso de producción de gas metano comenzaba transcurridos 6 días de inoculado, cuando en la literatura se enuncia que esto sucede hasta en 30 días (Taylhardat, citado). Por otra parte, los estudios efectuados en el laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la ULA con el material procesado en este modelo, permitieron establecer que las aguas residuales domésticas empleadas eran muy bajas en concentración, lo que dificultaba la labor de biodigestión.

Asimismo, los ensayos posteriores desarrollados con los cuatro modelos del biodigestor propuesto y con variación en la configuración del biofiltro, permitieron determinar el modelo de biofiltro más eficiente, al posibilitar establecer unos parámetros de medición y unificar criterios en cuanto a dimensiones, materiales y condiciones ambientales.

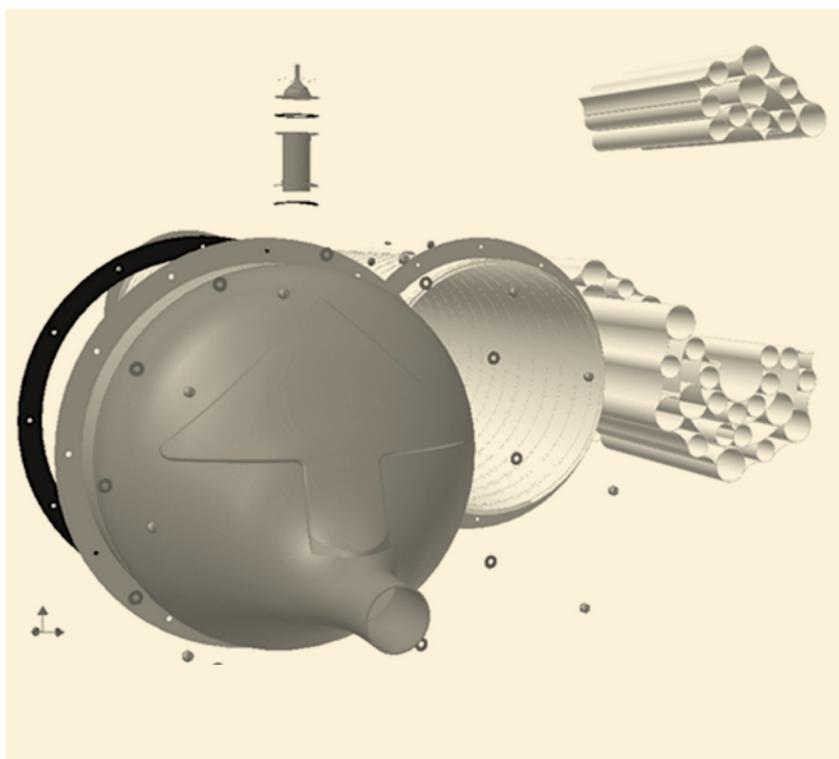
En tal sentido podemos indicar que los resultados arrojaron una producción de biogás en la probeta # 4 (con el modelo de biofiltro seleccionado, de diseño combinado y segmentado) de casi el doble con respecto a la probeta control. De igual forma, se halló una reducción del tiempo hidráulico de retención, pues se observó que el agua expulsada a la cámara de hidropresión, transcurridos tres días, se presentaba con la coloración característica y sin el mal olor producto del proceso de biodegradación. Estos datos, si bien no son concluyentes, permitieron determinar el modelo de biofiltro más eficiente.

Seguidamente, con toda esta información como base para el diseño, se establecieron una serie de pautas constructivas, de instalación y de funcionamiento que dieran respuesta a los parámetros establecidos de eficiencia, y se modelaron digitalmente las partes y componentes del biodigestor tipo *Coproctor* (ver Figura 5).

