

## ***Procedimiento para evaluar la eficiencia en plantas de biogás de cúpula fija / Procedure to evaluate the efficiency in fixed dome biogas plants***

Yusleydis Cano-Ricardo<sup>1</sup> [yusleydis.cano@reduc.edu.cu](mailto:yusleydis.cano@reduc.edu.cu) <https://orcid.org/0000-0003-2107-0553>; Aylín Vargas-Leyva<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0001-5561-7217>; Janet Soberats-Cobos<sup>3</sup> <https://orcid.org/0000-0001-9414-2357>; Humberto Pérez-Blanco<sup>4</sup> <https://orcid.org/0000-0002-3503-8303>

### **Institución de los autores**

<sup>1</sup> Universidad de Camagüey

<sup>2</sup> Universidad de Holguín

<sup>3</sup> Centro de Investigaciones y Servicios Ambientales de Holguín

<sup>4</sup> Empresa Constructora Militar Antilla, Holguín

**País:** Cuba

Este documento posee una [licencia Creative Commons Reconocimiento - No Comercial 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



### **Resumen**

La biomasa es una de las fuentes renovables de energía que se distingue por sus beneficios: biogás y bioabono. En Cuba se aboga por generalizar esta tecnología en el tratamiento de los residuales porcinos. Estudios realizados a una muestra de las plantas de biogás de cúpula fija en Holguín en cuanto a la remoción de contaminantes, evidencian su ineficiente funcionamiento respecto al cumplimiento de la NC27:2012. Se parte de la no existencia de herramientas eficaces de evaluación de estas plantas y se propone desarrollar un instrumento que contemple de manera integral variables que tienen influencia directa en los resultados de eficiencia que constituye el tema del trabajo. Por esta razón se dispuso como objetivo diseñar un procedimiento, donde se agruparán dichas variables y los intereses de los organismos implicados combinando métodos de análisis cualitativos y cuantitativos. El resultado se validó a través del procesamiento de encuestas a especialistas.

**Palabras Clave:** Planta de Biogás; Evaluación; Procedimiento

## **Abstract**

Biomass is one of the renewable sources of energy that is distinguished by its benefits: biogas and bio-fertilizer. In Cuba it is advocated to generalize this technology in the treatment of pig waste. Studies carried out on a sample of the fixed dome biogas plants in Holguín regarding the removal of pollutants, show their inefficient operation in regard to compliance with NC27: 2012. It is based on the non-existence of effective evaluation tools for these plants and it is proposed to develop an instrument that comprehensively considers variables that have a direct influence on the efficiency results that constitute the subject of the work. For this reason, the objective was to design a procedure, where said variables and the interests of the organisms involved were grouped, combining qualitative and quantitative analysis methods. The result was validated through the processing of surveys to specialists.

**Key Words:** Biogas Plant; Evaluation; Procedure

## **Introducción**

En la actualidad el 90 % de las necesidades energéticas en el planeta son satisfechas con la utilización de combustibles fósiles como el petróleo, el carbón o el gas natural. Todos ellos extinguidos, fuertemente contaminantes y utilizados de forma ineficiente por el interés predominante de la producción de energía sobre el de su efecto ecológico (Oliva D. D. & Pereda D. I., 2017). De ahí, la preocupación y urgente necesidad de los gobiernos por desarrollar e implementar las fuentes renovables de energía (FRE).

A inicios del siglo XIX, el 95 % de la energía consumida en el mundo provenía de FRE. Un siglo después, ese porcentaje había disminuido en un 38 % y a principios del XXI representaban solo el 16 %. No obstante, las FRE han resurgido como la mejor alternativa para un desarrollo sostenible a nivel mundial (Davilas, 2014).

Dentro de las FRE se encuentra el empleo de la biomasa, la cual aporta grandes beneficios económicos y ecológicos, pues proporciona biogás, abono, electricidad y disminuye la carga contaminante tanto en sólidos como en líquidos. Se puede aplicar a residuos ganaderos, agrícolas, industriales y en el tratamiento de aguas residuales con alta carga orgánica (Niño, 2017).

En los últimos años se intensifica en Cuba el uso del biogás a partir del manejo de los residuos orgánicos. Hasta el año 2014 existían mil biodigestores aproximadamente entre el sector estatal y el cooperativo-campesino. De ellos, alrededor de 800 de cúpula fija y el resto tubulares. Especialistas indicaron que la cantidad de biodigestores que funcionaban en el país dedicados principalmente al tratamiento de excretas porcinas, permiten beneficiar entre 4 mil y 8 mil personas en el campo. Las proyecciones previstas hasta el 2020 establecen la fabricación de mil biodigestores por año (Ceballos, 2014).

