



## USO DE LA ENERGÍA EN LA AGRICULTURA *USE OF THE ENERGY IN AGRICULTURE*



<https://revistas.unah.edu.cu/index.php/rcta/article/view/1546>

ORIGINAL ARTICLE | ARTÍCULO ORIGINAL

# Use of renewable energy in agricultural processes to produce food

## *Uso de energías renovables en procesos agropecuarios para producir alimentos*

MSc. Osvaldo André Paulo Ferreira-da Silva<sup>I</sup>, Dr.C. Pável Vargas-Rodríguez<sup>III</sup>, Ing. Abel Dorta-Armaignac<sup>II</sup>  
Ing. Ignacio Hernández-Ramírez<sup>III</sup>, Ing. Kaddiel Fernández-Hung<sup>IV</sup>, Dr.C. Alberto Méndez-Jocik<sup>V</sup>

<sup>I</sup> Universidad de Ciego de Ávila (UNICA), Centro de Estudios Hidrotécnicos, Ciego de Ávila, Cuba.

<sup>II</sup> Universidad de Oriente, Departamento de Ingeniería Hidráulica, Santiago de Cuba, Cuba.

<sup>III</sup> Empresa Nacional de Proyectos Agropecuarios. UEB Ciego de Ávila, Cuba.

<sup>IV</sup> Grupo de Difusión Tecnológica Empresa de Cítricos Contra maestre, Santiago de Cuba, Cuba.

<sup>V</sup> Empresa Nacional de Proyectos Ingeniería, Departamento de Diseño, La Habana, Cuba.

**ABSTRACT.** The problem of food insecurity in the central region of Cuba is addressed, in a context characterized by the depletion of conventional energy sources and the negative effects of climate change. The area is located in the Los Milian farm in the Ciego de Ávila province, the application of a closed cycle production process is foreseen for the production of food with the rational use of water and energy. The use of the surpluses of the production process to produce biogas is conceived, and the use of dry matter as biofertilizer. A treatment system is proposed to reduce the pollutant load of the effluents, a domestic supply system coupled to a photovoltaic solar pump and an irrigation system compatible with the hours of least electricity consumption. The results entail a positive social and environmental impact for the Ciego de Ávila province.

**Keywords:** Water, Biomass, Solar Arrangement, Irrigation.

**RESUMEN.** Se aborda la problemática de la inseguridad alimentaria en la región central de Cuba, en un contexto caracterizado por el agotamiento de las fuentes convencionales de energía y los efectos negativos del cambio climático. El área se localiza en la finca Los Milian de la provincia Ciego de Ávila, se prevé la aplicación de un proceso productivo de ciclo cerrado, para la producción de alimentos con la utilización racional del agua y la energía. Se concibe el aprovechamiento de los excedentes del proceso productivo para producir biogás, y la utilización de la materia seca como biofertilizante. Se propone un sistema de tratamiento para disminuir la carga contaminante de los efluentes, un sistema de abastecimiento doméstico acoplado a una bomba solar fotovoltaica y un sistema de riego compatible con el horario de menor consumo de electricidad. Los resultados conllevan un impacto social y ambiental positivo para la provincia avileña.

**Palabras clave:** agua, biomasa, arreglo solar, irrigación.

### INTRODUCTION

Ciego de Ávila is the province with the highest tourist activity in the country. The investments developed in Jardines del Rey Tourist Centre, foresee a short-term increase in the demand for agricultural products to meet the needs of development. This situation requires the rational and

### INTRODUCCIÓN

La provincia de Ciego de Ávila clasifica entre las de mayor actividad turística en el país, las inversiones que se desarrollan en el Polo Turístico Jardines de Rey, prevén un aumento a corto plazo de la demanda de productos agrícolas para satisfacer las necesidades del desarrollo. Esta situación exige la utilización racional y

<sup>1</sup> Author for correspondence: Pável Vargas-Rodríguez, e-mail: pvargas@uo.edu.cu ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-3316-0898>

Received: 02/03/2021.

Approved: 12/11/2021.

efficient use of water and energy through modern irrigation technologies (Tarjuelo, 1995; Tarjuelo & José, 2005), taking into account the conservation of the region's natural resources and their protection against the consequences of climate change.

The soils that make up the region present disadvantageous conditions due to the presence of saline intrusion, as well as due to the mostly flat relief of its surface, which hinders its natural drainage, all of which contributes to identify more than 35% of the soils of the region in quality categories II and III, on the scale of soil agro productivity. Recent reports assure that the overexploitation of these resources, mainly those destined for agricultural irrigation, has led to a significant decrease in these reserves and the consequent penetration of marine wedge in coastal areas of the province. As agriculture is the largest water consumer, the use of efficient irrigation technologies is an imperative to achieve the rational use of water and energy (FAO (PMA); MINAG-Cuba, 1999).

These reasons demand actions aimed to improving the management of water and energy in agricultural activities of the territory (Vanegas, 1988; Tarjuelo, 1995; Vigoa, 2001; Vargas, 2008). The solution involves the use of a hybrid system, in which photovoltaic solar energy is used to supply water to the processes generated by livestock and domestic activities in the farm, the use of solid waste generated in pig farming, to obtain biogas, and the application of specific treatment systems to reduce the pollutant load of waste from the livestock process (Díaz, 2002). Water coming from the well to guarantee the volumes necessary for the foreseen crops, will be pumped once filtered through a network pipes of HDPE conveniently designed to apply water to the irrigation plots.

## MATERIALS AND METHODS

Milian farm, located on the periphery of Ciego de Ávila City, between coordinates 736039 North and 229762 East, with the entrance of the farm at 5½ km of the road that connects the capital city with Moron Municipality. The study case was described and energy consumption in the farm was characterized to determine the energy demand to be produced by biogas and the number of animals necessary to satisfy it. The supply system was also defined and the Soil -Water - Plant ratio necessary to design the irrigation system was characterized. The solar arrangement was defined and the dimensions of the photovoltaic module and its components, necessary to satisfy the water needs of the farm facilities were determined. They include the pig pens and the organs of treatment for the use of excreta in the biomass energy generation. Three Stabilization Lagoons were included as part of the treatment of domestic waste and irrigation activities.

### Design Procedure for the Anaerobic Biodigester

Initially, the biodegradable potential was estimated to meet the need for cooking food, for lighting and as domestic

eficiente del agua y la energía por medio de tecnologías de riego modernas según Tarjuelo (1995); Tarjuelo & José (2005), teniendo en cuenta la conservación de los recursos naturales de la región y su protección ante las consecuencias del cambio climático.

Los suelos que integran la región presentan condiciones desventajosas debido a la presencia de la intrusión salina, así como por el propio relieve mayormente llano de su superficie, que dificulta su drenaje natural, todo lo cual contribuye a identificar más del 35% de los suelos de la región en las categorías II y III de calidad, en la escala de agroproductividad de los suelos. Informes recientes aseguran que la sobreexplotación de estos recursos fundamentalmente los destinados para el riego agrícola ha conllevado a la disminución significativa de estas reservas y a la consecuente penetración de la cuña marina en zonas costeras de la provincia. Siendo la agricultura en el territorio avileño el principal consumidor del preciado líquido, se impone la utilización de tecnologías de riego eficientes para lograr la utilización racional del agua y la energía, (FAO (PMA); MINAG-Cuba, 1999).

Estas razones, demandan acciones encaminadas a perfeccionar el manejo del agua y la energía, en las actividades agropecuarias (Vanegas, 1988; Tarjuelo, 1995; Vigoa, 2001; Vargas, 2008). La solución implica la utilización de un sistema híbrido, en el cual se utilice energía solar fotovoltaica para abastecer del preciado líquido los procesos generados por las actividades pecuarias y domésticas, que se potencian dentro de la finca, así como la utilización de los desechos sólidos generados en la cría de cerdos, para la obtención de biogás, y la aplicación de sistemas de tratamiento específicos para disminuir la carga contaminante de los residuales provenientes del proceso pecuario (Díaz, 2002). El agua proveniente del pozo para garantizar los volúmenes necesarios para los cultivos previstos, se bombeará una vez filtrada por medio de una red de tuberías de PEAD convenientemente diseñadas para aplicar el agua en las parcelas de riego.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La finca los Milian, localizada en la periferia de la ciudad de Ciego de Ávila, está ubicada entre las coordenadas 736039 Norte y 229762 Este, la entrada a la finca se realizó por el km 5½ de la carretera que une a la ciudad capital con el municipio Morón.

Se describió el caso de estudio y se caracterizó el consumo energético de la finca para determinar la demanda de energía a producir mediante el biogás y la cantidad de animales necesarios para satisfacer la misma. También se definió el sistema de abasto, y se caracterizó el complejo Agua-Suelo-Planta-Clima necesarios para diseñar el sistema de riego. Se definió el arreglo solar fotovoltaico y se determinaron las dimensiones del módulo fotovoltaico y sus componentes, necesarios para satisfacer las necesidades del preciado líquido a las instalaciones de la finca, incluidos los corrales porcinos y los órganos de tratamiento para el aprovechamiento de las excretas en la generación de energía biomasa. Se incluyeron tres Lagunas de Estabilización como parte del tratamiento de los residuales domésticos y de las actividades de riego.

### Procedimiento para el cálculo del biodigestor anaerobio

Inicialmente se estimó el potencial biodegradable para suplir la necesidad de cocción de alimentos, para alumbrado

fuel. The flow diagram of the Biogas Plant was selected based on the experience obtained from another similar system, taking into account climatological and hydro geological data, agricultural activities and their future projections for its implementation.

### Calculation of the daily biogas demand of the farm

The number of animals needed to guarantee the daily residual volume and the biogas demand was determined without taking into account the residual product of the harvest, nor the breeding of other potentially useful animals. The necessary area was estimated to produce 100% of the raw material required for pig feeding on the farm, so that there is sustainability in the process. The necessary biogas consuming equipment was identified and the consumption of each of them was estimated, to determine the daily biogas demand of the farm (Table 1). With these results, the number of animals needed to guarantee livestock activities was calculated.

$$C_B = \frac{N \times T_R \times P \times e}{1000} \quad (1)$$

Where:

$C_B$ : Biogas consumption per day (m<sup>3</sup>/d)

$T_R$ : Hours of use in the day (h/day)

N: Number of artefacts.

P: Consumption of the artefact).

e: Artefacts efficiency (%)

y como combustible doméstico. En este sentido, el diagrama del flujo de la Planta de Biogás se seleccionó partiendo de la experiencia obtenida de otro sistema similar, teniendo en cuenta para su implementación datos climatológicos, hidrogeológicos, las actividades agropecuarias y sus proyecciones futuras.

### Cálculo de la demanda diaria de biogás de la finca

Se determinó la cantidad de animales necesarios para garantizar el volumen de residual diario y la demanda de biogás sin tener en cuenta el residual producto de la cosecha, ni la cría de otros animales potencialmente útiles. Se estimó el área necesaria para producir en la finca el 100% de la materia prima que demanda la alimentación de los cerdos, de manera que haya sostenibilidad en el proceso. Se identificaron los equipos consumidores de biogás necesarios y se estimó el consumo de cada uno de ellos, para determinar la demanda de biogás diario de la finca (Tabla 1). Con estos resultados se calculó la cantidad de animales necesarios para garantizar las actividades pecuarias.

$$C_B = \frac{N \times T_R \times P \times e}{1000} \quad (1)$$

donde:

$C_B$ : consumo de biogás al día. (m<sup>3</sup>/d);

$T_R$ : horas de uso en el día (h/día);

N: cantidad de artefactos;

P: consumo del artefacto);

e: eficiencia del artefacto (%).

TABLE 1. -Average consumption and efficiency of the equipment (Malalasekera, 2015)

TABLA 1.-Consumo medio y eficiencia de los equipos (Malalasekera, 2015)

Equipment	Consumption (L/h)	Performance (%)
Kitchen burner	300-600	50-60
Blanket Lamp (60W)	120-170	30-50
Refrigerator de 100 L	30-75	20-30
Gas Engine	0.5 m <sup>3</sup> /kWh	25-30
Infrared Lamp de 200W	30-40	80-90
Cap Lamp	100-120	30-50
Oven Burners	420-500	20-30
Stove with 4 burners and 1 oven	1800-2100	20-40

### Estimation of the number of animals needed to meet the demand for biogas

Knowing the daily demand for biogas and with the help of Table 1, the necessary amount of excreta was obtained, and the number of animals necessary to satisfy the demand, taking into account the parameters proposed in Table 2.

### Estimación del número de animales necesario para suplir la demanda de biogás

Conociendo la demanda diaria de biogás y auxiliándose de la Tabla 1, se obtuvo la cantidad de excreta necesaria, y la cantidad de animales necesarios para satisfacer la demanda, teniendo en cuenta los parámetros propuestos en la Tabla 2.

TABLE 2. -Properties and gas performance of some materials, (Acuña, 1984)

TABLA 2.-Propiedades y rendimiento de gas de algunos materiales (Acuña, 1984)

Material (Excrement)	Quantity (kg/ animal)	Solid Content (%)	Rate C/N (carbon/ nitrogen)	Yield (L/kg/d)
Cows	15 – 20	18 – 20	24 – 25	15 – 32
Buffalo	18 – 25	16 – 18	24 – 25	15 – 32
Pigs	1,2 – 4	24 – 33	12 – 13	40 – 60

$$C_p = \frac{C_B \times 1000}{T \times e} \quad (2)$$

Where:

$C_p$ : Number of animals needed.

$C_B$ : Biogas consumption per day ( $m^3/d$ ).

T: Amount given per day (kg/animal).

e: Daily yield (L/kg material).

The volatile solids content of the residual was assumed from affecting 25% of the fresh excreta mass, (Savran, 2005).

### Farm water consumption

The daily volume of water to guarantee in the pig was estimated in accordance with the pig breeding manual and considering the fattening category, (45 L/d per animal), the water demand for the house was estimated for a provision of 100 L/D/P

### Procedure for the design of the biodigester

The maximum flow of the effluent to be digested, the volume of water necessary to be used in the process, as well as the volume of sludge to be digested, were determined with these parameters, the volume of the biodigester was determined. Finally, the biological demand of the effluent was obtained.

$$Q_{max} = Ch \times Q_{prom} \quad (3)$$

Average flow was computed by (4), assumed coefficient of irregularity ( $Ch = 2$ ):

$$Q_{prom} = N50 \times q \quad (4)$$

$$Volume\ of\ water = \frac{[V \times (P_i - P_f)]}{(100 - P_f)} \quad (5)$$

$$Volume\ of\ sludge = Q_{prom} - V_{water} \quad (6)$$

$$Volume\ of\ digested\ sludge = V_{sludge} \times \frac{(P_{fres} - P_{fdig})}{(100 - P_{fdig})} \quad (7)$$

$$V_{digester} = V_{sludge} - [2/3(V_{sludge} - V_{dig})] \times t \quad (8)$$

$$DBO_5\ effluent = DBO_5 \times 0.4 \quad (9)$$

Where:

N 50: Number of animals equivalent to 50 kg of weight.

q: Allowance for each animal weighing 50 kg. (L/d)

Ch: Irregularity coefficient.

$P_i$ : Approximate initial humidity of the residual (98.50%)

$P_f$ : Approximate final humidity of the residual (92.00%)

$V_{sludge}$ : Volume of fresh sludge per day. ( $m^3$ )

$V_{dig.slu}$ : Volume of sludge digested per day. ( $m^3$ )

t: Digestion time (days)  $T \geq 20$  days;

V: Volume of the Biodigester.

### Calculation of the Biogas Storage Tank

Practical experience indicates that 40-60% of the daily biogas production normally has to be stored; therefore, a

$$C_p = \frac{C_B \times 1000}{T \times e} \quad (2)$$

donde:

$C_p$ : cantidad de animales necesarias.

$C_B$ : consumo de biogás al día. ( $m^3/d$ ).

T: cantidad dada al día (kg/animal).

e: rendimiento diario (L/kg material).

El contenido de sólidos volátiles del residual se asumió a partir de afectar un 25% de la masa de excreta fresca, (Savran, 2005).

### Consumo de agua de la finca

El volumen de agua diario a garantizar en el porcino se estimó de acuerdo con el manual de cría porcina y considerando la categoría de ceba, (45 L/d por animal), la demanda de agua para la casa se estimó para una dotación de 100 L/d/p.

### Procedimiento para el diseño del biodigester

Se determinó el caudal máximo del efluente a digerir, el volumen de agua necesario a utilizar en el proceso, así como el volumen de lodos a digerir, con estos parámetros se determinó el volumen del biodigester. Finalmente se obtuvo la demanda biológica del efluente.

$$Q_{max} = Ch \times Q_{prom} \quad (3)$$

Se asumió un coeficiente de irregularidad ( $Ch=2$ ), el caudal promedio se estimó mediante:

$$Q_{prom} = N50 \times q \quad (4)$$

$$Volumen\ de\ agua = \frac{[V \times (P_i - P_f)]}{(100 - P_f)} \quad (5)$$

$$Volumen\ de\ lodo = Q_{prom} - V_{agua} \quad (6)$$

$$Volumen\ de\ lodo\ digerido = V_{lodo} \times \frac{(P_{fres} - P_{fdig})}{(100 - P_{fdig})} \quad (7)$$

$$V_{digester} = V_{lodo} - [2/3(V_{lodo} - V_{dig})] \times t \quad (8)$$

$$DBO_5\ effluente = DBO_5 \times 0.4 \quad (9)$$

donde:

N 50: Cantidad de animales equivalentes a 50kg de peso, (u);

q: Dotación por cada animal de 50 kg de peso (L/d);

Ch: Coeficiente de irregularidad (2);

$P_i$ : Humedad inicial aproximada del residual (98,50%);

$P_f$ : Humedad final aproximada del residual (92,00%);

$V_{lodo}$ : Volumen de fango fresco por días ( $m^3$ );

$V_{lodo\ digerido}$ : Volumen de fango digerido por días ( $m^3$ );

t: Tiempo de digestión (días)  $T \geq 20$  días;

V: Volumen del Biodigester.

### Cálculo del depósito de almacenamiento de biogás

La experiencia práctica indica que el 40–60% de la producción diaria de biogás normalmente tiene que ser almacenada por lo tanto

storage tank is required for it (Botero & Preston, 1986). The size of the tank depends on the relative rates of generation and consumption of biogas and was sized to cover the peak rate of consumption: in this case the size was determined based on maximum gas consumption; the capacity of the tank was increased by 20 % as margin of safety:

$$V_{maxc} = G_{Gmax} \times T_{Cmax} \quad (10)$$

Where:

$G_{Cmax}$ : Maximum hourly gas consumption ( $m^3/h$ ).

$T_{Cmax}$ : Time of maximum consumption (h).

### Post-Treatment of Effluents from the Anaerobic Reactor

It was planned to reduce the water content and facilitate the handling of the bio-fertilizer, as well as eliminate bad odours from it. Drying beds were used to dehydrate the sludge, and convert the volatile solids into biogas.

### Calculation of the Daily Volume of Sludge that Reaches the Drying Beds (V L/d: $m^3/d$ )

Calculation of Drying Beds

$$V_{drainday} = \frac{[V_{loding} \times (P_2 - P_3)]}{(100 - P_3)} \quad (11)$$

$$Volume\ of\ dry\ sludge = V_{dig\ sludge} - V_{dren\ day} \quad (12)$$

$$Volume\ of\ dry\ sludge\ per\ year = V_{dry\ sludge} \times 365 \quad (13)$$

The area of the drying bed was obtained for sludge extractions every 26 days, 0.30 m thick and 14 extractions per year

$$Sludge\ height = \#\ of\ extractions \times accumulated\ thickness \quad (14)$$

$$Drying\ bed\ area = \frac{Volume\ of\ dry\ sludge\ per\ year}{Sludge\ heigth} \quad (15)$$

Where:

$P_2$ : Initial humidity (92%)

$P_3$ : Final Humidity (75%)

$V_{dig\ sludge}$ : Volume of digested sludge.

$V_{drainday}$ : Volume drained daily.

### Organic Load According to Total Volatile Solids (STV)

$$STV = S_{digested\ volatile} + S_{volatile\ depositing} \quad (16)$$

$$S_{volatile\ depositing} = SVS \times 0.5 \quad (17)$$

$$STV = \frac{STV}{Digester\ volume} \quad (18)$$

### Design of stabilization ponds

The organic load of these lagoons for tropical countries can range between 20 and 35 g m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup> with depths between 1.0 and

se requiere de un depósito de almacenamiento para el mismo (Botero y Preston, 1986). El tamaño del depósito depende de las velocidades relativas de generación y de consumo de biogás y se dimensionó para cubrir la velocidad pico de consumo: en este caso el tamaño se determinó con base de máximo consumo de gas, la capacidad del depósito se incrementó un 20% como margen de seguridad:

$$V_{maxc} = G_{Gmax} \times T_{Cmax} \quad (10)$$

donde:

$G_{Cmax}$ : consumo máximo gas horario. ( $m^3/h$ ).

$T_{Cmax}$ : Tiempo de máximo consumo (h).

### Postratamiento de los efluentes del reactor anaerobio

Se planificó para reducir el contenido del agua y facilitar el manejo de bioabonos, así como eliminar malos olores del mismo. Se utilizaron lechos de secado para la deshidratación de los lodos, y convertir los sólidos volátiles en biogás.

### Cálculo del volumen de lodo diario que llega a los Lechos de Secado (V L/d: $m^3/d$ )

Cálculo de los lechos de secado

$$V_{dren\ dia} = \frac{[V_{loding} \times (P_2 - P_3)]}{(100 - P_3)} \quad (11)$$

$$Volumen\ de\ lodo\ seco = V_{lodo\ dig} - V_{dren\ dia} \quad (12)$$

$$Volumen\ de\ lodo\ seco\ al\ año = V_{de\ lodo\ seco} \times 365 \quad (13)$$

El área del lecho de secado se obtuvo para extracciones de fango cada 26 días, 0,30 m de espesor y 14 extracciones al año

$$Altura\ del\ lodo = \# \ de\ extracciones \times espesor\ acumulado \quad (14)$$

$$Área\ del\ lecho\ secado = \frac{Volumen\ anual\ de\ lodo\ seco}{Altura\ del\ lodo} \quad (15)$$

donde:

$P_2$ : humedad inicial (92%);

$P_3$ : humedad Final (75%);

$V_{lodo\ digerido}$ : volumen del lodo digerido;

$Volumen\ drenado\ diario$ : volumen drenado diario.

### Carga orgánica según los sólidos volátiles totales (STV)

$$STV = S_{digeridos\ volátiles} + S_{volátiles\ sedimentables} \quad (16)$$

$$S_{volátiles\ sedimentables} = SVS \times 0.5 \quad (17)$$

$$STV = \frac{STV}{Volumen\ del\ digestor} \quad (18)$$

### Diseño de las lagunas de estabilización

La carga orgánica de estas lagunas para países tropicales puede oscilar entre 20 y 35 g m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup> con profundidades entre

2.5 m. The usual length: width (L/W) ratio is 2:2.5 and hydraulic retention times can range from 10 to 20 days depending on the treatment objective. Referring to soluble BOD<sub>5</sub> in the outlet, these systems remove between 60 and 80% of the total BOD<sub>5</sub> in the feed and remove between 4 and 5 logarithmic orders in fecal coliforms depending on retention times.

For the calculation of the Anaerobic Lagoon, the empirical design by load was used, this method is based on assuming the organic load with which the Lagoon will work. A retention time of 3.03 days was assumed.

For the design of the Facultative Lagoon, the Cubillo Method was used, a depth = 1.5 m was assumed and the modified Gloyna expression was used to calculate the applied surface load.

### Aspects to consider as environmental benefit

To analyze the environmental effect of the biogas produced, the volume of CH<sub>4</sub> that is no longer emitted into the atmosphere, the protection of water sources from possible contaminants, the obtaining of organic biofertilizers, the reduction in the use of chemical fertilizers and the substitution of from non-renewable energy sources.

### Characterization of the Water – Soil – Plant – Climate complex

The supply system was conceived to meet the water needs of the crops, as well as to guarantee the needs of the precious liquid for the consumption of the private producer's home and some neighbors. The water needs for 400 piglets were included.

### Supply Source

The catchment is produced from a well with an authorized extraction capacity of 2 L/s by means of a pump activated by a photovoltaic array, selected to supply the precious liquid to the peasant's home and satisfy the demand generated by the breeding of pigs. To satisfy the demand of the irrigation system, it was planned to use the other well with a flow rate = 26 L/s. From the photovoltaic pump, the water will be pumped to an elevated tank with sufficient capacity to store the necessary volume for household consumption and for pig activities with a bottom height = 10 m. During the irrigation schedule, the necessary volumes of water will be extracted by means of a conventional pump. Its quality is considered suitable for irrigation of crops and for household consumption. A value between 0.75 and 2.25 dS/m corresponding to medium salinity irrigation water was assumed. (Pizarro, 2000).

### Characteristics of the crops to benefit

Tolerance to salinity: low 2.3 dS/m (for Guava cultivation as it is the most demanding). Tolerance to flooding: 24 hours, (for tomato cultivation as it is the most demanding). Table 3 refers to other parameters of the cultures.

1,0 y 2,5 m. La relación largo: ancho (L/W) usual es 2:2,5 y los tiempos de retención hidráulico pueden llegar entre 10 y 20 días de acuerdo al objetivo del tratamiento. Estos sistemas remueven referidos a la DBO<sub>5</sub> soluble en la salida entre un 60 y 80% de la DBO<sub>5</sub> total de la alimentación y eliminan entre 4 y 5 órdenes logarítmicos en los coliformes fecales dependiendo de los tiempos de retención.

Para el cálculo de la Laguna Anaeróbica se empleó el diseño empírico por carga, este método se basa en asumir la carga orgánica con que va trabajar la Laguna. Se asumió un tiempo de retención de 3,03 días.

Para el diseño de la Laguna Facultativa se utilizó el Método de Cubillo, se asumió una profundidad = 1,5 m y se utilizó la expresión de Gloyna modificada para el cálculo de la carga superficial aplicada.

### Aspectos a considerar como beneficio ambiental

Para analizar el efecto ambiental del biogás producido se consideró el volumen de CH<sub>4</sub> que ya no se emite a la atmósfera, la protección de las fuentes de agua de posibles contaminantes, la obtención de biofertilizantes orgánicos, la reducción del uso de fertilizantes químicos y la sustitución de fuentes de energía no renovables.

### Caracterización del complejo Agua – Suelo – Planta – Clima

El sistema de abasto se concibió para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos, así como también para garantizar las necesidades del preciado líquido para el consumo de la vivienda del productor privado y algunos vecinos. Se incluyeron las necesidades de agua para 400 crías de cerdos.

### Fuente de abasto

La captación se produce a partir de un pozo con capacidad de extracción autorizada de 2 L/s por medio de una bomba accionada por un arreglo fotovoltaico, seleccionada para abastecer del preciado líquido a la vivienda del campesino y satisfacer la demanda generada por la cría de cerdos. Para satisfacer la demanda del sistema de riego se previó utilizar el otro pozo con caudal = 26 L/s. Desde la bomba fotovoltaica se impulsará el agua hasta un depósito elevado con capacidad suficiente para almacenar el volumen necesario para el consumo de la vivienda y para las actividades porcinas con altura de fondo = 10 m. Durante el horario de riego los volúmenes de agua necesarios serán extraídos por medio de una bomba convencional. La calidad de la misma se considera apta para el riego de los cultivos y para el consumo de las viviendas. Se asumió un valor entre 0.75 y 2,25 dS/m correspondiente a aguas de riego de salinidad media (Pizarro, 2000).

### Características de los cultivos a beneficiar

Tolerancia a la salinidad: baja 2.3 dS/m (para el cultivo de la Guayaba por ser el más exigente). Tolerancia a la inundación: 24 horas, (para el cultivo del tomate por ser el más exigente). La Tabla 3 refiere otros parámetros de los cultivos.

**TABLE 3. -Planting frame, crop coefficients and crop height (Allen *et al.*, 1998)**  
**TABLA 3.- Marco de siembra, coeficientes de cultivos y altura de cultivo (Allen *et al.*, 1998)**

Crops	P.F. (m×m)	Kc ini	Kc med	Kc fin	Height (m)
Guava	5 × 2	0.31*	0.93*	0.88*	2.0*
Cassava	0.9 × 0.9	0.3	0.8	0.3	1.0
Corn	0.9 × 0.4	0.7	1.2	0.6 – 0.35	2.0
Tomato	1.4 × 0.5	0.6	1.15	0.7 – 0.9	0.6
Water melon	0.5 × 0.4	0.4	1.0	0.75	0.4

\* - Suggested values.

### Hydrophysical properties of the soil

The general slope on the farm is less than 1%, therefore, for the purposes of designing the drainage system, it is possible to establish the direction of planting the crops in the direction of the predominant slope without assuming risks of surface erosion. Depth: greater than 1.5 m, generally deep soils, external and internal drainage is considered moderate to poor with depth. They are moderately productive soils, which are dedicated to sugar cane and pastures, generally with a stabilized infiltration rate of 22.86 mm/h. Its chemical properties are not known. The electrical conductivity values of the soil saturation extract are not available either, a value of 2.3 dS/m was assumed corresponding to a 90% reduction in the harvest compared to normal, in soils with increasing electrical conductivity (Pizarro, 1985).

$$IVA G_2 \frac{p^1 h^3 e g^3}{d} 55t_2$$

where:

IV- Type: Yellowish Ferralitic Texture: Silty Clay;

A- Subtype: Typical;

G-Gleyzed;

d- Silty Clay;

P<sup>1</sup>-Very Deep (>100cm);

g<sup>3</sup>-Medium (appears at 41-60 cm);

h<sup>3</sup>-Moderate Humidity (2.0 – 4.0%);

e<sup>4</sup>-Poca (Loss of Å" less than 25%);

t<sub>2</sub>-Flat (0.5 – 1.0%).

### Climatic Characteristics

The average monthly series of evaporation and precipitation were taken into account for a series of 11 years provided by the Provincial Directorate of Hydraulic Resources of the province, as well as those related to temperature, prevailing wind speed and relative humidity.

To carry out the hydraulic scheme of the irrigation system, an altimetric and planimetric topographic survey was used at a scale of 1: 2000 with contour lines at equidistances of 1m. In addition, 20 × 16 mm drip hoses were available with self-compensating emitters inserted every 75 cm, dripper flow rate 2.5 L/h and compensation range between 50 and 340 kPa.

### Propiedades hidrofísicas del suelo

La pendiente general en la finca es menor el 1% por lo que, a los efectos del diseño del sistema de drenaje, es posible establecer el sentido de siembra de los cultivos en dirección a la pendiente predominante sin asumir riegos de erosión superficial. Profundidad: mayor de 1,5 m, generalmente son suelos profundos, el drenaje externo e interno se considera de moderado a deficiente con la profundidad. Son suelos medianamente productivos, que se dedican a caña de azúcar y pastos generalmente con una velocidad de infiltración estabilizada de 22,86 mm/h. No se conocen las propiedades químicas del mismo. Tampoco se dispone los valores de conductividad eléctrica del extracto de saturación de los suelos, se asumió un valor de 2,3 dS/m correspondiente al 90% de reducción de la cosecha con relación a la normal, en suelos de conductividad eléctrica creciente (Pizarro, 1985).

$$IVA G_2 \frac{p^1 h^3 e g^3}{d} 55t_2$$

donde:

IV- Tipo: Ferralítico Amarillento Textura: Arcilla Limosa;

A- Subtipo: Típico;

G-Gleyzado;

d- Arcilla Limosa;

P<sup>1</sup>-Muy Profundo (>100cm);

g<sup>3</sup>-Mediana (aparece a los 41-60 cm);

h<sup>3</sup>-Medianamente Humificado (2.0 – 4.0%);

e<sup>4</sup>-Poca (Pérdida del Å" menor del 25%);

t<sub>2</sub>-Llano (0.5 – 1.0%).

### Características climáticas

Se tuvieron en cuenta las series medias mensuales de la evaporación y las precipitaciones d una serie de 11 años aportados por la Dirección Provincial de Recursos Hidráulicos de la provincia, así como los referidos a la temperatura, velocidad de los vientos predominantes y humedad relativa.

Para la realización del esquema hidráulico del sistema de riego se utilizó un levantamiento topográfico altimétrico y planimétrico a escala 1: 2000 con curvas de nivel a equidistancias de 1m. Se dispuso además de mangueras de goteo de 20 ×16 mm con los emisores autocompensantes insertados cada 75 cm, caudal del gotero 2.5 L/h y rango de compensación entre 50 y 340 kPa.

## **Procedure for irrigation system design**

### **Agronomic Design**

The procedure proposed by Keller and Rodrigo cited by Pizarro (1996) was applied. To estimate the water needs of the planned crops, the criteria of Allen *et al.* (1998) y Allen (2006), to calculate the correction coefficients of the net needs in the critical period of the most demanding crop, to estimate the total needs an extra dose was foreseen to anticipate the washing needs in the case of saline content. harmful to crops. The irrigation frequency was estimated daily according to the characteristics of the irrigation technique to be used and the possibilities of managing the installation. The duration of the irrigation was calculated for during the irrigation of each crop, anticipating not applying the irrigation during the peak hours established by the National Electroenergetic System (SEN). The irrigation dose to be applied was in all cases equal to or slightly higher than the water needs of the crops.

### **Hydraulic Design**

It was conceived to achieve the optimal dimensioning of the installation in order to satisfy the water needs of the crops established in the Agronomic Design. In addition to the calculated data, the topography of the plots was taken into account, which together with the characteristics of the water and the cultivation practices allowed choosing the type of emitter and the most appropriate arrangement of the laterals, this allowed estimating the number maximum rotational units.

As these are self-compensating drip emitters, the hydraulic calculation is simplified to guarantee that the pressures at the important points of the irrigation plot remain within the compensation range of the drippers, as a guarantee that they deliver the necessary flow. In this way, the limit conditions in which the installation must work were defined and the design of the irrigation plots was executed; their number, location, as well as the regime of pressures and flows necessary for the design of the control station.

## **Procedure for design of the PV pumping system**

### **Feasibility of solar operation on the farm**

For the selection of the use of photovoltaic pumping, it was verified that the amount of solar energy available is appropriate, the availability of other energy sources in the area and that the intended use of the extracted water is for human consumption.

According to Bulté (1995), photovoltaic pumping systems are slightly cheaper than conventional ones for an operating time of 20 years, similarly to Bloos *et al.* (1996; 1997) confirmed that these systems are more reliable, autonomous and efficient.

### **Calculation and selection of the elements that make up the PV pumping system**

To make the selection and dimensioning of the photovoltaic pumping system, the demand of the farmer's house and lives-

## **Procedimiento para diseño del sistema de riego**

### **Diseño Agronómico**

Se aplicó el procedimiento propuesto por Keller y Rodrigo citado por Pizarro (1996). Para estimar las necesidades de agua de los cultivos planificados se tuvo en cuenta el criterio de Allen *et al.* (1998) y Allen (2006), para calcular los coeficientes de corrección de las necesidades netas en el período crítico del cultivo más exigente, para estimar las necesidades totales se previó una dosis extra para prever las necesidades del lavado en el caso de tenores salinos dañinos para los cultivos. La frecuencia de riego se estimó diaria de acuerdo con las características de la técnica de riego a utilizar y las posibilidades de manejo de la instalación. La duración del riego se calculó para durante el riego de cada cultivo previendo no aplicar el riego durante las horas pico establecidas por el Sistema Electroenergético Nacional (SEN). La dosis de riego a aplicar resultó en todos los casos igual o ligeramente superior a las necesidades de agua de los cultivos.

### **Diseño Hidráulico**

Se concibió para lograr el dimensionamiento óptimo de la instalación de manera de lograr satisfacer las necesidades de agua de los cultivos establecidas en el Diseño Agronómico. Se tuvo en cuenta, además de los datos calculados, la topografía de las parcelas, la cual conjuntamente con las características del agua y las prácticas de cultivo permitieron escoger el tipo de emisor y la disposición de los laterales más apropiada, esto permitió estimar el número máximo de unidades rotacionales.

Como se trata de emisores de goteo autocompensante el cálculo hidráulico se simplifica a garantizar que las presiones en los puntos importantes de la parcela de riego se mantengan dentro del rango de compensación de los goteros como garantía de que los mismos entreguen el caudal necesario. De esta forma se definieron las condiciones límites en las que debe funcionar la instalación y se ejecutó el diseño de las parcelas de riego; su número, ubicación, así como el régimen de presiones y caudales necesarios para el diseño de la estación de control.

## **Procedimiento para diseño del sistema del bombeo FV**

### **Factibilidad de la operación solar en la finca**

Para la selección del uso del bombeo fotovoltaico se verificó que la cantidad de energía solar disponible es la apropiada, la disponibilidad de otras fuentes de energía en la zona y que el uso que se pretende dar al agua extraída es para el consumo humano.

De acuerdo con Bulté (1995), los sistemas de bombeo fotovoltaico son ligeramente más barato que los convencionales para un tiempo de operación de 20 años, de igual manera Bloos *et al.* (1996; 1997) corroboraron que estos sistemas son más fiables, autónomos y eficientes.

### **Cálculo y selección de los elementos que conforman el sistema de bombeo FV**

Para realizarla selección y el dimensionamiento del sistema de bombeo fotovoltaico estuvo en cuenta la demanda de la vivienda



tock activities, the convenient orientation of the photovoltaic panels and the power of the photovoltaic generator, as well as the number of modules in series and in parallel and the selection of the frequency converter and the conductors.

**Calculation of the PV Generator Power: [PgFV (kW)]**

$$Pgfv = \frac{P_{ba}}{Ks} \tag{19}$$

Where:

*Pba*: water pump power (kW);

*Ks*: safety coefficient (0.8 - 0.85 for Cuba).

This coefficient takes into account the total efficiency of the system (the average daily efficiency of the panel under operating conditions, the coupling factor, and the temperature coefficient of the cells). The selection of the solar arrangement was made with the Wincaps software.

**Calculation of the Number of Modules in Series (Nms)**

$$N_{ms} = \frac{Tn}{Tnm} \tag{20}$$

Where:

*Tn*: nominal voltage of the installation (V);

*Tnm*: nominal voltage of the modules (V).

**Calculation of the Number of Modules in Parallel (Nmp)**

$$N_{mp} = \frac{Im \max}{Ip \max} \tag{21}$$

Where:

*Im max*: maximum current demanded (A);

*Ip max*: current for maximum power point (A).

**Calculation of the Total number (Ntm) of Modules**

$$Ntm = Nms \times Nmp \tag{22}$$

**RESULTS AND DISCUSSION**

The daily demand for biogas is 62.7 m<sup>3</sup>/d, and it is less than the volume of biogas produced, a part of it is destined for other users, or it can be stored.

del campesino y de las actividades pecuarias, la orientación conveniente de los paneles fotovoltaicos y la potencia del generador fotovoltaico, así como el número de módulos en serie y en paralelo y la selección del convertidor de frecuencia y de los conductores.

**Cálculo de la potencia del generador FV: [PgFV (kW)]**

$$Pgfv = \frac{P_{ba}}{Ks} \tag{19}$$

donde:

*P<sub>ba</sub>*: potencia de la bomba de agua (kW);

*K<sub>s</sub>*: coeficiente de seguridad (0,8 – 0,85 para Cuba).

Este coeficiente tiene en cuenta la eficiencia total del sistema (la eficiencia media diaria del panel en condiciones de operación, el factor de acople, el coeficiente de temperatura de las celdas). La selección del arreglo solar se realizó con el software Wincaps.

**Cálculo del número de módulos en serie (Nms)**

$$N_{ms} = \frac{Tn}{Tnm} \tag{20}$$

donde:

*Tn*: tensión nominal de la instalación (V);

*Tnm*: tensión nominal de los módulos (V).

**Cálculo del número de módulos en paralelo (Nmp)**

$$N_{mp} = \frac{Im \max}{Ip \max} \tag{21}$$

donde:

*Im max*: corriente máxima demandada (A);

*Ip max*: corriente para punto de máxima potencia (A).

**Cálculo del número total (Ntm) de módulos**

$$Ntm = Nms \times Nmp \tag{22}$$

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

La demanda diaria de biogás es de 62,7m<sup>3</sup>/d (Tabla 4), y es menor que el volumen de biogás producido, una parte de la misma se destina a otros usuarios, o puede ser almacenada.

En la Tabla 5 se muestra el dimensionamiento del biodigestor, la Tabla 6 muestra el dimensionamiento del lecho de secado

**TABLE 4.- Daily demand of biogas in the farm  
TABLA 4.-Demanda diaria del biogás de la finca**

Equipment	Consumption (L/h)	Quantity of Equipment	Hours of use (h/day)	Biogas Consumption (m <sup>3</sup> /d)
Farmer's house				
Mantilla lamp (60W)	170	10	6	10.2

Equipment	Consumption (L/h)	Quantity of Equipment	Hours of use (h/day)	Biogas Consumption (m <sup>3</sup> /d)
Refrigerator de 100 L	75	1	12	0.9
Kitchen / 4 burners	1800	1	4	7.2
<b>Pigpens</b>				
Kitchen / 4 burners	1800	1	2	3.6
Mantilla lamp (60W)	170	20	12	40.8
Total				62.7

**TABLE 5.-Design of biodigester**  
**TABLA 5.-Dimensionamiento del biodigester**

Description	Unit	400 pigsof 100 kg
Digested sludge volume	m <sup>3</sup> /d	3.50
Digester capacity	m <sup>3</sup>	96.67
Retention time	días	20
Volume of gas produced	m <sup>3</sup> /d	90.9
Storage tank	m <sup>3</sup>	36.36

An excreta-water ratio of the final mixture of 1: 3 by weight was selected; this solution contributes to a better biodegradation of the excreta.

Se seleccionó una relación excreta-agua de la mezcla final de 1:3 por peso, esta solución contribuye a una mejor biodegradación de las excretas.

**TABLE 6.-Sizing of the drying bed**  
**TABLA 6.-Dimensionamiento del lecho de secado**

Description	Unit	400 pigsof 100 kg
Daily drain volume	m <sup>3</sup> /d	2.38
Daily dry sludge volume	m <sup>3</sup> /d	1.12
Annual dry sludge volume	m <sup>3</sup> /d	408.80
Extraction period	days	26.00
Amount of extractions	U	14.04
Thickness of sludge accumulation	m	0.30
Accumulated sludge area	m <sup>2</sup>	97.07

9m<sup>2</sup> were assumed for each plot. The dehydrated sludge can be used as solid fertilizer and can be applied directly to the crop.

Se asumieron 9 m<sup>2</sup> para cada parcela. El lodo deshidratado se puede utilizar como abono sólido y se puede aplicar directamente en el cultivo.

### Design of Stabilization Lagoons

The Anaerobic Lagoon; designed to reduce the pollutant load of the crude residual, with a depth = 2.5 m and retention time = 3.03 d. The pollutant load of the effluent decreases to 9.48 kgDBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup> corresponding to a removal efficiency = 82.05 %, which is an acceptable value according to the design practice in Cuba.

The Facultative Lagoon 1 with a depth =1.5 m, but surface area greater than the anaerobic lagoon = 0.025 ha. For this case, the removal efficiency = 89.32 %, reducing the pollutant load to 0.06 kgDBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>. To avoid an increase in the pollutant load, a second Facultative Lagoon was planned with the same depth, but less surface area = 0.0157 ha and a retention time = 4.4 d. A removal efficiency = 79.02 % was obtained. It is important to check the bacteriological quality of the effluent before deciding its final destination, due to the risk of the presence of pathogens whose presence limits the reuse of the effluent in the irrigation of planned agricultural crops.

Table 7 shows the results of the agronomic design, Table 8 the results of the hydraulic design (20 × 16 mm) and Table 9 the exploitation parameters of the irrigation system.

### Dimensionamiento de las Lagunas Estabilización

La Laguna Anaerobia; concebida para disminuir la carga contaminante del residual crudo, con una profundidad = 2,5 m y un tiempo de retención = 3,03 días. La carga contaminante del efluente disminuye hasta 9,48 kg DBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>, correspondiente a una eficiencia de remoción = 82,05%, que es un valor aceptable de acuerdo a la práctica del diseño en Cuba. La Laguna Facultativa 1 con una profundidad (1,5 m), pero con un área superficial mayor que la laguna anaerobia (0,025 ha). Para este caso la eficiencia de remoción resultó 89,32%, disminuyendo la carga contaminante hasta 0,06 kg DBO<sub>5</sub>/m<sup>3</sup>. Para evitar un incremento de la carga contaminante se previó una segunda Laguna Facultativa con igual profundidad, pero menor área superficial (0,0157 ha) y un tiempo de retención de 4,4 días. Se obtuvo una eficiencia de remoción de 79,02%. Es importante comprobar la calidad bacteriológica del efluente antes de decidir el destino final del mismo, debido al riesgo de la presencia de patógenos cuya presencia limita la reutilización del efluente en el riego de los cultivos agrícolas planificados.

La Tabla 7 muestra los resultados del diseño agronómico, la Tabla 8 los resultados del diseño hidráulico (20 × 16 mm) y la Tabla 9 los parámetros de explotación del sistema de riego.

Figure 1 shows the simulation of the hydraulic behavior of the farm's irrigation system and Figure 2 shows the general scheme of exploitation of the farm's irrigation area.

En la Figura 1 se muestra la simulación del comportamiento hidráulico del sistema de riego de la finca y en la Figura 2 el esquema general de explotación del área de riego de la finca.

**TABLE 7.- Results of the agronomic design**  
**TABLA 7.-Resultados del diseño agronómico**

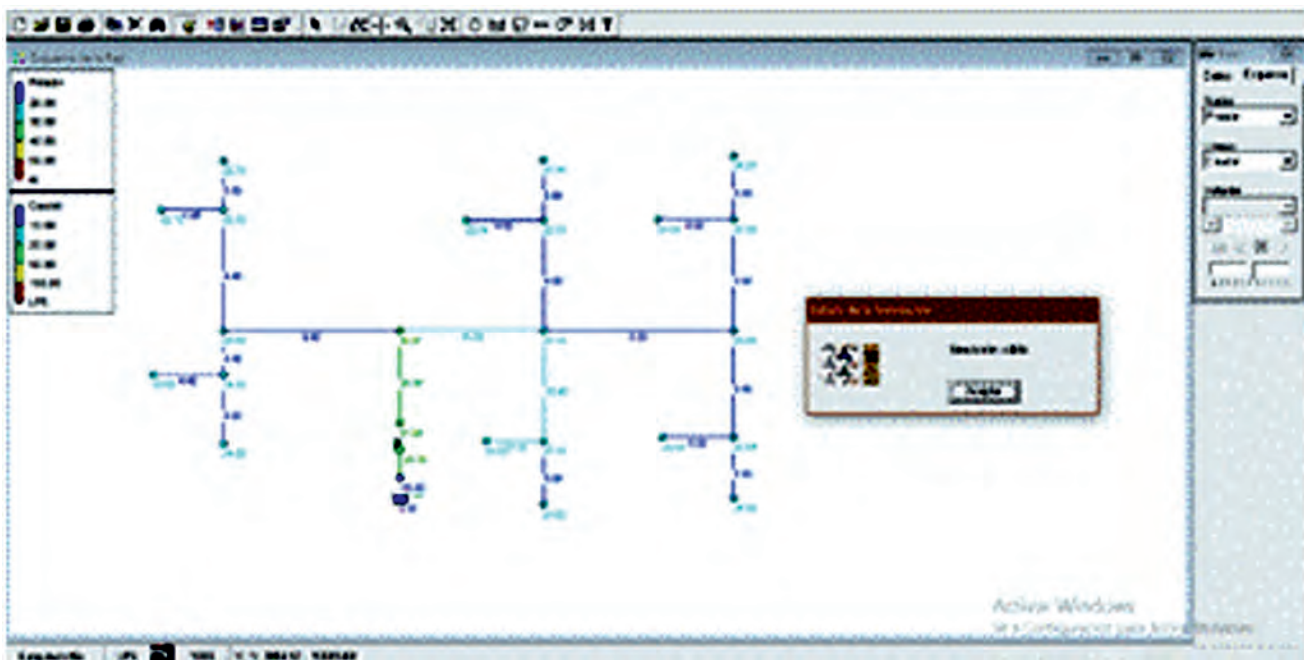
Crops	Irrigation Timing (h)	Irrigation Dose (L)	Total water needs (L)
Guava	6.1		40 39.97
Corn	2.3	3.07	3.07
Tomato	3.04	4.06	4.05
Cassava	1.56	4.67	4.66
Water melon	1.06	1.41	1.41

**TABLE 8.-Results of hydraulic design (lateral pipe 20 x 16 mm)**  
**TABLA 8.- Resultados del diseño hidráulico (20 × 16 mm)**

CROPS	Lateral length (m)	Lateral discharge(L/s)	ho (kPa)	h mín. (kPa)	Pressure range
Guava	100	0.093	108.04	92.55	98 - 294
Cassava/ Corn	100	0.093	108.04	92.55	98 - 294
Tomato / Watermelon	100	0.093	108.04	92.55	98 - 294

**TABLA 9.-Parameters of operation of the irrigation system**  
**TABLA 9.- Parámetros de explotación del sistema de riego**

CROPS	Applying Flow (L/s)	Irrigation timing (h)	Irrigation Schedule (h)	Irrigation area (ha)
Guava	8.92	12	18:00 a 06:00	9.60
Cassava	16.38	6.24	06:00 a 12:24	7.80
Corn	16.38	9	06:00 a 15:00	7.80
Tomato	16.38	12	18:00 a 06:00	6.96
Water melon	16.38	4.24	06:00 a 10:24	6.96



**FIGURE 1.-Simulation of the hydraulic behavior of the farm's irrigation system**  
**FIGURA 1.- Simulación del comportamiento hidráulico del sistema de riego de la finca.**

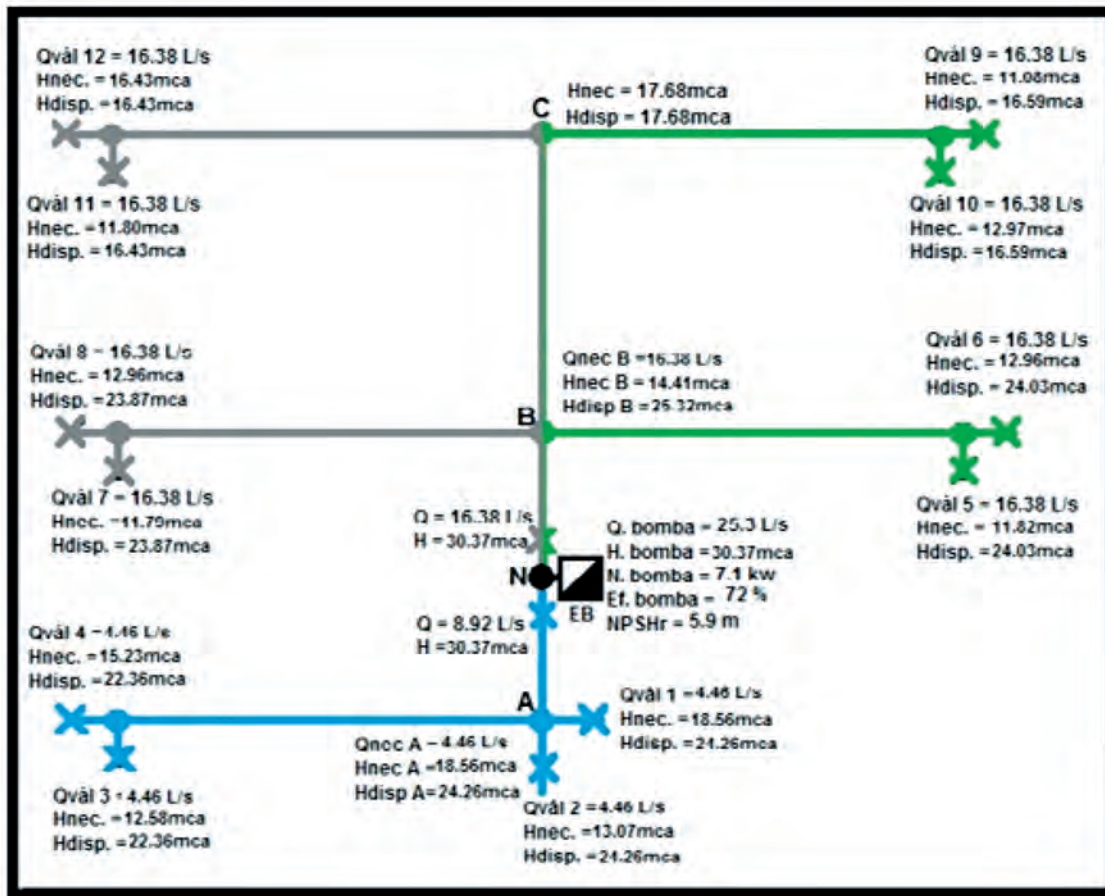


FIGURE 2.-General scheme of exploitation of the farm's irrigation area  
 FIGURA 2.- Esquema general de explotación del área de riego de la finca.

Next, the parameters of operation of the selected bomb are presented (Table 10).

A continuación, se presentan los parámetros de operación de la bomba seleccionada (Tabla 10).

TABLE 10.- Operational parameters of the selected pump  
 TABLA 10.-Parámetros de operación de la bomba seleccionada

BRAND	Discharge (L/s)	Pressure (kPa)	Power (kW)	Efficiency (%)	NPSHr
Pump:6S181B/2B	25.3 L/s	406.7 kPa	7.1 kW	72 %	5.9 m

### Analysis of the results of the selection of the photovoltaic solar arrangement

In the Tables 11, 12 and 13, the necessary parameters are described for the selection of the photovoltaic pump, parameters for the calculation of the necessary current and parameters of design of the solar arrangement, respectively

Pump Grundfus SQF 2.5-2 N, (Table 11a), encapsulated, stainless steel, maximum temperature = 40°C. Three-speed motor and protection against dry running. High performance engine of permanent magnet, and over-voltage and under-voltage protection. Protection against maximum power tracking point. Panels with 50 W of power of the polycrystalline and amorphous silicon type, inclined. Nominal power and voltage = 0.24 kW and 152 kW, respectively. Orientation (0° = south; 90° west; 180° north; 270° east) (Azimuth  $\alpha = 0^\circ$ ) and Tilt angle  $\beta = 21^\circ$ .

### Análisis de los resultados de la selección del arreglo solar fotovoltaico

En las Tablas 11, 12 y 13, se describen los parámetros necesarios para la selección de la bomba fotovoltaica, parámetros para el cálculo de la corriente necesaria y parámetros de diseño del arreglo solar, respectivamente.

Bomba Grundfus SQF 2.5-2 N (Tabla 11a), encapsulada, de acero inoxidable (1.4401/AISI 316), temperatura máxima = 40 °C. Motor de tres velocidades; y protección contra la marcha en seco. De alto rendimiento del motor, de imán permanente y protección sobre voltaje y bajo voltaje. Protección contra máximo punto de rastreo de potencia. Paneles con 50 W de potencia del tipo silicio policristalino y amorfo, inclinados. Potencia y tensión nominal 0,24 kWp y 152 V, respectivamente. Orientación (0°=sur, 90°=oeste, 180°= norte, 270°=este (Acimut  $\alpha=0$  y) ángulo de inclinación  $\beta= 21^\circ$ .

**TABLE 11.- Parameters necessary for the selection of photovoltaic pump**  
**TABLA 11.-Parámetros necesarios para la selección de la bomba fotovoltaica**

<b>Volume of water needed per day</b>	<b>6</b>	<b>m<sup>3</sup>/d</b>
Site insolation	8	h pico/día
Pumping regime	2	m <sup>3</sup> /h
Static charge	6	m
Friction charge	4	m
Total charge	10	m

**TABLE 11a.- Information of the set Pump –Engine**  
**TABLA 11a.- Información del par Bomba-Motor**

<b>Brand</b>	<b>Grundfus</b>
Model	SQF 2.5-2 N
Pump type	Centrifuge
Engine type	MSF3 N
Operating voltage	30-300 V
Pump efficiency	80%

**TABLE 12.- Parameters for calculating the required current**  
**TABLA 12.-Parámetros para el cálculo de la corriente necesaria**

<b>Need daily water volume</b>	<b>6</b>	<b>m<sup>3</sup>/d</b>
Total dynamic charge	10	mca
Hydraulic energy	23760	Wh/d
Pump efficiency	0.8	
Energy of photovoltaic arrangement	32400	Wh/d
Nominal voltage of the system	300	volt
Electric charge	27.5	Ah/d
Driver performance factor	0.95	
Corrected electric charge	28.6	Ah/día
Site insolation	8	h pico/d
Project current	7	Amp

**TABLE 13.- Design parameters for solar arrangement**  
**TABLA 13.-Parámetros de diseño del arreglo solar**

<b>Project current</b>	<b>7</b>	<b>Amp</b>
Modulus reduction factor	0.85	
Module Current Imp.	0.329	Amp
Nominal system voltage	200	Volt
Voltaje del módulo	152	Volt
Serial modules	1	U
Parallel modules	3	U
Photovoltaic arrangement capacity	1.13	kW

Using biogas for cooking food and lighting, 33069 m<sup>3</sup> of methane gas are no longer emitted into the atmosphere per year, in turn, the biomass energy produced, contributes to avoid the use of 5.7 Tn of equivalent oil per year, which constitutes a limited resource, and emits harmful gases towards the ozone layer such as NO<sub>x</sub>; CO<sub>2</sub>; HC and SO<sub>2</sub>, which when burned can cause acid rain.

The sludge from the digester is an excellent fertilizer, and it replaces the use of chemical fertilizers, saving time and financial resources for the farmer. The water treatment from the reactor removes a considerable amount of total volatile solids and DBO<sub>5</sub> and allow releasing according to the Cuban Standards.

Al utilizar el biogás para la cocción de alimentos y el alumbrado se dejan de emitir a la atmósfera 33 069 m<sup>3</sup> de gas metano al año, a su vez la energía biomasa producida contribuye a evitar el uso de 5,7 toneladas de petróleo equivalentes al año, el cual constituye un recurso agotable, que emite gases nocivos hacia la capa de Ozono como NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, HC y SO<sub>2</sub>, los cuales al combustionar pueden provocar lluvias ácidas.

El lodo que sale del digester es un excelente fertilizante, este sustituiría el uso de fertilizantes químicos ahorrando tiempo y recursos financieros al agricultor. El tratamiento del agua que sale del reactor remueve una cantidad considerable de sólidos volátiles totales y de DBO<sub>5</sub> y posibilita su vertimiento de acuerdo a las normas cubanas establecidas.

Drip irrigation systems allow using water and energy efficiently and humanize the irrigation activities and apply irrigation outer the maximum electric consume, as well as increasing food production for markets and sale points. Photovoltaic solar energy is an ecological and economical solution in communities far from the *SEN*, it is expected to produce energy at 2.6 t/year of equivalent oil per year and contributes to reducing exports.

El establecimiento del sistema de riego por goteo permite utilizar el agua y la energía de manera eficiente y humaniza las labores, es compatible con el riego fuera del horario del pico eléctrico y propició el incremento de la producción de productos agropecuarios para los mercados y puntos de ventas. La energía solar fotovoltaica constituye una solución ecológica y económica en comunidades alejadas del *SEN*, se prevé producirá energía a 2,6 t/año de petróleo equivalente y contribuye a reducir exportaciones.

La Tabla 14 presenta la valoración cualitativa de ahorro energético, el agua y ambiental.

**TABLE 14.- Qualitative assessment of energy, water and environmental savings**  
**TABLA 14.- Valoración cualitativa de ahorro energético, el agua y ambiental**

<b>Anaerobic biodigester</b>		
Volume of methane retained from the atmosphere	33069	m <sup>3</sup> /year
Equivalent energy produced from biomass	56940	kWh/year
Tons of oil saved	5.7	Tn/year
<b>Emissions retained for oil savings</b>		
NO <sub>x</sub>	204.6	kg/year
CO <sub>2</sub>	13.8	kg/year
CO	47.9	kg/year
HC	5.00	kg/year
SO <sub>2</sub>	5.9	kg/year
Organic fertilizer produced	97.1	Tn/year
DBO avoided from receptor bodies	3168	kg/DBO/year
<b>Photovoltaic generator</b>		
Produced energy	26280	kWh/year
Tons of oil saved	2.6	Tn/year
<b>Emissions retained for oil savings</b>		
NO <sub>x</sub>	30.7	kg/year
CO <sub>2</sub>	2.1	kg/year
CO	7.19	kg/year
HC	0.75	kg/year
SO <sub>2</sub>	0.88	kg/year

**CONCLUSIONS**

- The proposed solutions encourage the application of a closed-cycle production process on the Milian farm and contribute to food production through environmentally friendly alternatives.
- It is not advisable to reuse treated wastewater for crop irrigation and other agricultural activities without taking into account the bacteriological quality of the effluent.
- The biogas plant allows the use of the farm’s biodegradable potential and has a positive social and environmental impact.
- The proposed solar photovoltaic arrangement is compatible with the supply needs of the farm and does not conceive a battery to store the photovoltaic solar energy produced so as not to increase the purchase price of the solar module.

**AUTHOR CONTRIBUTIONS:**

Conceptualization: P. Vargas. Data curation: O. da Silva. P. Vargas. Formal analysis: O. da Silva. P. Vargas. A. Dorta. I. Hernández. A. Méndez. Investigation: O. da Silva. P. Vargas.

**CONCLUSIONES**

- Las soluciones propuestas propician la aplicación de un proceso productivo de ciclo cerrado en la finca Los Milian y contribuye a la producción de alimentos por medio de alternativas respetuosas del medioambiente.
- No es conveniente el reúso de las aguas residuales tratadas para el riego de cultivos y en otras actividades agrícolas sin tener en cuenta la calidad bacteriológica del efluente.
- La planta de biogás permite el aprovechamiento del potencial biodegradable de la finca y conllevan un impacto social y ambiental positivo.
- El arreglo solar fotovoltaico propuesto es compatible con las necesidades de abasto de la finca y no concibe batería para almacenar la energía solar fotovoltaica producida para no incrementar el precio de adquisición del módulo solar.

**AUTHOR CONTRIBUTIONS:**

Conceptualization: P. Vargas. Data curation: O. da Silva. P. Vargas. Formal analysis: O. da Silva. P. Vargas. A. Dorta. I. Hernández. A. Méndez. Investigation: O. da Silva. P. Vargas.

A. Dorta. I. Hernández. A. Méndez. Methodology: O. da Silva. P. Vargas. A. Dorta. I. Hernández. A. Méndez. Supervision: . O. da Silva. P. Vargas. A. Dorta. I. Hernández. A. Méndez. Roles/ Writing, original draft: O. da Silva. P. Vargas. Writing, review & editing: O. da Silva. P. Vargas.

A. Dorta. I. Hernández. A. Méndez. Methodology: O. da Silva. P. Vargas. A. Dorta. I. Hernández. A. Méndez. Supervision: O. da Silva. P. Vargas. A. Dorta. I. Hernández. A. Méndez. Roles/ Writing, original draft: O. da Silva. P. Vargas. Writing, review & editing: O. da Silva. P. Vargas.

## REFERENCES

- ACUÑA, M.: *Manual Técnico para Construcción y Mantenimiento de Biodigestores*, 1984.
- ALLEN, R.G.: *Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*, Ed. Food & Agriculture Org., vol. 56, 2006, ISBN: 92-5-304219-2.
- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M.: "Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56", *FAO Irrigation and Drainage Paper*, 56(9): 300, Fao, Rome, Italy, 1998, ISSN: 0254-5293.
- BLOOS, H.; GENTHNER, M.; HEINEMANN, D.; JANSSEN, A.; MORAES, R.: "Photovoltaic Pumping Systems", *EuroSun96*,: 583-589, 1996.
- BLOOS, H.; M GENTHNER; HEINEMANN, D.; JANSSEN, A.; MORAES, R.: "Photovoltaic Pumping System-An Analysis of Two Concepts", En: *14th European Photovoltaic Solar Energy Conference*, Barcelona, España, 1997.
- BOTERO, R.; PRESTON, T.R.: *Low-cost biodigester for production of fuel and fertilizer from manure*, Cali, Colombia, 1-20 p., 1986.
- BULTÉ, F.: *Análisis Técnico Económico comparativo de los sistemas de bombeo manual, eólico, fotovoltaico y diésel utilizados para el suministro de agua en zonas rurales*, Inst. Centro de Investigaciones de Energía Solar, Reporte interno, La Habana, Cuba, 1995.
- DÍAZ, M.M.: *Tratamiento de residuales por sistemas naturales*, Inst. Centro de Estudio de Ingeniería de Procesos. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Monografía para la Asignatura Procesos de Autodepuración de la Maestría de Ingeniería en Saneamiento Ambiental, La Habana, Cuba, 2002.
- FAO (PMA); MINAG-CUBA: "*Proyecto VAM. Análisis y Mapificación de la Vulnerabilidad en Cuba*", Inst. FAO- Ministerio de la Agricultura, Proyecto VAM, La Habana, Cuba, 1999.
- MALALASEKERA, S.: *Propuesta para la protección del medioambiente y la utilización racional del agua y la energía para producir alimentos*, Universidad de Oriente, Tesis de Ingeniería. Especialidad de Ingeniería Hidráulica, Santiago de Cuba, Cuba, 2015.
- PIZARRO, C.F.: *Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF)*, Ed. Ediciones Mundi-Prensa, 3a edición revisada y ampliada ed., Madrid, España, 511 p., Ediciones Mundi-Prensa (Madrid. Barcelona. México), 1996, ISBN: 84-7114-610-X.
- PIZARRO, F.: *Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos*, Ed. Editorial Agrícola Española, S.A., 2a Edición ed., Madrid, España, 541 p., 1985, ISBN: 84-85441-00-1.
- SAVRAN, V.: *Una solución energético-ambiental para reducción de contaminantes agropecuarios, como contribución al manejo integrado de la cuenca Zaza*, Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos, Tesis en opción al título de Master en Gestión Ambiental y Protección de los Recursos Naturales, Matanzas, Cuba, 2005.
- TARJUELO, B.J.M.; JOSÉ, M.: *El riego por aspersión y su tecnología*, Ed. Ediciones Mundi-Prensa, 3ra edición, revisada y ampliada ed., Madrid, España, 2005, ISBN: 84-8476-225-4.
- TARJUELO, M.J.M.: *El riego por aspersión y su tecnología*, Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España, 1995.
- VANEGAS, C.: *Drenaje Agrícola*, Inst. Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, Informe científico, Guatemala, publisher: Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1988.
- VARGAS, R.P.: *Tecnología de riego por succión como alternativa sostenible para la producción de tomate*, Universidad Agraria de la Habana Fructuoso Rodríguez Pérez, PhD. Thesis, CEH, UNICA, Ciego de Ávila, Cuba, 100 p., publisher: Tesis en opción al grado científico de doctor en ciencias técnicas ..., 2008.
- VIGO, R.: *Drenaje Agrícola*, Ed. Editorial Félix Varela, La Habana, Cuba, 2001.

Oswaldo André Paulo Ferreira-da Silva. Aspirante a Grado Científico. Universidad de Ciego de Ávila (UNICA), Centro de Estudios Hidrotécnicos, Ciego de Ávila, Cuba, e-mail: [osvald23000@gmail.com](mailto:osvald23000@gmail.com) ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-1371-4614>

Pável Vargas-Rodríguez, Profesor Titular, Departamento de Ingeniería Hidráulica, Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba, e-mail: [p Vargas@uo.edu.cu](mailto:p Vargas@uo.edu.cu) ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-3316-0898>

Abel Dorta-Armaignac, Profesor Auxiliar, Departamento de Ingeniería Hidráulica, Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, Cuba, e-mail: [abel@uo.edu.cu](mailto:abel@uo.edu.cu) ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-4093-971X>

Kaddiel Fernández-Hung, Especialista, Grupo de Difusión Tecnológica Empresa de Cítricos Contramaestre, Santiago de Cuba, Cuba, e-mail: [opp1@geditec.co.cu](mailto:opp1@geditec.co.cu); [kfdezh@gmail.com](mailto:kfdezh@gmail.com) ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-5114-7948>

Ignacio Hernández-Ramírez, Especialista en Proyectos. Empresa Nacional de Proyectos Agropecuarios. UEB Ciego de Ávila. [hidraulico5@enpa.cav.minag.cu](mailto:hidraulico5@enpa.cav.minag.cu) ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-3714-6989>

Alberto Méndez-Jocik, Jefe del Departamento de Diseño, Empresa de Proyectos Ingeniería, La Habana, Cuba, e-mail: [joc4263@gmail.com](mailto:joc4263@gmail.com) ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-7906-8398>

The authors of this work declare no conflict of interests.

This item is under license Reconocimiento-NoComercial de Creative Commons 4.0 Internacional (CC BY-NC 4.0).

The mention of trademarks of specific equipment, instruments or materials is for identification purposes, there being no promotional commitment in relation to them, neither by the authors nor by the publisher.