05

Figura 5: Componentes que integran el biodigestor tipo Coproctor

Fuente: Limongi (2003:94)



Así, el biodigestor de flujo continuo y diseño horizontal *Coproctor* está constituido por cuatro elementos fundamentales, y son los siguientes:

1. Un perfil desarrollado por la empresa PAVCO de Venezuela bajo el concepto de tubería de pared estructurada de PVC de 39" de diámetro nominal, constituido por una doble pared (1035 mm de diámetro exterior, 986 mm de diámetro interno) y sección variable (hasta 600 cm de longitud) fabricada por un proceso de extrusión y posteriormente acoplada helicoidalmente mediante un sistema de enganche mecánico para darle su forma circular.
2. Dos bocas reductoras (de 40" de diámetro en un extremo y 6" en el otro), que conforman los extremos de entrada y salida del reactor.
3. Una boca de registro (con reducción de 6" a 1/2") ubicada en la parte superior del conjunto para la salida del gas generado.
4. Un sistema modular de biofiltro, constituido por un perfil de segmentos concéntricos de 10", 18" y 24", unidos entre sí por otro grupo de cilindros de 6", bajo una configuración general anular.

Es así como, tomando en cuenta los aspectos anteriormente descritos, se llegó a la concepción del biodigestor rural de diseño horizontal modelo *Coproctor* que reduce significativamente los problemas detectados de instalación. Además, su configuración lineal facilita su adecuación a diversos volúmenes de material, mediante la variación de longitud de su contenedor cilíndrico, sin necesidad de cálculos complejos o replanteamientos de diseño. Finalmente, el empleo del sistema continuo de tipo flujo pistón garantiza un funcionamiento con el mínimo mantenimiento e intervención del usuario, lo que mejora al mismo tiempo las condiciones sanitarias de nuestro medio rural.

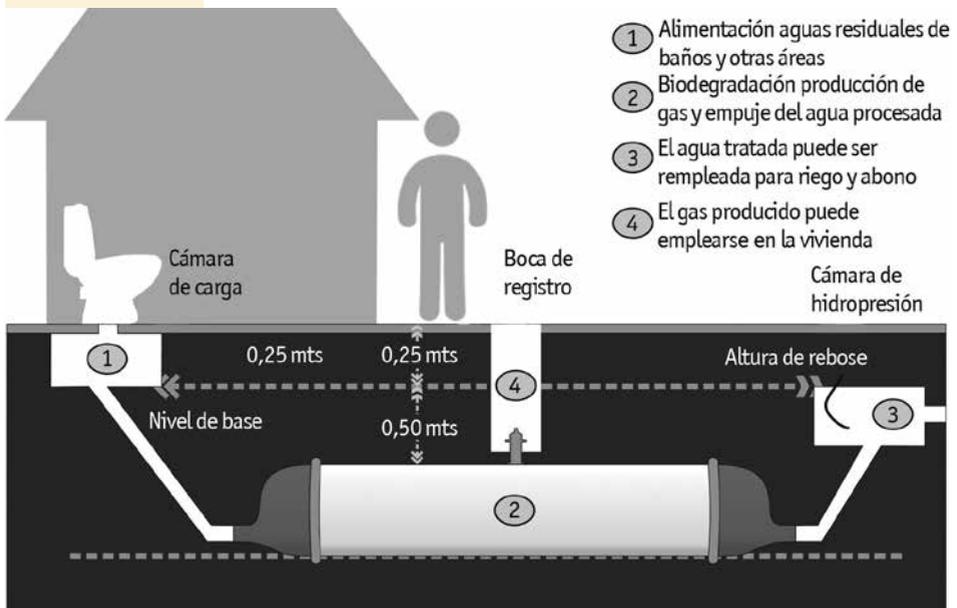
### DISCUSIÓN

Una vez concluida esta investigación, se puede afirmar que el resultado más relevante de ésta es el haber propuesto, a partir del enfoque del diseño industrial aplicado al área de salud pública, el desarrollo de un producto factible de ser fabricado con la implementación de tecnologías simples y principios biológicos, en la búsqueda de una mejora de la calidad de vida del medio rural.

Adicionalmente se constató que, aun cuando los modelos de diseño vertical son la tecnología -aparentemente- más difundida en el medio rural del estado Mérida, los biodigestores de diseño horizontal pueden ser alternativas más ventajosas, sobre todo si se tienen en cuenta las diversas características y niveles freáticos de los suelos de la región (arcillosos y pedregosos en las zonas altas, arenosos en las tierras bajas) (ver Figura 6).