En la Agenda 2030 la meta establecida es lograr que, para ese año, el 24 % de la energía del país provenga de FRE. Ello es una cifra considerable si se tiene en cuenta que, según datos de la Oficina Nacional de Estadísticas e Información de la República de Cuba (ONEI), en la actualidad solo el 5 % de la energía proviene de estas fuentes (Quiñones, 2017) y se prevé que, de ese porcentaje, el 14 % se obtenga de la biomasa. No obstante, existe la perspectiva de construir 25 bioeléctricas a lo largo del territorio nacional (Herrera, 2018).

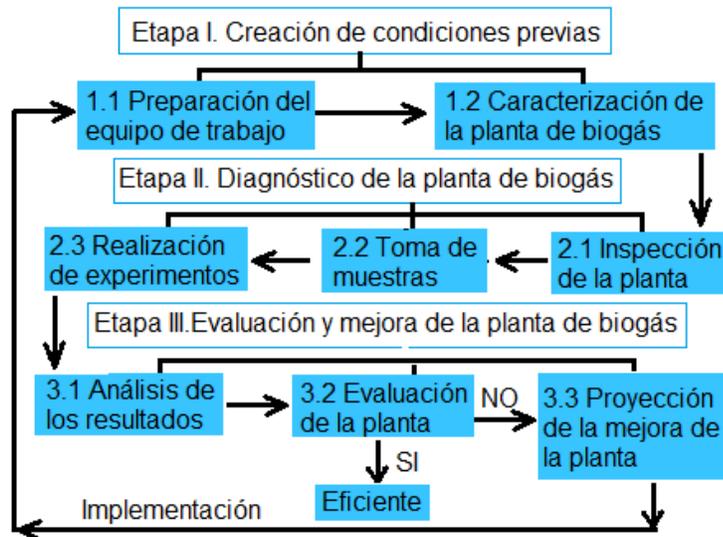
La provincia de Holguín se encuentra inmersa en la implementación de la tecnología del biogás o biodigestores al 100% en residuos porcinos estatales y por convenios, donde el modelo más generalizado es el de cúpula fija. Hasta el 2018 se construyeron alrededor de 200 plantas de este tipo en las que el estiércol porcino es la biomasa principal. Los biodigestores se dirigen fundamentalmente al procesamiento de la materia orgánica proveniente del lavado de corrales con unidades que poseen capacidades de almacenamiento desde 16 m<sup>3</sup> hasta 80 m<sup>3</sup> (Fernández, 2018).

Estudios realizados por Cano (2014), Algarín (2015) y Simón (2018) a una pequeña muestra de estas plantas, demostraron que las mismas no funcionan eficientemente según las especificaciones de la NC 27:2012 para el vertimiento de las aguas residuales y señalan los factores que afectan la producción de biogás. Como consecuencia existe una ineficiencia en el funcionamiento de las plantas y en la remoción de la carga contaminante.

A pesar de la existencia de varios estudios y el interés por el desarrollo de la tecnología del biogás en la localidad y en el país, se carece de un proceder con enfoque integrador en el que se agrupen los intereses de todos los organismos implicados y los subprocesos que intervienen en el buen funcionamiento de las plantas. Debido a esta situación se hace necesario elaborar un procedimiento que contribuya a la evaluación integral de la eficiencia en la remoción de contaminantes líquidos de las plantas de biogás de cúpula fija en el municipio Holguín.

## Materiales y Métodos

El procedimiento propuesto se debe convertir en una herramienta profesional y práctica a utilizar por los gestores que intervienen en la evaluación de las plantas de cúpula fija con residuales porcinos para la generación de biogás. Para su realización se tuvo en cuenta las variables de control, las espaciales, las constructivas y las físico-químicas que participan en dicho proceso con el objetivo de lograr una evaluación integral. El diseño del procedimiento se compone de tres etapas y ocho pasos, como se muestra en la figura 1.



**Figura 1.** Procedimiento para evaluar integralmente la eficiencia.

A continuación, se realiza una descripción del procedimiento según cada etapa. Además, se explican las acciones a ejecutar en el desarrollo del procedimiento para lograr una buena sinergia del equipo de trabajo.

- Etapa I Creación de condiciones previas

El objetivo de esta etapa es crear las condiciones necesarias para facilitar el buen desarrollo de las siguientes etapas y se compone de dos pasos y cinco acciones.

- ✓ Paso 1.1 Preparación del equipo de trabajo

El objetivo de este paso es preparar al equipo de trabajo que debe realizar la evaluación de las plantas.

- Acción 1.1.1 Creación del equipo de trabajo

La evaluación de la eficiencia no ocurre ni natural ni espontáneamente, es necesario crear un grupo capacitado para dirigir y realizar el proceso de evaluación. Esta necesidad se acentúa

en los organismos de consulta que intervienen en el proceso. Sus funciones fundamentales serán la planificación, la organización, la ejecución y el control de los pasos previstos en el procedimiento. Debe funcionar sobre la base de la cooperación, la toma de soluciones y las evaluaciones en conjunto. Su estructura será: un Jefe del equipo de trabajo (persona que tiene autoridad para dirigir las actividades) y especialistas técnicos (representantes de cada organismo implicado en la autorización y evaluación de las plantas de biogás).

- Acción 1.1.2 Capacitación del equipo de trabajo

Los integrantes del equipo de trabajo deben tener la capacidad suficiente y necesaria para ejecutar las tareas encomendadas y el dominio de normas técnicas, regulaciones, leyes y decretos relacionados con la evaluación de la eficiencia de las plantas de biogás. De no poseer los conocimientos necesarios deben ser capacitados para formar las cualidades necesarias para cumplir correctamente con el trabajo delegado. La capacitación se puede realizar por especialistas en el tema por medio de desarrollo de talleres de trabajo grupal o análisis de información, seminarios, conferencias, revisión documental y entrevistas.

- Acción 1.1.3 Evaluación del equipo de trabajo

Después de terminar el período de capacitación es necesario comprobar el conocimiento adquirido por los especialistas. La forma de evaluación la definen los capacitadores a partir del contenido impartido.

✓ Paso 1.2 Caracterización de la planta de biogás

La caracterización debe tener una descripción general de la planta de biogás referente a la tipología constructiva, la ubicación, los datos iniciales y la clasificación. En cuanto a la tipología, esta comprende las arquitectónicas, las industriales y las ingenieriles. La ubicación determina si se encuentran en zonas urbanas o rurales y su localización. Los datos iniciales contribuyen a tener conocimiento sobre cantidad de cerdos existentes (CE), cantidad de cerdos de diseño (CD), volumen del digestor (VD), abasto diario de agua utilizada para el baldeo (AD), producción de biogás (PB) y producción de abono (PA). Según la clasificación pueden ser continuas, semi-continuas y discontinuas. Se ha confeccionado la ficha técnica que se ilustra en la tabla 1, la cual facilita la inspección en el lugar. La información se completará a medida que se apliquen los pasos y acciones del procedimiento.

**Tabla 1.** Ficha técnica para diagnosticar e inspeccionar una planta.

Ficha de inspección					
Fecha de la inspección	Día _____ Mes _____ Año _____				
Planta perteneciente a:	Nombre _____				
Tipo de convenio	Privado _____ Estatal _____ Mixto _____				
Ubicación:	Coordenadas geográficas _____				
Localización	Calle _____ # _____ % _____ y _____ Municipio _____ Provincia _____				
Tipología Constructiva	_____				
Clasificación según el flujo residual	Continuo _____ Discontinuo _____ Semi-continuo _____				
Datos iniciales	CD _____ CE _____ VD _____ AD _____ PB _____ PA _____				
Partes componentes	Descripción del estado constructivo _____				
Filtro biológico	_____				
Naves de corrales	_____				
Canaletas de evacuación del residual	_____				
Desarenador	_____				
Trampa de sólidos	_____				
Plato de secado	_____				
Biodigestor	_____				
Tanque de compensación y salida	_____				
Lagunas facultativas	_____				
Lagunas de oxidación	_____				
Estación de bombeo	_____				
Clasificación del destino del efluente	Clase A _____ Clase B _____ Clase C _____				
Calidad del biogás	Óptimo _____ Poco óptimo _____ No es óptimo _____				
Opinión de los usuarios	_____				
Identificación de toxinas inhibidoras	Sustancia	Observaciones			
	Herbicidas	_____			
	Insecticidas	_____			
	Pesticidas	_____			
	Antisépticos	_____			
	Detergentes	_____			
	Tinturas	_____			
	Grasas industriales	_____			
Resultados de las muestras in situ	Variables	1er Punto	2do Punto	3er Punto	NC 27:2012
	Temperatura	_____	_____	_____	_____
	pH	_____	_____	_____	_____
	Tiempo de retención	_____	_____	_____	_____
	Relación excreta/agua	_____	_____	_____	_____
	Conductividad eléctrica	_____	_____	_____	_____
	Turbidez	_____	_____	_____	_____
	Oxígeno disuelto	_____	_____	_____	_____
Resultados de las muestras del laboratorio	Sólidos sedimentables	_____	_____	_____	_____
	DBO <sub>5</sub>	_____	_____	_____	_____
	Sustancia seca	_____	_____	_____	_____
	Sustancia orgánica seca	_____	_____	_____	_____

- Acción 1.2.1 Revisión del expediente del productor

El equipo de trabajo debe seleccionar previamente la planta a inspeccionar y realizar un estudio detallado que le permita poseer una primera visión. La revisión del expediente consiste en determinar todos los datos iniciales y examinar los proyectos técnico-ejecutivos de los objetos de obra. El propietario debe presentar la Licencia Ambiental Marco por parte de la Empresa Porcina y la Licencia Ambiental que otorgan el utilizable. Además, se verifica la

existencia de otras inspecciones para comparar los resultados que arroje la aplicación del procedimiento.

- Acción 1.2.2 Selección de laboratorios certificados

Se selecciona el laboratorio certificado para la ejecución de los diferentes ensayos. Se recomienda que los organismos y/o científicos que cuenten con los instrumentos necesarios, realicen los ensayos en paralelo con el laboratorio certificado para garantizar la credibilidad de los resultados y su impacto en la sociedad.

• Etapa II: Diagnóstico de la planta de biogás

El objetivo de esta etapa es detectar las principales potencialidades y deficiencias del funcionamiento de la planta en la disminución de la carga contaminante de los residuales y la producción de biogás. En este sentido, el diagnóstico permite definir el estado real que tiene la instalación, así como el conocimiento de especialistas, técnicos, productores y operarios. Esta etapa se compone por tres pasos y ocho acciones.

✓ Paso 2.1 Inspección de la planta de biogás

El objetivo de este paso es caracterizar cada instalación respecto a la construcción, instalación y funcionamiento de cada componente del biodigestor. Se deben tener presente las regulaciones vigentes según la cantidad de cerdos y los resultados de los análisis físico-químicos de las aguas residuales al inicio y final del proceso.

- Acción 2.1.1 Comprobación de los datos iniciales con los existentes

Se comprueban los resultados de las inspecciones y el cumplimiento de señalamientos anteriores. Además, se verifica la cantidad de animales existentes y se comparan con los de diseño.

- Acción 2.1.2 Inspección de las condiciones de drenaje del afluente

Se realiza mediante la inspección visual y se utilizan métodos convencionales de medición para determinar y verificar con los valores establecidos las dimensiones de proyecto, la pendiente, el recubrimiento y las condiciones constructivas.

- Acción 2.1.3 Análisis del destino del efluente

La NC 27:2012 “Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado” (2012) establece tres tipos de vertimientos en función del lugar donde se dirige el efluente con

respecto a su utilización o a su evacuación (Cano, 2019). En esta acción se debe definir el cuerpo receptor del efluente y los valores límites máximos permisibles de los parámetros físico-químicos que establece la norma.

- Acción 2.1.4 Análisis de la producción del biogás

Si se conoce la cantidad de estiércol fresco introducido en el biodigestor es posible determinar la producción de biogás por la siguiente expresión (Forget, 2011).

$$P_{Bg} = 0.0511 * M_{es} \quad (1)$$

donde:

$M_{es}$  : peso del estiércol fresco en kg

Además, en la cúpula del biodigestor debe existir una llave que regule el paso del biogás según la necesidad que exista en cuanto a su utilización o a la presión requerida con el mismo. Una forma de comprobar que el gas se encuentra en óptimas condiciones es por medio de la coloración del mismo. El biogás es óptimo cuando la llama es de color azul, poco óptimo si la llama presenta cambio de coloraciones entre amarillo y azul y no óptimo si la llama es de color amarillo.

- Acción 2.1.5 Identificación de toxinas

Se realiza para determinar si se utiliza o existe alguna sustancia que provoque la inhibición del proceso de fermentación dentro del biodigestor.

✓ Paso 2.2 Toma de muestras

Para la toma de muestra es necesario crear las condiciones, seleccionar y preparar correctamente el equipo que se utilizará. Se tomarán in situ en tres momentos: a la entrada, a la salida del biodigestor y al final de todo el sistema de tratamiento. Se debe garantizar que la muestra llegue en buen estado al laboratorio para los ensayos pertinentes.

- Acción 2.2.1 Preparación de la toma de muestras

Se crean las condiciones de trabajo en el lugar para la realización de la toma de muestras. Se realiza por el personal calificado y se debe seguir los procedimientos establecidos para la recepción, el almacenamiento y la transportación. Se deben emplear los medios de protección y utensilios necesarios, así como garantizar la colocación adecuada de las etiquetas que identifica su origen. La muestra será homogénea y no se recogerá en las esquinas. Se debe

evitar la presencia de oxígeno en los frascos, según el objetivo perseguido con los análisis posteriores a realizar en el laboratorio certificado.

- Acción 2.2.2 Toma de muestras in situ

Se realiza la toma en diferentes puntos representativos. El primer punto es donde coinciden los residuales de toda la instalación, es decir, en la conductora que llega al bypass de la trampa en el horario de baldeo. En caso de que no se esté baldeando se procede a tomar en el primer compartimento de la trampa. El segundo punto es a la salida de todos los órganos primarios y antes de los tratamientos secundarios. El tercer punto es en la parte final del tratamiento secundario (lagunas de oxidación). Este último se puede tomar también en una fuente de agua, a favor de la pendiente (aguas abajo) y después del área de fertirriego. Los parámetros que se pueden medir en el campo son: la temperatura, el pH, el tiempo de retención, la relación excreta/agua, la conductividad eléctrica, la turbidez y el oxígeno disuelto.

- Acción 2.2.3 Toma de muestras para el laboratorio

Se realiza para medir los parámetros que solo se pueden determinar en el laboratorio como: sólidos sedimentables, DBO<sub>5</sub>, sustancia seca y sustancia orgánica seca.

✓ Paso 2.3 Realización de ensayos

En este paso se deben realizar los diferentes ensayos para determinar los parámetros físico-químicos a partir de la toma de muestras en las plantas de biogás. Los ensayos se realizan según las diferentes normas establecidas por los laboratorios certificados.

• Etapa III Control y mejora de la planta de biogás

El objetivo de esta etapa es determinar mediante la evaluación si existen factores que afectan la eficiencia de la planta y en caso de que existan, proyectar la mejora. Esta etapa se compone de tres pasos y cuatro acciones.

✓ Paso 3.1 Análisis de los resultados

En este paso se realiza el análisis de los resultados obtenidos a partir de las siguientes acciones.

- Acción 3.1.1 Tabulación de los resultados

En esta acción se recogen los resultados de los ensayos, tanto in situ como en el laboratorio. Además, se analizan los resultados obtenidos con un enfoque integrador de las diferentes variables que inciden de forma directa sobre el funcionamiento eficiente de la planta.

- Acción 3.1.2 Comparación de resultados

En esta acción se comparan los resultados obtenidos en la inspección de la planta de biogás de acuerdo con las variables que establecen los organismos en sus requerimientos. Como variables de control se exige la tenencia de la Licencia Ambiental Marco por parte de la Empresa Porcina y la Licencia Ambiental para los productores que tengan más de 30 cerdos.

Las variables espaciales a tener en cuenta en la inspección son el área de ubicación, la fuente de abasto de agua y las condiciones del suelo. Para valorar el área de ubicación se debe chequear las dimensiones del terreno donde se encuentre la planta de biogás y si existe espacio disponible para posibles ampliaciones futuras. Para la fuente de abasto de agua se determina el tipo de fuente (red de acueductos, pozo, pipas) y el ciclo de abasto si se obtiene del acueducto. Además, se debe verificar la existencia de la reserva mínima establecida por el Centro Provincial de Higiene y Epidemiología de Holguín que debe ser para 10 días. Es importante destacar que las estructuras de los componentes de la planta pueden fallar por no realizarse un buen estudio de suelo para su construcción. Las condiciones del suelo se deben investigar a partir de los estudios ingenieros geológicos, los cuales servirán para identificar la permeabilidad e impermeabilidad para la construcción de las lagunas.

Las variables constructivas se relacionan con todo el proceso constructivo de la planta en función de la cantidad de cerdos, los órganos de tratamiento de residuales (primario y secundario) y otros objetos de obra que se requieran. Estas se rigen por lo que establecen el Grupo Empresarial de Aprovechamiento y Recursos Hidráulicos (GEARH) y la Empresa de Investigaciones y Proyectos Hidráulicos (RAUDAL).

A continuación, se recogen algunas de las regulaciones para el tratamiento de residuales según la cantidad de cerdos. Para los Convenios Porcinos de hasta 120 cerdos para el tratamiento de residuales sólidos se recomienda la construcción de una cámara de sólidos de 3 m de largo, 2 m de ancho y 1.50 m de profundidad. En esta cámara debe estar el volumen del residual como mínimo 7 días. Además, se deben construir dos lechos de secado de 3 m de largo por 2.50 m de ancho. En ellos debe permanecer el sólido expuesto al sol por 7 días

como mínimo antes de usarlo como materia orgánica en los cultivos o en la lombricultura. El empleo en los campos de cultivo será de forma rotativa con un descanso de 2 a 3 meses.

Para el tratamiento de los residuales líquidos se realizarán tres tanques de oxidación de 4 m de diámetro y 2 m de profundidad de ladrillo o bloque con estucado final. En el último tanque se puede instalar una bomba para fertirriego. El fertirriego se realiza de forma rotativa a intervalo de 7 días como mínimo y nunca al unísono con el campo en que se dispone el residual sólido. Se debe extraer cada 10 días el sedimento del fondo en la cámara de sólido y en el tanque de oxidación para colocarlo en los lechos de secado.

En una planta de biogás de 120 a 500 cerdos, los órganos de tratamiento que deben estar presentes son: cámara de rejillas, filtro decantador (incluye flotación), lechos de secado, digestor, dos lagunas anaeróbicas y una laguna facultativa. El área total es aproximadamente de 0,20 ha. Para una planta de 500 a 1 000 cerdos los componentes necesarios son: cámara de rejillas, cámara de flotación de fibras, sedimentador – lecho de secado, digestor, dos lagunas anaeróbicas y una laguna facultativa con un área total aproximada de la planta de 0,35 ha. Para el tratamiento de 1 000 a 2 000 cerdos se necesita: cámara de rejillas, desarenador, cámara de flotación de fibras, sedimentador, digestor, estación de bombeo para los lodos (si lo requiere), lechos de secado, dos lagunas anaeróbicas y una laguna facultativa con un área aproximada de 0,55 ha.

Las variables físico-químicas son las analizadas en los ensayos *in situ* y en el laboratorio, que se recomiendan en el Paso 2.2 Toma de muestras. Los resultados obtenidos se comparan con los rangos óptimos de los factores que afectan la producción del biogás (Cano, 2019) y con los límites máximos permisibles que se establecen en la NC 27:2012 para verificar su cumplimiento.

#### ✓ Paso 3.2 Evaluación de la planta

En este paso se determina si es eficiente o no y se emite un informe con la evaluación tanto cualitativa como cuantitativa de la planta que se analiza. La eficiencia depende del cumplimiento de los parámetros antes expuestos. Si la planta es eficiente se proyecta una nueva inspección cada 6 meses para comprobar que continúa siéndolo y en el caso de no serlo se realiza el paso 3.3.

✓ Paso 3.3 Proyección de la mejora de la planta de biogás

Es necesario detallar en un informe los parámetros que influyen negativamente en el funcionamiento de la planta y proponer su mejora. Para ello se ejecutarán las siguientes acciones.

- Acción 3.3.1 Identificar problemas y posibles soluciones

En esta acción se identifican los problemas que provocan que la planta no trabaje eficientemente, además se registran las alternativas de soluciones de manera conjunta, coordinada, coherente e integrada. Las soluciones se pueden efectuar con los propios medios del productor o pueden requerir la implicación de otros organismos. Esto se determinará por el orden de prioridad en dependencia del costo y las posibilidades del productor u organismos.

- Acción 3.3.2 Análisis minucioso del informe

La finalidad de esta acción es estudiar el banco de problemas detectado y definir aquellos que pueden resolverse en la instalación, plazo, condiciones y responsable. Las dificultades más comunes son por ejemplo: no se cumple con el tiempo de retención, no se tiene en cuenta la alimentación de los animales, se produce más biogás del que se utiliza, no se da el mantenimiento en el tiempo requerido, se violan los requerimientos establecidos en el diseño en cuanto a dimensionamiento de los componentes de la planta y una de las principales es que los diseños ya están confeccionados y se aplican sin tener en cuenta que todos los lugares no presentan las mismas condiciones espaciales.

Identificados los problemas que atentan contra la eficiencia de la planta, se propone el plan de mejora y se fija el período en el que se realizará la evaluación de las acciones proyectadas. El plan se realiza según el orden de prioridad establecido después del análisis sobre la situación económica del propietario y las disposiciones de los organismos.

## Resultados

Culminadas las fases de concepción y diseño del procedimiento propuesto para evaluar integralmente la eficiencia en la remoción de contaminantes líquidos de las plantas de biogás de cúpula fija en el municipio de Holguín, se procede a su validación. Para ello se presenta a las empresas y grupos relacionados y se realiza una encuesta a la que se aplica un escalonamiento de Likert para someter a valoración las actitudes. Una escala de Likert es la

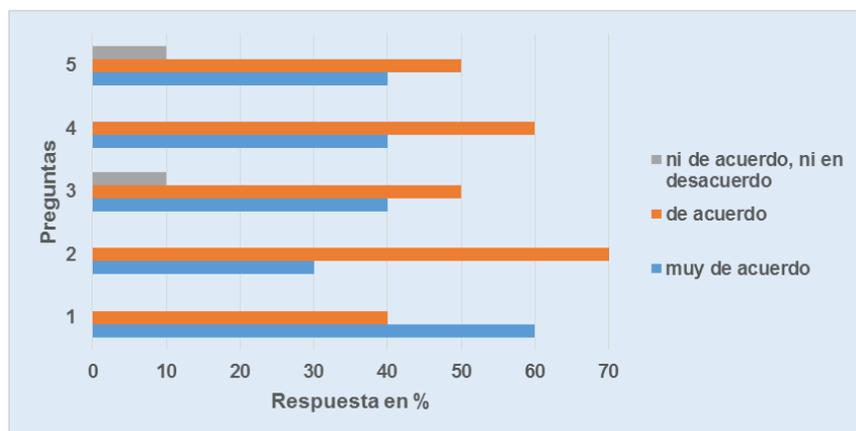
que surge de las respuestas colectivas a un conjunto de declaraciones diseñadas para medir un concepto complejo.

A esta escala se le asignan indicadores empíricos o conceptos abstractos. Las actividades tienen diversas propiedades, entre las que se destacan dirección (positiva o negativa), intensidad (alta o baja); estas propiedades forman parte de la medición. Este método consiste en un conjunto de ítems presentados en forma de afirmaciones o juicios ante los cuales se pide la reacción de los sujetos a los cuales se les administra.

Para su aplicación, se encuestaron a 10 especialistas de los diferentes organismos implicados en la evaluación de la eficiencia de las plantas de biogás en el municipio Holguín. Las escalas que se usaron son las siguientes: muy de acuerdo (5 puntos), de acuerdo (4 puntos), ni de acuerdo, ni en desacuerdo (3 puntos), en desacuerdo (2 puntos), muy en desacuerdo (1 punto). Las preguntas realizadas a los especialistas son:

1. La creación y capacitación de un equipo de trabajo multidisciplinario es obligatorio en la primera etapa para la evaluación de las plantas de biogás de cúpula fija con residuales porcinos.
2. La ficha propuesta contribuye al diagnóstico más completo de las plantas de biogás de cúpula fija con residuales porcinos.
3. El procedimiento de carácter integral diseñado contribuye a mejorar la evaluación de las plantas de biogás de cúpula fija con residuales porcinos en el municipio Holguín.
4. La aplicación del procedimiento a las plantas de biogás contribuirá a mejorar la eficiencia de las mismas en la remoción de contaminantes líquidos.
5. El procedimiento contribuye a que el trabajo de los sujetos implicados sea menos complejo en la realización de la evaluación a las plantas de biogás de cúpula fija con residuales porcinos.

En la figura 2 se muestran los resultados de la encuesta expresados en porciento. Las valoraciones obtenidas de la opinión de los especialistas, a partir de las cinco consideraciones tomadas como base, permiten evaluar la propuesta en general como favorable.



**Figura 2.** Resultados de la encuesta por preguntas.

## Conclusiones

Se desarrolló un procedimiento en tres etapas y ocho pasos para la evaluación integral de la eficiencia en la remoción de contaminantes líquidos de las plantas de biogás de cúpula fija con residuales porcinos y se describe en su totalidad. De manera general comprende, en un inicio, la creación y preparación de un equipo multidisciplinario compuesto por los especialistas de las partes interesadas en la evaluación de las plantas de biogás. Se integran todas las variables de control, espaciales, constructivas y físico-químicas que intervienen en el funcionamiento eficiente de la planta, lo que evidencia su integralidad. La validación del procedimiento a través del procesamiento de las encuestas por el escalonamiento de Likert permite evaluar de favorable la propuesta.

## Referencias Bibliográficas

- Algarín, A.C. (2015). *Evaluación de los Procesos de Filtrado de Pequeñas Plantas de Biogás en el municipio Holguín*. [Tesis de Pregrado, Universidad de Holguín].
- Cano, Y. (2014). Contribuciones a la evaluación de pequeñas plantas de biogás y al perfeccionamiento de los procesos de filtrado de las mismas, en el municipio de Holguín. *Revista Ciencias Holguín*, 20(1).  
<http://www.ciencias.holguin.cu/index.php/cienciasholguin/issue/view/96>
- Cano, Y. (2019). Gestión del funcionamiento de plantas de biogás en la remoción de contaminantes. *Revista Ciencias Holguín*, 25(1).  
<http://www.ciencias.holguin.cu/index.php/cienciasholguin/article/view/1113/1213>

- Ceballos, A. (2014). Biogás, para el beneficio del medio ambiente y la población. *Periódico Granma*, pág. 1.
- Davilas, A. G. (2014). *Estudio de Factibilidad: Potencial de Biomasa para Usos Energéticos en Santa Cruz*. Santa Cruz, Galapagos.
- Fernández, E. M. (2018). Audio Real. Holguín, Holguín, Cuba. [www.audioreal.com](http://www.audioreal.com)
- Forget, A. (2011). *Manual de diseño y de difusión de biodigestores*. Lima, Perú. <http://www.astridforget.com/>
- Herrera, L. M. (2018). ¿Cómo se utiliza la biomasa en Cuba? *Granma*, págs. 4-5.
- Niño, D. Z. (2017). *Aprovechamiento de la biomasa residual para producción de biogás. Una revisión de los avances en el área*. Bolívar, Ecuador. <https://es.slideshare.net/>
- Norma Cubana. (2012). NC 27:2012 *Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado*. Oficina Nacional de Normalización (NC). <http://www.ncnorma.cu/>
- Oliva D. D. & Pereda D. I. (2017). *Fuentes Renovables de Energía en el contexto cubano. Biogás y Sostenibilidad en Cuba*. [https://www.researchgate.net/publication/320357732 Biogas y Sostenibilidad en Cuba](https://www.researchgate.net/publication/320357732_Biogas_y_Sostenibilidad_en_Cuba)
- Quiñones, A. T. (2017). Producción de biogás para el desarrollo sustentable: experiencias en municipios cubanos. *Congreso Universidad*, 6 (6), 23.
- Simón, E.(2018) *Optimización del funcionamiento de la planta de biogás de Aguas Claras*. [Tesis de Pregrado, Universidad de Holguín].

## Síntesis curricular de los Autores

**MS.c. Yusleydis Cano-Ricardo**<sup>1</sup> [yusleydis.cano@reduc.edu.cu](mailto:yusleydis.cano@reduc.edu.cu) <https://orcid.org/0000-0003-2107-0553> Ingeniera Civil, Profesora Asistente del Departamento Ingeniería Civil de la Facultad de Construcciones de la Universidad de Camagüey. Máster en Ingeniería Civil Mención Estructuras. Miembro del proyecto no asociado a programa “Valoración de la eficiencia en la remoción de contaminantes líquidos de biodigestores del municipio Holguín” del Centro de Investigaciones y Servicios Ambientales de Holguín (CISAT). Estudia la línea de investigación “Geotecnia y cimientos”. Miembro de la UNAICC.

**Ing. Aylín Vargas-Leyva**<sup>2</sup> [aylinvl@uho.edu.cu](mailto:aylinvl@uho.edu.cu) <https://orcid.org/0000-0001-5561-7217> Ingeniera Civil, Profesora Instructora del Departamento de Construcciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Holguín. Cursa la maestría en Ingeniería Civil de la Universidad Tecnológica de La Habana. Miembro del proyecto no asociado a programa “Valoración de la eficiencia en la remoción de contaminantes líquidos de biodigestores del municipio Holguín” del (CISAT). La línea de investigación “Geotecnia y cimientos”. Miembro de la UNAICC.

**MS.c. Janet Soberats-Cobos**<sup>3</sup> [jsoberats@cisat.cu](mailto:jsoberats@cisat.cu) <https://orcid.org/0000-0001-9414-2357> Ingeniera Química. Especialista en Medio Ambiente del Departamento de Aplicaciones Nucleares del Centro de Investigaciones y Servicios Ambientales, Asistente. Máster en Gestión Ambiental. Candidata a Doctorado en Ciencias Ambientales en la Universidad de Oriente. Coordinadora del proyecto no asociado a programa “Valoración de la eficiencia en la remoción de contaminantes líquidos de biodigestores del municipio Holguín” del Centro de Investigaciones y Servicios Ambientales de Holguín (Cisat) y su línea de investigación.

**Ing. Humberto Pérez-Blanco**<sup>4</sup> [hperez92@nauta.cu](mailto:hperez92@nauta.cu) <https://orcid.org/0000-0002-3503-8303> Ingeniero Civil. Especialista en Gestión de Recursos Humanos en la Empresa Constructora Militar Antilla. Estudia la línea de investigación Innovación para el desarrollo sostenible y específicamente el área del conocimiento Gestión de desechos sólidos y biomasa.

## Institución de los autores

<sup>1</sup> Universidad de Camagüey

<sup>2</sup> Universidad de Holguín

<sup>3</sup> Centro de Investigaciones y Servicios Ambientales de Holguín

<sup>4</sup> Empresa Constructora Militar Antilla, Holguín

**Fecha de Recepción:** 15 de julio 2020

**Fecha de Aprobación:** 09 de septiembre 2020

**Fecha de Publicación:** 30 de octubre 2020