06

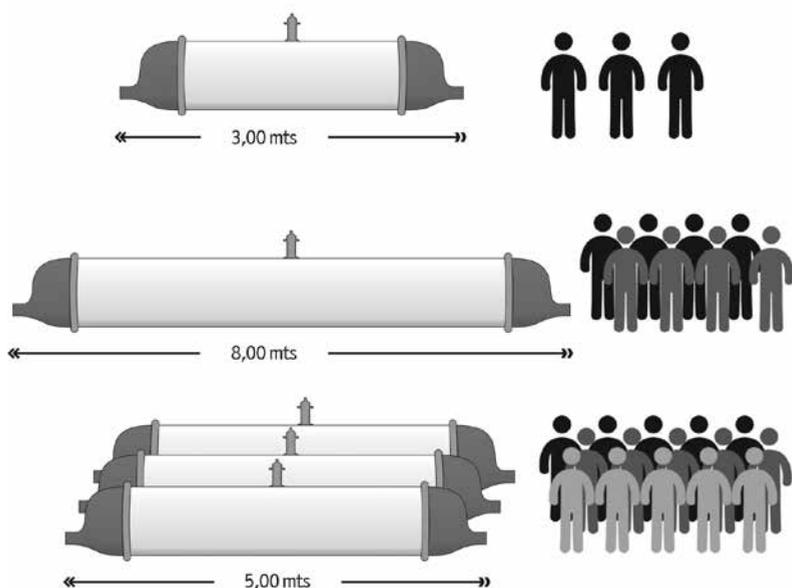
Figura 6: Consideraciones de instalación y funcionamiento de Coproctor.  
Fuente: Limongi (2003:91)



Entonces, como se ilustra en la figura anterior, una de las ventajas del diseño horizontal propuesto en el biodigestor *Coproctor* radica en una importante reducción de esfuerzo, mano de obra y tiempo requerido, amén del innecesario uso de maquinaria especializada para excavar la fosa requerida para su instalación, pues con una zanja de escasos 2 m de profundidad y otros tantos de longitud, puede instalarse todo el sistema de tratamiento. Esto, en contraposición con la complejidad constructiva y de instalación (que proviene de una falta de visión técnica centrada en el usuario) que caracteriza a los modelos de diseño vertical que, no obstante, siguen siendo empleados en Venezuela y otras regiones de Latinoamérica.

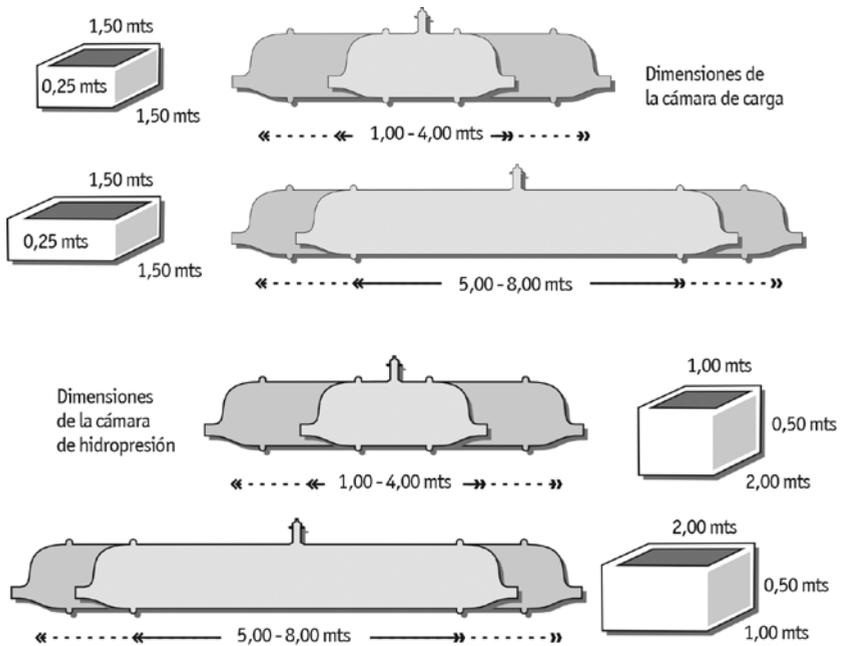
Al respecto, el sólo hecho de plantear un punto de partida diferente al problema de los biodigestores puede generar todo un nuevo campo de desarrollo de estas tecnologías que, a pesar de su simplicidad, pueden convertirse en factores claves de saneamiento ambiental. Partir de la adaptación de elementos, partes y componentes existentes para su transformación en productos novedosos, que puedan ser fácilmente comprendidos, instalados y utilizados, permitiría poner en las manos de las comunidades rurales soluciones para su propia comprensión y empleo en la cotidianidad (ver Figura 7).

**07** Figura 7: El modelo Coproctor considera la demanda de usuario para variar fácilmente su capacidad de atención sin necesidad de cálculos complejos.



Por otra parte, como se observa en la figura anterior, al proponer una tabla de equivalencias de DBO para relacionar el volumen y calidad de excremento animal y las de los seres humanos, ponemos al alcance de los campesinos un medio simple para establecer las dimensiones necesarias –básicamente variando la longitud del reactor– para satisfacer la demanda de tratamiento de aguas residuales rurales, sin la necesidad de complejos y engorrosos cálculos que requieren de conocimientos técnicos especializados.

La estandarización dimensional de otros elementos necesarios, como los tanques de carga y descarga del reactor (a partir de ciertas relaciones de proporcionalidad entre estos y el *Coproctor*), facilita la transferencia de esta tecnología (ver Figura 8). Todo ello contribuirá a que cada usuario pueda convertirse en promotor de estas tecnologías, al comprobar su sencillo uso y sus notorias ventajas en términos de salud.



**08** Figura 8: Relación proporcional entre la longitud del Coproctor y las dimensiones de las cámaras de carga e hidropresión.

gestor rural a un modelo o patrón, ya que esta definición de medidas y condiciones permitirá que el producto sea abordado como un sistema cuyos componentes, al ser normalizados e intercambiables, sean susceptibles de ser producidos en serie.

Por otra parte, al considerar el empleo de materiales poliméricos para la fabricación por procesos industriales de los componentes requeridos para la configuración del *Coproctor*, se puede pensar en la masificación de su uso y fabricación, así como en la reducción de costos de producción de estos implementos para el incremento de su eficiencia.

### CONCLUSIÓN

Una vez desarrollado el proyecto y expuesto sus resultados, puede afirmarse entonces que los sistemas de tratamiento por biodigestión tradicionales analizados no son muy eficientes en términos de fabricación, pues recurren a materiales y técnicas constructivas costosas que pueden implicar largos períodos de tiempo y conocimientos especiales. La mayoría de los biodigestores rurales implementados en el estado son diseñados “a la medida” y fabricados *in situ* con técnicas constructivas tradicionales. A partir de la experiencia monitoreada se pudo evidenciar que, dada la forma tradicional de cálculo y construcción, los biodigestores son concebidos como sistemas que responden a condiciones específicas en extremo y a una dinámica de fabricación de corte “artesanal” que en nada favorecen la difusión de su uso en el medio rural.

Es por ello que la idea fundamental del proyecto de desarrollo del biodigestor *Coproctor* ha sido generar desde el diseño un sistema eficiente en su cálculo, instalación, funcionamiento y mantenimiento, que pueda ser comprendido, utilizado y difundido por las comunidades rurales de Venezuela. Lo que se intenta con el enfoque de la estandarización es ajustar determinados componentes del biodi-

gestor rural a un modelo o patrón, ya que esta definición de medidas y condiciones permitirá que el producto sea abordado como un sistema cuyos componentes, al ser normalizados e intercambiables, sean susceptibles de ser producidos en serie. Por otra parte, al considerar el empleo de materiales poliméricos para la fabricación por procesos industriales de los componentes requeridos para la configuración del *Coproctor*, se puede pensar en la masificación de su uso y fabricación, así como en la reducción de costos de producción de estos implementos para el incremento de su eficiencia. Es fundamental destacar que los avances tecnológicos en el campo de los biodigestores se orientan al mejoramiento de la eficiencia (por ejemplo, mediante la incorporación de biofiltros y otros implementos de mayor complejidad), pues son capaces de ejercer una acción sanitaria en menor tiempo. Sin embargo, puesto que este proyecto se orienta hacia el medio rural, es importante no perder de vista el factor económico, pues estos aditivos tecnológicos pueden incrementar notoriamente su costo.

Debe recordarse que en las comunidades rurales del estado Mérida, así como en otros puntos de la geografía nacional, e incluso más allá de las fronteras, la misión más importante de estos sistemas de tratamiento de aguas residuales puede ser la capacidad de saneamiento que el proceso de biodigestión brinda a las aguas tratadas (al eliminarse huevos de vectores producto de las reacciones exotérmicas que se producen en el interior del reactor), por lo que es un medio efectivo de saneamiento ambiental y disminución de enfermedades transmitidas por agentes patógenos, más que un medio de promoción de fuentes energéticas alternativas.

Además, debe tenerse presente que los digestores rurales de baja tecnología, dentro de los cuales se ubica el digestor tipo *Coproctor* basan su funcionamiento en la biomasa desarrollada en el cuerpo del digestor. Las condiciones tropicales mejoran notablemente la eficiencia de los mismos, pues reducen los tiempos de saneamiento del agua, establecidos según la literatura, en períodos de treinta días, a rangos de hasta tres días, como se logró apreciar experimentalmente en esta investigación.

En función de lo anterior, es vital que esta alternativa de tratamiento vaya acompañada de un proyecto que se oriente a la canalización de las fuentes de aguas servidas y negras, a la incorporación de baños adecuados, y que estas acciones físicas y de infraestructura se complementen con una adecuada educación sanitaria, que permita crear la conciencia ecológica y sostenible, y que garanticen a las generaciones venideras los recursos naturales y las mismas oportunidades de desarrollo de los ciudadanos de la actualidad.

Finalmente, debe considerarse que para que esta alternativa de saneamiento pueda realmente calar en las comunidades rurales, es necesario que el sistema de biodigestión sea de fácil instalación, por personal no capacitado. De igual modo, debe ser de fácil adquisición, bien por iniciativa propia o, como se ha hecho hasta ahora, mediante la cooperación comunidad – gobierno – empresa privada, aspectos que se han considerado en el diseño de *Coproctor*.

## REFERENCIAS

- Baquedano, M (1987). *Los digestores: energía y fertilizantes para el desarrollo rural*. 3ª. Ed. Valparaíso: CETAL
- Chanlett, E (1973). *La protección del medio ambiente*. Madrid: Instituto de Estudios de Administración Local.
- CINIV-ULA (2001). *Proyecto de desarrollo para el mejoramiento de la calidad de vida de la comunidad localizada en los sectores El Taparo, Km 49 y 51 del municipio Alberto Adriani*. Mérida: Universidad de Los Andes.
- Limongi, J (2003). *Diseño para la industrialización de componentes para biodigestores rurales*. Trabajo de grado para optar al título de Licenciado en Diseño Industrial. Mérida: Universidad de Los Andes.
- López, L (1996). *Manual del constructor popular*. 22ª Ed. Maracay: Imagen Editorial.
- López, L (1990). *Agua: instalaciones sanitarias en edificios*. Maracay: Imagen Editorial.
- OPS/OMS (2001). *Educación en salud pública. Nuevas perspectivas para las Américas*. Washington D.C.: OPS.
- Taylhardat, L (1998). *Procesos biológicos para el saneamiento y aprovechamiento energético de efluentes y desechos sólidos*. Caracas: Universidad Central de Venezuela.
- UPEL (2006). *Manual de trabajos de grado de especialización, maestría y tesis doctorales*. 4ª. Ed. Caracas: Fondo Editorial de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador.