

Determination of the environmental economic value of a tropical typical dairy farm of Mayabeque, Cuba

Determinación del valor económico ambiental de una lechería típica tropical de Mayabeque, Cuba

Nadia Báez Quiñones¹, Sandra Lok Mejías¹ and C. Gómez Gutiérrez²

¹*Departamento Pastos y Forrajes, Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba*

²*Departamento de Medio Ambiente, Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas, Ave. Salvador Allende No. 1110 e/ Infanta y Rancho Boyeros, Plaza de la Revolución. La Habana, Cuba*
Email: nadia@ica.co.cu

Nadia Báez Quiñones: <https://orcid.org/0000-0001-6499-206X>

Sandra Lok Mejías: <https://orcid.org/0000-0002-2994-1555>

C. Gómez Gutiérrez: <https://orcid.org/0000-0002-7483-8354>

To determine the environmental economic value of a typical dairy farm in Mayabeque province, based on the exploitation of a silvopastoral system with *Leucaena leucocephala*, after 20 years of establishment, the main environmental functions of the agroecosystem were identified, taking into account the theory of total economic value. According to the value category, six functions were identified: milk production, carbon sequestration, nitrogen fixation, soil fertility, soil quality, obtaining renewable energy and biodiversity. Different valuation techniques were applied, depending on each environmental function. The total economic value provided by the livestock ecosystem in the studied year was 52 189.15 USD, which is much higher than if only its productive value had been considered. This research demonstrated the importance of taking into account the environmental economic valuation, as an instrument to achieve the sustainable and integral management of all the components that make up the livestock ecosystems, so that it is possible to achieve their resilience.

Keywords: *environmental functions, livestock, silvopastoral system, total economic value*

In recent years, the relationship between the economy and the environment has begun to boom. Scientific research is beginning to focus on quantifying the value of environmental components. Although some natural resources, such as livestock productions, have a price in the market, this does not contemplate in most cases, the wide variety of environmental functions that add a greater economic value. Generally, this environmental component is disregarded when making decisions related to its management (Rangel *et al.* 2013 and Ferro *et al.* 2016).

Silvopastoral systems (SSP), as a form of livestock production, appear as a sustainable alternative with high economic value, mainly due to the optimal use that is achieved from the strata that make up its vegetation. In addition, they constitute a natural reservoir of high biomass productions, which not only allows the creation of carbon sump in the form of trees and timber products, but also promotes an increase of the biodiversity in the agroecosystem. This favors the conservation of existing

Para determinar el valor económico ambiental de una lechería típica de la provincia Mayabeque, basada en la explotación de un sistema silvopastoral con *Leucaena leucocephala*, luego de 20 años de establecido, se identificaron las principales funciones ambientales del agroecosistema, teniendo en cuenta la teoría del valor económico total. Según la categoría de valor, se identificaron seis funciones: producción de leche, retención de carbono, fijación de nitrógeno, fertilidad del suelo, calidad del suelo, obtención de energía renovable y biodiversidad. Se aplicaron diferentes técnicas de valoración, en dependencia de cada función ambiental. El valor económico total aportado por el ecosistema ganadero en el año estudiado fue de 52 189.15 USD, lo que es muy superior a si solo se hubiese considerado su valor productivo. Este trabajo demostró la importancia de tener en cuenta la valoración económica ambiental, como instrumento para lograr el manejo sostenible e integral de todos los componentes que conforman los ecosistemas ganaderos, de modo que sea posible lograr su resiliencia.

Palabras clave: *funciones ambientales, ganadería, sistema silvopastoral, valor económico total*

En los últimos años, la relación entre economía y medio ambiente ha comenzado a tomar auge. Las investigaciones científicas se empiezan a centrar en la cuantificación del valor de los componentes ambientales. Si bien algunos recursos naturales, como las producciones ganaderas, poseen un precio en el mercado, este no contempla en la mayoría de los casos, la amplia variedad de funciones ambientales que le añaden un valor económico mayor. Generalmente, este componente ambiental se desestima al tomar decisiones relacionadas con su manejo (Rangel *et al.* 2013 y Ferro *et al.* 2016).

Los sistemas silvopastoriles (SSP), como forma de producción ganadera, se muestran como una alternativa sostenible y de elevado valor económico, debido fundamentalmente al óptimo aprovechamiento que se logra hacer de los estratos que forman su vegetación. Además, constituyen un reservorio natural de elevadas producciones de biomasa, lo que no solo permite la creación de sumideros de carbono en forma de árboles y productos maderables, sino que propicia el aumento de la biodiversidad del

natural resources, as well as increasing food availability for livestock production (Miranda *et al.* 2008 and López-Vigoa *et al.* 2017).

It is necessary to economically value the different environmental functions of the agroecosystem under study, as a basis to enhance its integral management and achieve its sustainability. The objective of this study was to determine the environmental economic value of a typical dairy farm in Mayabeque province, based on the exploitation of a silvopastoral system (SSP) with *Leucaena leucocephala*, after 20 years of continuous production.

Materials and Methods

The study was carried out in Genético 3 dairy farm, a typical tropical dairy, which belongs to the Dirección de Innovación y Tecnologías Aplicadas (DITA) of the Institute of Animal Science (ICA), in Mayabeque province, Cuba.

This facility is located at 22093' North and 82001 longitude west, at an altitude of 80 m a.s.l. (National Atlas of Cuba 1989) and has 53 ha of soils, mainly hydrated red ferralitic type (ferralsol). It is based on an SSP with 20 years of exploitation with *Megathyrsus maximus* Jacq (guinea) grass and the shrub legume *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit cv. Peru. Early leucaena population was 9,014 trees per hectare. In the 10th year of establishment, a pruning was carried out, so the legume population decreased by approximately 20 %. In the studied year, trees were taller than 2 m, so they were not a food source for livestock, although the SSP continue to provide the rest of the associated environmental benefits. Cattle was composed by Holstein, Siboney and mestizo breed cows. Mean stocking rate was 1.8 LAU ha⁻¹ in the last five years. Animals received a concentrate starting at 3 L milk/d to meet their requirements and achieve the desired milk production. Rotation time was every 57 and 28 d on average, in dry and rainy season, respectively.

In this research, different environmental economic valuation techniques were applied in the SSP. The theory of total economic value (TEV) was the methodological approach used for identifying the environmental goods and services provided by the livestock ecosystem and for evaluating them economically, based on already recognized techniques in the references. This allowed to separate the valuation of environmental goods and services according to their use. Dixon and Pagiola (1998) have reviewed this theory and Ferro *et al.* (2016) have carried out the economic evaluation of the environmental impacts of an ecological reserve in Havana. Ripka de Almeida *et al.* (2018) discussed on different methods of environmental economic valuation used in four countries, and Alonso Vázquez *et al.* (2020) determined the total economic value of a dairy farm in Pinar del Río province.

agroecosistema. Con ello se favorece la conservación de los recursos naturales existentes, así como el aumento de la disponibilidad de alimento para la producción ganadera (Miranda *et al.* 2008 y López-Vigoa *et al.* 2017).

Resulta necesario valorar económicamente las diferentes funciones ambientales que posee el agroecosistema en estudio, como base para potenciar su manejo integral y conseguir su sostenibilidad. El objetivo de este trabajo fue determinar el valor económico ambiental de una lechería típica de la provincia Mayabeque, basada en la explotación de un sistema silvopastoril (SSP) con *Leucaena leucocephala*, luego de 20 años de producción continua.

Materiales y Métodos

El estudio se desarrolló en la vaquería Genético 3, lechería típica tropical, que pertenece a la Dirección de Innovación y Tecnologías Aplicadas (DITA) del Instituto de Ciencia Animal (ICA), de la provincia Mayabeque, Cuba.

Esta instalación se ubica en los 22093' latitud Norte y los 82001 longitud Oeste, a una altura de 80 m s.n.m. (Atlas Nacional de Cuba 1989) y cuenta con 53 ha de suelos, fundamentalmente de tipo ferralítico rojo hidratado (ferralsol). Se basa en un SSP con 20 años de explotación a partir de la gramínea *Megathyrsus maximus* Jacq (guinea) y la leguminosa arbustiva *Leucaena leucocephala* (Lam.) De Wit vc. Perú. La población de leucaena en sus inicios fue de 9014 árboles por hectárea. En el año 10 de establecido se realizó una poda, por lo que disminuyó la población de la leguminosa aproximadamente en 20 %. En el año estudiado, los árboles tenían una altura superior a 2 m, por lo que no constituían una fuente de alimento para el ganado, aunque el SSP sí continuaba aportando el resto de los beneficios ambientales asociados. Constituían el ganado vacas de la raza Holstein, Siboney y mestizo. La carga animal promedio fue 1.8 UGM ha⁻¹ en los últimos cinco años. Los animales recibían un concentrado a partir de los 3 L leche/d para cubrir sus requerimientos y alcanzar la producción de leche deseada. El tiempo de rotación fue cada 57 y 28 d como promedio, en la época poco lluviosa y lluviosa, respectivamente.

En esta investigación se aplicaron diferentes técnicas de valoración económica ambiental en el SSP. El enfoque metodológico que se utilizó fue la teoría del valor económico total (VET) para identificar los bienes y servicios ambientales aportados por el ecosistema ganadero y valorarlos económicamente, a partir de técnicas ya reconocidas en la literatura. Ello permitió separar la valoración de los bienes y servicios ambientales según su uso. Dixon y Pagiola (1998) han reseñado esta teoría y Ferro *et al.* (2016) han realizado la evaluación económica de los impactos ambientales de una reserva ecológica en La Habana. Ripka de Almeida *et al.* (2018) discuten sobre diferentes métodos de valoración económica ambiental empleados en cuatro países, y Alonso Vázquez *et al.* (2020) determinan el valor económico total de una lechería en la provincia de Pinar del Río.

The TEV is composed of the use value (UV) and the non-use value (NUV) (equation 1). The use value is divided into the direct use value (DUV), which refers to the resource obtained by the development of a certain activity; indirect use value (IUV), which are those benefits derived from the functioning of ecosystems, and option value (VO), which has to do with the possibility of using or not using the environmental resource in the future (equation 2). In turn, the DUV is divided into consumptive, which refers to goods that can be extracted, consumed or enjoyed directly; and non-consumptive, which includes those values derived from recreation and science. Non-use value is divided into bequest value (BV) and existence value (EV) (equation 3). The first refers to the possibility that the resource will be consumed by future generations, and the second refers to the value given to a certain resource, just by knowing that it exists (Pearce and Moran 1994 and Dixon and Pagiola 1998).

$$TEV=UV + NUV \quad (1)$$

$$UV=DUV + IUV + OV \quad (2)$$

$$NUV=BV + EV \quad (3)$$

For the environmental function of milk production, gross profit technique was used (Rangel *et al.* 2013 and Ferro *et al.* 2016). Economic and productive efficiency data, registered by DITA during the year 2020, were used, such as income and expenses of the dairy farm in the period of interest, percentage of milking cows and liters of milk per cow per day.

To determine the carbon stored in soil (CSS), the method used by Miranda *et al.* (2007, 2008) was applied, based on the area, apparent density, sampling depth and organic matter contained in soil. According to the international literature, CSS is obtained by dividing the percentage of organic matter (% OM) by 1.7 (McVay and Rice 2002). To determine the organic matter, four samplings were carried out, in which two diagonals of the area were selected, and a homogeneous sample was taken in five points, from 0 to 20 cm deep in each, according to Henríquez and Cabalceta (1999). In this way, the CSS in t C ha⁻¹ was obtained from the area (ha), apparent density (t/m³), soil sampling depth (m) and its carbon fraction (% CS/100). For the economic valuation of this function, the carbon stored in soil in the entire area was multiplied by the average price of a carbon ton in the international market. Ferro *et al.* (2016) suggested that this price ranges between 5 and 10 USD. In a study developed by Miranda *et al.* (2008) was 10 USD. Portela Peñalver *et al.* (2019) took the value of 5 USD, reported by the World Bank, as well as Rodríguez Córdova *et al.* (2017). This study takes into account the price of 8 USD, since it is an average value of those reported in the references.

Nitrogen fixation and soil fertility were determined from the study of agrochemical indicators of the

El VET se compone del valor de uso (VU) y el valor de no uso (VNU) (ecuación 1). El valor de uso se divide en el valor de uso directo (VUD), que se refiere al recurso que se obtiene por el desarrollo de cierta actividad; el valor de uso indirecto (VUI), que son aquellos beneficios que se derivan del funcionamiento de los ecosistemas, y el valor de opción (VO), que tiene que ver con la posibilidad de utilizar o no el recurso ambiental en el futuro (ecuación 2). A su vez, el VUD se divide en consuntivo, que se refiere a bienes que pueden ser extraídos, consumidos o disfrutados directamente; y no consuntivo, que comprende aquellos valores derivados de la recreación y la ciencia. El valor de no uso se divide en valor de legado (VL) y valor de existencia (VE) (ecuación 3). El primero se refiere a la posibilidad de que el recurso sea consumido por las generaciones futuras, y el segundo al valor que se le otorga a cierto recurso, solo por el hecho de saber que existe (Pearce y Moran 1994 y Dixon y Pagiola 1998).

$$VET=VU + VNU \quad (1)$$

$$VU=VUD + VUI + VO \quad (2)$$

$$VNU=VL + VE \quad (3)$$

Para la función ambiental de producción de leche se utilizó la técnica del beneficio bruto (Rangel *et al.* 2013 y Ferro *et al.* 2016). Se utilizaron los datos económicos y de eficiencia productiva, registrados por la DITA durante el año 2020, como son los ingresos y gastos de la vaquería en el período de interés, por ciento de vacas en ordeño y litros de leche por vaca por día.

Para determinar el carbono almacenado en el suelo (CAS) se aplicó el método utilizado por Miranda *et al.* (2007, 2008) a partir del área, la densidad aparente, la profundidad de muestreo y la materia orgánica contenida en el suelo. Según la literatura internacional, el CAS se obtiene de la división del porcentaje de materia orgánica (% MO) entre 1.7 (McVay y Rice 2002). Para determinar la materia orgánica se realizaron cuatro muestreos, en los que se seleccionaron dos diagonales del área, y se tomó una muestra homogénea en cinco puntos, de 0 a 20 cm de profundidad en cada una de ellas, según Henríquez y Cabalceta (1999). De esta manera se obtuvo el CAS en t C ha⁻¹ a partir del área (ha), la densidad aparente (t/m³), la profundidad de muestreo del suelo (m) y su fracción de carbono (% CS/100). Para la valoración económica de dicha función se multiplicó el carbono almacenado en el suelo en la totalidad del área por el precio promedio de la tonelada de carbono en el mercado internacional. Ferro *et al.* (2016) plantean que este precio oscila entre 5 y 10 USD. En el estudio desarrollado por Miranda *et al.* (2008) fue de 10 USD. Portela Peñalver *et al.* (2019) toman el valor de 5 USD, reportado por el Banco Mundial, al igual que Rodríguez Córdova *et al.* (2017). En este estudio se toma el precio de 8 USD, ya que es un valor promedio de los que se han informado en la literatura.

La fijación de nitrógeno y la fertilidad del suelo se determinaron a partir del estudio de los indicadores agroquímicos del pastizal silvopastoril de la lechería. Se

silvopastoral grassland of the dairy farm. Total nitrogen percentage and pH values were taken into account. Its economic value was obtained from the avoided costs for maintenance inorganic fertilization, as recommended by Milera *et al.* (2017) for guinea grass.

For soil quality function, visual soil assessment (VSA) was seasonally determined each year, according to Shepherd (2008). Five representative points were taken for the visual determination of texture, structure and consistence, porosity, color, earthworm content, depth of root penetration, ponding, surface coverage and soil erosion. In addition, an undisturbed reference point was taken to have greater precision to determine the natural coloration of that soil, without the effects of cultivation, as well as to compare structure and porosity. The test was always carried out in soils with adequate humidity (between 60 and 80 %), for which the "worm test" was carried out. This consists of taking soil in the palm of the hand and rolling it to make a small "worm" that is 5 cm long and 0.4 cm in diameter. If the soil cracks and breaks before finishing, it means that it has adequate humidity. On the contrary, if the soil acquires a "worm" shape, it is because it has too much moisture. Each sampling point was taken in a square 20 cm wide by 20 cm long by 30 cm deep. An index higher than 30 indicates that soil conditions are good, which is due to an adequate management of the system, and this allows rehabilitation labors to be stopped. Its economic value was obtained from the avoided costs for grassland rehabilitation, based on what was reported by Padilla *et al.* (2009).

In the case of the function of obtaining renewable energies, feasibility of building a biodigester was studied. With it, it is possible to obtain the electric energy, necessary for the daily work at the dairy farm, from the collected excreta. For this, indicators for electric energy production in biodigesters with bovine excretions were used, reported for Cuba by Suárez-Hernández *et al.* (2018). Savings of the dairy farm, thanks to the payment of electric energy, if the biodigester is built, constitutes an environmental benefit and, therefore, a part of the economic value of this function.

To calculate plant biodiversity of the dairy ecosystem, Shannon (H) index was taken into account, according to the methodology indicated by Shannon and Weaver (1949). The economic value was obtained from the avoided costs, attributable to that environmental service. These were calculated as the product of days necessary to control weeds in the studied area and the cost of mean salary of a worker, for which the research of Miranda *et al.* (2008) was taken as a reference.

Results and Discussion

In the livestock agroecosystem, six environmental functions were identified, which were grouped by their value category, according to the TEV theory (figure 1).

tuvieron en cuenta los valores de por ciento de nitrógeno total y pH. Su valor económico se obtuvo a partir de los costos evitados por concepto de fertilización inorgánica de mantenimiento, según lo recomendado por Milera *et al.* (2017) para el pasto guinea.

Para la función calidad del suelo se determinó el índice de calidad visual del suelo (ICV) de manera estacional en cada año, según Shepherd (2008). Se tomaron cinco puntos representativos para la determinación visual de la textura, estructura y consistencia, porosidad, color, contenido de lombrices, profundidad de penetración de las raíces, encharcamiento, cobertura superficial y erosión del suelo. Además, se tomó un punto de referencia no disturbado para tener mayor precisión para determinar la coloración natural de ese suelo, sin los efectos del cultivo, así como para comparar la estructura y la porosidad. La prueba se realizó siempre en suelos con humedad adecuada (entre 60 y 80 %), para lo que se realizó la prueba del gusano o tabaquito. Esta consiste en tomar suelo en la palma de la mano y enrollarlo para hacer un tabaquito de 5 cm de largo y 0.4 cm de diámetro. Si el suelo cruje y se rompe antes de terminar, significa que posee humedad adecuada; si se hace el gusanito, es que posee demasiada humedad. Cada punto de muestreo se tomó en un cuadro de 20 cm de ancho por 20 cm de largo por 30 cm de profundidad. Un índice superior a 30 indica que las condiciones del suelo son buenas, lo que se debe a un manejo adecuado del sistema, y esto permite que se dejen de realizar labores de rehabilitación. Su valor económico se obtuvo a partir de los costos evitados por concepto de rehabilitación del pastizal, a partir de lo informado por Padilla *et al.* (2009).

En el caso de la función de obtención de energías renovables, se estudió la factibilidad de construir un biodigester. Con él es posible a partir de las excretas recolectadas en la vaquería obtener la energía eléctrica necesaria para las labores diarias de la vaquería. Para ello se emplearon los indicadores para la producción de energía eléctrica en biodigestores con excretas bovinas, informados para Cuba por Suárez-Hernández *et al.* (2018). El ahorro por concepto de pago de energía eléctrica que tiene la lechería, si se construye el biodigester, constituye un beneficio ambiental y por tanto, una parte del valor económico de esta función.

Para el cálculo de la biodiversidad vegetal del ecosistema lechero se tuvo en cuenta el índice de Shannon (H), según la metodología indicada por Shannon y Weaver (1949). El valor económico se obtuvo a partir de los costos evitados, adjudicables a dicho servicio ambiental. Estos se calcularon como el producto de las jornadas necesarias para controlar las malezas en el área estudiada y el costo del salario medio de un obrero, para lo que se tomó como referencia el trabajo de Miranda *et al.* (2008).

Resultados y Discusión

En el agroecosistema ganadero se identificaron seis funciones ambientales, que se agruparon por su categoría de valor, de acuerdo con la teoría del VET (figura 1).

They were, then, economically evaluated, and their VET was determined.

Luego se valoraron económicamente y se determinó su VET.

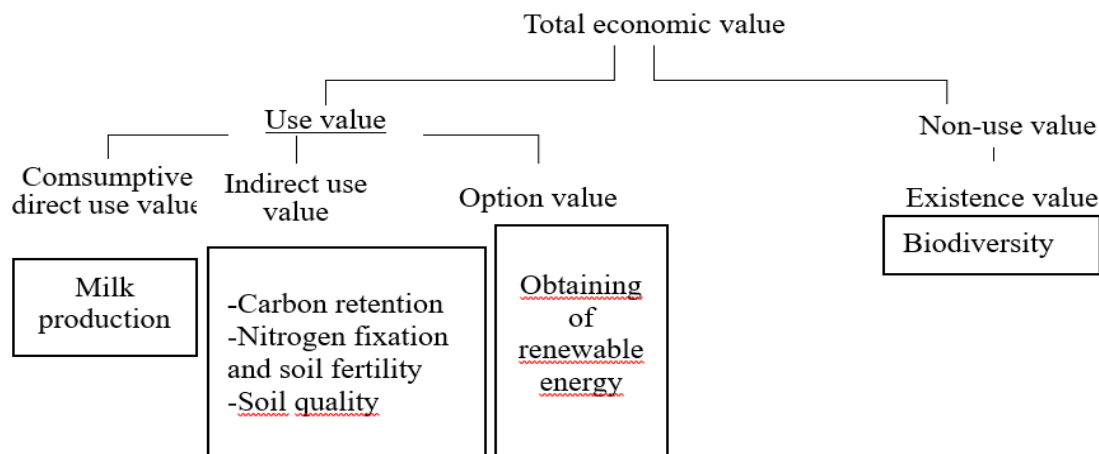


Figure 1. Scheme of total economic value of the livestock agroecosystem, according to the main environmental functions identified

Milk production. The application of gross profit technique allowed to calculate, in 2020, an economic value of 17 669.60 USD as an average for this function. This is an acceptable value, considering that the dairy farm is composed by 87 cows, and 62.4 % are under milking, and each one provides an average of eight milk liters per day. These values correspond to those reported in Cuba by del Pozo (2019), who registered between 6-12 L/cow/d. They are very close to those obtained by Iglesias *et al.* (2017), who reported between 6.7-10.1 L/cow/d in SSP with leucaena, also in Cuba. In this research, milk production per hectare in the year studied was 1,667 L/ha, which shows an adequate use of the land resource. A total of 88 348 liters were produced in that year and the price per liter of milk was 0.20 USD.

With respect to carbon sequestration, in this study values were found in the depth from 0 to 20 cm, which were between 33 and 40 t C ha⁻¹, and an economic value of 292 USD/ha was recorded. The economic value of this function was estimated at 15 476 USD for the 53 ha under study. This figure is a small part of what carbon sequestration function actually represents in the studied ecosystem, since the carbon stored in the aerial and necrotic biomass was not considered. Miranda *et al.* (2008) stated that 75 % of the carbon stored in soil is located between 20 and 80 cm deep, which was not the study object of this research. Alonso Vázquez *et al.* (2020) found CSS values in the first 14 cm deep, between 26-35 t C ha⁻¹, with an economic value of 213.50 USD/ha, results that are inferior to those obtained in this study.

Regarding nitrogen fixation and soil fertility, it is known that *L. leucocephala* has high potential, as it is a rich source of protein for animal feed and because it fixes nitrogen to the soil. Studies carried out by Bueno and Camargo (2015) and Cubillos-Hinojosa *et al.* (2021) indicate nitrogen levels in the soil from

Producción de leche. La aplicación de la técnica de beneficio bruto permitió calcular en el año 2020 un valor económico de 17 669.60 USD como promedio para dicha función. Este es un valor aceptable, si se tiene en cuenta que la vaquería tiene 87 vacas, y de ellas 62.4 % se encuentra en ordeño, y cada una aporta un promedio de ocho litros de leche al día. Estos valores se corresponden con los informados en Cuba por del Pozo (2019), quien registró entre 6-12 L/vaca/d. Son muy cercanos a los obtenidos por Iglesias *et al.* (2017), quienes refirieron entre 6.7-10.1 L/vaca/d en SSP con leucaena, también en Cuba. En esta investigación, la producción de leche por hectárea en el año estudiado fue de 1667 L/ha, lo que demuestra un uso adecuado del recurso tierra. Se produjeron en ese año un total de 88 348 L y el precio del litro de leche fue de 0.20 USD.

Con respecto a la retención de carbono, en este estudio se encontraron valores en la profundidad de 0 a 20 cm, que estuvieron entre 33 y 40 t C ha⁻¹, y se registró un valor económico de 292 USD/ha. El valor económico de esta función se estimó en 15 476 USD para las 53 ha objeto de estudio. Esta cifra es una pequeña parte de lo que realmente representa la función de retención de carbono en el ecosistema estudiado, ya que no se consideró el carbono almacenado en la biomasa aérea ni en la necrosada. Miranda *et al.* (2008) plantean que 75% del carbono almacenado en el suelo se encuentra entre los 20-80 cm de profundidad, las que no fueron objeto de estudio en este trabajo. Alonso *et al.* (2020) encontraron valores de CAS en los primeros 14 cm de profundidad, entre 26-35 t C ha⁻¹, con valor económico de 213.50 USD/ha, resultados que son inferiores a los obtenidos en este estudio.

En cuanto a la fijación de nitrógeno y a la fertilidad del suelo, se conoce que *L. leucocephala* tiene alto potencial, por ser una fuente rica en proteína para la alimentación animal y por fijar nitrógeno al suelo. Estudios realizados por Bueno y Camargo (2015) y Cubillos-Hinojosa *et al.* (2021) señalan niveles de nitrógeno en el suelo desde 150

150 to 250 kg/ha/year, due to the effect of the presence of this tree that belongs to legume family. These plants generate symbiosis with soil microorganisms of *Rhizobium* genus, which create nodules in their roots and allow the symbiotic fixation of N in the soil.

In this study, values of 0.23 % of total nitrogen were found in the 0-10 cm layer of the soil and 0.17 % in the 10-20 cm layer. These values are quite adequate, since a value of 0.25 % is recommended. Lok and Suárez (2014) found mean nitrogen values in ICA soils of 0.23 %. This type of soil has medium fertility, as reported by Febles *et al.* (2015). The pH value was 6.69 and 6.37, at 0-10 cm and 10-20 cm deep, respectively. These figures are very close to 7, that is, to neutrality. This means that nutrients find favorable conditions in the soil to be available for plants, which contributes to the improvement of soil fertility, and brings with it, in that a long term, savings in the fertilization of the area.

In guinea grasslands, it is recommended to carry out a maintenance fertilization per year, of approximately 150 kg/ha of nitrogen, depending on the characteristics of the system (Milera *et al.* 2017 and Sánchez Hernández *et al.* 2019). For this, it is necessary to apply around 326 kg/ha of urea, since it contains 46 % nitrogen, and it costs 0.27 USD per kilo. The economic value of this function was estimated at approximately 4 726 USD for the entire dairy farm, which is the cost avoided by maintenance fertilization in the 53 ha.

When analyzing soil quality, the VSA always showed values above 30 points during the 20 years of SSP production. This value was considered as good and indicated that SSP and its proper management allowed maintaining favorable conditions in soil quality. Therefore, rehabilitation labors in the system were not necessary during this entire period.

Padilla *et al.* (2009) reported the cost of various rehabilitation methods for different grasslands. In the case of guinea grasslands without fertilization, these authors reported a cost of 91.85 USD/ha. Therefore, the approximate total cost of a rehabilitation labor in the dairy farm under study would be 4 868.05 USD. This value is considered the avoided cost by rehabilitation labors that were not necessary in the dairy, thanks to the good soil conditions, which constitutes the economic value of soil quality as an environmental function.

Regarding the obtaining of renewable energy, livestock systems have potential for their production, from the excreta deposited by animals. With the construction of a biodigester, electrical energy can be generated, capable of self-supplying the consumption of the production unit. Each animal can excrete 10 kg per day (Crespo 2018) and the dairy farm is composed by 87 animals, which is equivalent to 870 kg per day, which would be 317 550 kg per year. The unit has a dung-heap and 45% of the excretions can be collected in the

hasta 250 kg/ha/año, por el efecto que tiene la presencia de este árbol que pertenece a la familia de las leguminosas. Estas plantas generan simbiosis con microorganismos del suelo del género *Rhizobium*, que crean nódulos en sus raíces y permiten la fijación simbiótica del N en el suelo.

En este estudio se encontraron valores de 0.23 % de nitrógeno total en la capa de 0-10 cm del suelo y 0.17 % en la capa de 10-20 cm. Estos valores resultan bastante adecuados, ya que se considera que 0.25 % es lo recomendado. Lok y Suárez (2014) encontraron valores promedio de nitrógeno en suelos del ICA de 0.23 %. Este tipo de suelo presenta fertilidad media, según lo reportado por Febles *et al.* (2015). El valor del pH fue de 6.69 y 6.37, de 0-10 cm y de 10-20 cm de profundidad, respectivamente. Estas cifras son muy cercanas a 7, es decir, a la neutralidad. Esto hace que los nutrientes encuentren en el suelo condiciones favorables para estar disponibles para las plantas, lo que contribuye al mejoramiento de la fertilidad del suelo, y trae consigo, a largo plazo, un ahorro por concepto de fertilización en el área.

En pastizales de guinea se recomienda realizar una fertilización de mantenimiento al año, de aproximadamente 150 kg/ha de nitrógeno, en dependencia de las características del sistema (Milera *et al.* 2017 y Sánchez Hernández *et al.* 2019). Para ello es necesario aplicar 326 kg/ha de urea, aproximadamente, ya que la misma tiene 46 % de nitrógeno, y es a 0.27 USD el kilo de este fertilizante. El valor económico de esta función se estimó en 4 726 USD, aproximadamente, para toda la lechería, lo que constituye el costo evitado por la fertilización de mantenimiento en las 53 ha.

Al analizar la calidad del suelo, el ICV mostró siempre valores por encima de 30 puntos durante los 20 años de producción del SSP. Este valor se considera bueno e indicó que el SSP y su manejo adecuado permitieron mantener condiciones favorables en la calidad del suelo. Ello posibilitó que no fuesen necesarias las labores de rehabilitación en el sistema durante todo este período.

Padilla *et al.* (2009) informaron el costo de varios métodos de rehabilitación de diferentes pastizales. En el caso de pastizales de guinea sin fertilización, estos autores informaron un costo de 91.85 USD/ha. Por tanto, el costo total aproximado de una labor de rehabilitación en la lechería objeto de estudio ascendería a 4 868.05 USD. Este valor se considera el costo evitado por labores de rehabilitación que no fueron necesarias en la vaquería, gracias a las prósperas condiciones del suelo, lo que constituye el valor económico de la calidad del suelo como función ambiental.

Si se atiende a la obtención de energía renovable, los sistemas ganaderos tienen potencialidades para su producción, a partir de las excretas depositadas por los animales. Con la construcción de un biodigester se puede generar energía eléctrica, capaz de autoabastecer el consumo de la unidad productiva. Cada animal puede excretar 10 kg diarios (Crespo 2018) y la vaquería cuenta con 87 animales, lo que equivale a 870 kg diarios, que

dairy barn, which is equivalent to 142 898 kg of excreta collected per year. From this amount, it is possible to generate up to 34 MW per year, and the cost price of a MW in Cuba is 260 USD, according to data from the National Electricity Union (Velázquez 2020). The economic value of generation from renewable energy sources is 8 840 USD.

For this function, the calculated value only represents a small portion of the income that can be generated from the biodigester construction. In addition to electrical energy, biogas and organic fertilizer can be obtained (Alonso *et al.* 2020), which means avoided costs for fuel used for cooking food and for the purchase and application of fertilizers, respectively. Despite the construction of the biodigester is a high investment, its recovery period is short due to economic benefits that can be obtained. Another element that must be considered is that this prevents solid waste accumulation, and it is an effective way to treat these wastes.

With regard to biodiversity, biodiversity index (H) of vegetation in the silvopastoral grassland was 1.07, on average. This indicated that SSP maintained stability in the soil-pasture system, which was evident in the high density of base pasture, decrease of weeds and gradual increase of soil fertility (Lok *et al.* 2015). This way, the number of weed control activities was reduced. This performance caused vegetation diversity to decrease, as a result of a correct management, which managed to maintain the grass-legume association in the proportions established by technology (Ruiz *et al.* 2019) to guarantee productivity, efficiency and persistence of the system.

According to the study by Miranda *et al.* (2008), under similar conditions, the number of days dedicated to weed control per hectare per year was reduced to 10. During 2020, mean daily wage of a worker in Cuba, converted to dollars, was obtained from the information provided by DITA. The economic value of the biodiversity function in the dairy rose to 609.50 USD. This is an acceptable figure, considering that only vegetation biodiversity was considered. For subsequent studies, fauna biodiversity associated with the system must be taken into account, which economic value can be calculated from subjective valuation techniques, such as the contingent valuation method or Delphi technique (Pérez Torres 2016).

The total economic value of the Genetic 3 dairy farm is 984.71 USD per hectare, so total economic contributed value by the livestock ecosystem during 2020 was 52 189.15 USD (table 1). The function that contributed the most to total value was milk production, which is the main objective of the dairy farm. It is followed by carbon sequestration function, which could have a higher value if it had been calculated in the rest of the strata of the agroecosystem. On the contrary, biodiversity function was the one with the lowest

serían 317 550 kg anuales. La unidad tiene un estercolero y en la nave se puede recoger 45 % de las excretas, lo que equivale a 142 898 kg de excretas recolectadas al año. A partir de esta cantidad, es posible generar hasta 34 MW anuales, y el precio de costo del MW en Cuba es 260 USD, según datos de la Unión Eléctrica Nacional (Velázquez 2020). El valor económico de la generación de fuentes renovables de energía es de 8 840 USD.

Para esta función, el valor calculado solo representa una ínfima parte de los ingresos que se pueden generar a partir de la construcción del biodigester. Además de energía eléctrica, se puede obtener biogás y abono orgánico (Alonso *et al.* 2020), lo que se traduce en costos evitados por concepto de combustible utilizado para la cocción de alimentos y por compra y aplicación de fertilizantes, respectivamente. A pesar de que la construcción del biodigester es una alta inversión, su período de recuperación es corto por los beneficios económicos que se pueden obtener. Otro elemento que se debe considerar es que con ello se evita la acumulación de residuales sólidos, y resulta una manera efectiva de tratar estos residuales.

En lo que respecta a la biodiversidad, el índice de diversidad biológica (H) de la vegetación en el pastizal silvopastoral fue de 1.07, como promedio. Esto indicó que el SSP mantuvo estabilidad en el sistema suelo-pasto, lo que se evidenció en la alta densidad del pasto base, la disminución de las malezas y el incremento paulatino de la fertilidad del suelo (Lok *et al.* 2015). De esta forma, se redujo el número de actividades de control de arvenses. Este comportamiento produjo que disminuyera la diversidad de la vegetación, como resultado del manejo acertado, que logró que se mantuviera la asociación gramínea-leguminosa en las proporciones que establece la tecnología (Ruiz *et al.* 2019) para garantizar la productividad, eficiencia y persistencia del sistema.

Según el estudio de Miranda *et al.* (2008), en condiciones similares, se redujo a 10 el número de jornadas dedicadas al control de malezas por hectárea al año. Durante el 2020, el salario medio por jornada de un obrero en Cuba, convertido a dólares, se obtuvo de la información brindada por la DITA. El valor económico de la función de biodiversidad en la vaquería ascendió a 609.50 USD. Esta es una cifra aceptable, si se tiene en cuenta que solo se consideró la biodiversidad de la vegetación. Para estudios posteriores se debe tener presente la biodiversidad de la fauna asociada al sistema, cuyo valor económico se puede calcular a partir de técnicas de valoración subjetivas, como el método de la valoración contingente o la técnica de Delphi (Pérez Torres 2016).

El valor económico total de la lechería Genético 3 es de 984.71 USD por hectárea, por lo que el valor económico total aportado por el ecosistema ganadero durante el 2020 fue de 52 189.15 USD (tabla 1). La función que más contribuyó al valor total fue la producción de leche, que es el objetivo principal de la vaquería. Le sigue la función de retención de carbono, que pudo tener un valor mayor si se hubiese calculado en el resto de los estratos

economic value. This can be explained because it was only possible to determine the value associated with plant diversity of the system, and it was not possible to calculate the value of the biodiversity associated with fauna. It is important to highlight the superiority of the total economic value of the system, with respect to if only the productive function of the dairy had been considered.

del agroecosistema. Por el contrario, la función de biodiversidad fue la que menor valor económico tuvo. Esto se puede explicar porque solo se pudo determinar el valor asociado a la diversidad vegetal del sistema, y no se logró calcular el valor de la biodiversidad asociada a la fauna. Es importante resaltar la superioridad del valor económico total del sistema, con respecto a si solo se hubiese tenido en cuenta la función productiva de la lechería.

Table 1. Total economic value of Genético 3 dairy farm per environmental functions

Environmental functions	Total economic value (USD/ha/year)	Total economic value (USD/year)
Milk production	333.40	17669.60
Carbon sequestration	292.00	15476.00
Nitrogen fixation and soil fertility	89.17	4726.00
Soil quality	91.85	4868.05
Obtaining of renewable energies	166.79	8840.00
Biodiversity	11.50	609.50
Total	984.71	52189.15

This integrative analysis of the dairy farm allows managing the livestock activity from a multidimensional point of view. An ecosystem cannot be efficiently managed, if all the generated environmental functions are not taken into account. This way, it is possible to appreciate the different economic benefits that can be obtained from the environmental goods and services offered by these ecosystems, and, thereby, encourage farmers to promote their generation.

In recent years, environmental economic evaluation studies have increased in the Cuban livestock sector. However, these are not enough, considering the function of livestock farming for intensifying environmental problems and its potential for mitigating them (Báez Quiñones 2018).

This study is an approximation to the economic value provided by the Genético 3 dairy farm, taking into account the total of its functions. This research demonstrates the importance of considering environmental economic evaluation as an instrument to achieve sustainable management and reach resilience of livestock ecosystems. This type of exercise should be applied throughout Cuba, so as to promote the inclusion of environmental benefits and costs in the accounting of productive units. This does not mean that it is the only element to consider when making decisions, since it is important that cultural, social and political aspects are also taken into account.

Este análisis integrador de la vaquería permite gestionar la actividad ganadera desde un punto de vista multidimensional. No se puede manejar eficientemente un ecosistema, si no se tiene en cuenta la totalidad de las funciones ambientales que se generan. De esta manera es posible apreciar los diferentes beneficios económicos que se pueden obtener a partir de los bienes y servicios ambientales que estos ecosistemas ofertan, y con ello incentivar a los productores a potenciar la generación de los mismos.

En los últimos años se han incrementado los estudios de valoración económica ambiental en el sector ganadero cubano. No obstante, estos no son suficientes, si se tiene en cuenta la función que desempeña la ganadería en la intensificación de los problemas ambientales y las potencialidades que tiene para mitigarlos (Báez Quiñones 2018).

Este estudio es una aproximación al valor económico que aporta la vaquería Genético 3, si se tiene en cuenta el total de sus funciones. El trabajo demuestra la importancia de considerar la valoración económica ambiental, como instrumento para lograr el manejo sostenible y alcanzar la resiliencia de los ecosistemas ganaderos. Este tipo de ejercicio se debe aplicar en toda Cuba, de forma tal que se fomente la inclusión de los costos y beneficios ambientales en la contabilidad de las unidades productivas. Esto no quiere decir que sea el único elemento a considerar al tomar decisiones, ya que es importante que se tengan en cuenta también aspectos de carácter cultural, social y político.

Conflict of interest

The author declares that there are no conflicts of interests

Author's contribution

Nadia Báez Quiñones: Original idea, research

Conflicto de intereses

No existe conflicto de intereses

Contribución de los autores

Nadia Báez Quiñones: Idea original, diseño de la investigación, análisis e interpretación de datos, escritura

design, data analysis, manuscript writing

Sandra Lok Mejías: conducting the experiment, statistical analysis, manuscript writing

Carlos Gómez Gutiérrez: Data analysis, manuscript writing

del manuscrito

Sandra Lok Mejías: Conducción del experimento, análisis estadístico, escritura del manuscrito

Carlos Gómez Gutiérrez: Análisis e interpretación de datos, escritura del manuscrito

References

- Atlas Nacional de Cuba. 1989. Ed. Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de Cuba e Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía. La Habana, Cuba, p. 27.
- Alonso, Á.C., Benítez, M., Iriban, C.A. & Vázquez, A. 2020. "Aportes económicos-ambientales de un agroecosistema lechero". *Cooperativismo y Desarrollo (COODES)*, 8(2): 250–262, ISSN: 2310-340X.
- Báez, N. 2018. "Valoración económica del medio ambiente y su aplicación en el sector ganadero cubano". *Pastos y Forrajes*, 41(3): 161–169, ISSN: 2078-8452.
- Bueno, L., & Camargo, J.C. 2015. "Edaphic nitrogen and nodulation of *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit in silvo- pastoral systems". *Acta Agronómica*, 64(4): 349–354, ISSN: 0120-2812, DOI: <https://doi.org/10.15446/acag.v64n4.45362>.
- Crespo, G.J. 2018. "¿Cómo incrementar la materia orgánica del suelo en la actividad ganadera del trópico?" *Avances en Investigación Agropecuaria*, 22(3): 37–44, ISSN: 0188-7890.
- Cubillos-Hinojosa, J.G., Da Silva-Araujo, F. & Saccol-De Sá, E.L. 2021. "Rizobios nativos eficientes en la fijación de nitrógeno en *Leucaena leucocephala* en Rio Grande do Sul, Brasil". *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 19(1): 128–138, ISSN: 1909-9959, DOI: [https://doi.org/10.18684/BSAA\(19\)128-138](https://doi.org/10.18684/BSAA(19)128-138).
- Del Pozo, P.P. 2019. "Los sistemas silvopastoriles. Una alternativa para el manejo ecológico de los pastizales: Experiencias de su aplicación en Cuba". *Cadernos de Agroecología*, 14(2), ISSN: 2236-7934.
- Dixon, J. & Pagiola, S. 1998. Análisis económico y evaluación ambiental. *Environmental Assessment Sourcebook UPDATE*, Environmental Department. The World Bank, (23): 17.
- Febles, J., Vega, M.B., Tolón, A., Moura, N., Somoza, J. & Díaz, J. R. 2015. "Buenos suelos en extinción: la degradación de los suelos ferralíticos rojos en el Occidente de Cuba". *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*, 5(3), ISSN: 2304-0106.
- Ferro, H., Gómez, G. & Herrera, P. 2016. "Valoración económica de los impactos ambientales seleccionados del cuabal en la Reserva Ecológica La Coca, La Habana, Cuba". *Acta Botánica Cubana*, 215(1): 24–37, ISSN: 0255-7835.
- Henríquez, C. & Cabalceta, G. 1999. Guía práctica para el estudio introductorio de los suelos con un enfoque agrícola. 1st Ed. Ed. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. Montes de Oca, Costa Rica, ISBN: 978-9968-9780-5-7.
- Iglesias, J.M., Simón, L. & Martín, G.J. 2017. "Sistemas silvopastoriles en el contexto cubano". *Agroecología*, 12(1): 75–82, ISSN: 1989-4686.
- Lok, S., Díaz, J., Crespo, G. & Torres, V. 2015. Servicios ambientales generados por la aplicación de tecnologías ganaderas en sistemas agropecuarios tropicales. *Memorias VIII Congreso de la Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo*, La Habana, Cuba.
- Lok, S. & Suárez, Y. 2014. "Effect of fertilizers on the biomass production of *Moringa oleifera* and on some soil indicators during the establishment". *Cuban Journal of Agricultural Science*, 48(4): 399–403, ISSN: 2079-3480.
- López-Vigoa, O., Sánchez-Santana, T., Iglesias-Gómez, J.M., Lamela-López, L., Soca-Pérez, M., Arece-García, J. & Milera-Rodríguez, M. 2017. "Los sistemas silvopastoriles como alternativa para la producción animal sostenible en el contexto actual de la ganadería tropical". *Pastos y Forrajes*, 40(2): 83–95, ISSN: 2078-8452.
- McVay, K.A., & Rice, C.W. 2002. Soil organic matter and the global carbon cycle. *Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service, Kansas State University, Kansas City, USA*.
- Milera, M., Alonso, O., Machado, H.C. & Machado, R.L. 2017. "*Megathyrus maximus*. Resultados científicos y potencialidades ante el cambio climático en el trópico". *Avances en Investigación Agropecuaria*, 21(3): 41–61, ISSN: 0188-7890.
- Miranda, T., Machado, R., Machado, H., Brunet, J. & Duquesne, P. (2008). "Valoración económica de bienes y servicios ambientales en dos ecosistemas de uso ganadero". *Zootecnia Tropical*, 26(3): 187–189, ISSN: 0798-7269.
- Miranda, T., Machado, R., Machado, H. & Duquesne, P. 2007. "Carbono secuestrado en ecosistemas agropecuarios cubanos y su valoración económica. Estudio de caso". *Pastos y Forrajes*, 30(4): 483–491, ISSN: 2078-8452.
- Padilla, C., Crespo, G. & Sardiñas, Y. 2009. "Degradation and recovery of swards". *Cuban Journal of Agricultural Science*, 43(4): 341–344, ISSN: 2079-3480.
- Pearce, D. & Moran, D. 1994. "The Economic Value of Biodiversity". *Annual Review of Resource Economics*, 11: 355-375, ISSN: 1941-1359, DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-resource-100518-093946>.
- Pérez-Torres, F. 2016. "Medio ambiente, bienes ambientales y métodos de valoración". *Equidad y Desarrollo*, 25: 119–158, ISSN: 2389-8844, DOI: <https://doi.org/10.19052/ed.3725>.
- Portela Peñalver, L., Rivero Galván, A. & Portela Peñalver, L. 2019. "Valoración Económica de bienes y servicios ecosistémicos en montañas de Guamuhaya, Cienfuegos, Cuba". *Revista Universidad y Sociedad*, 11(3): 47–55, ISSN: 2218-3620.
- Rangel, R. A., Durán, O., Gómez, G., Ferro, H., Barranco, G., Sánchez, M., Abraham, A. N., Cuadrado, L., Herrera, P. & Vilamajó, D. 2013. "Valoración económico-ambiental de recursos naturales seleccionados en la cuenca del río Guanabo, La Habana, Cuba". *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 20: 45–55, ISSN: 1390-2776.
- Ripka de Almeida, A., Luiz da Silva, C. & Hernández Santoyo, A. 2018. "Métodos de valoración económica ambiental: instrumentos para el desarrollo de políticas ambientales". *Revista Universidad y Sociedad*, 10(3): 134–141, ISSN: 2218-3620.
- Rodríguez-Córdova, R., Mir-Frutos, Z. & Guzmán-Alberteris, L. 2017. "Incidencia de la valoración económica de bienes y servicios ecosistémicos en la gestión ambiental". *Revista Universidad y Sociedad*, 9(5): 262–267, ISSN: 2218-3620.

- Ruiz, T.E., Febles, G.J., Castillo, E., Simón, L., Lamela, L., Hernández, I., Jordán, H., Galindo, J.L., Chongo, B.B., Delgado, D.C., Crespo, G.J., Valenciaga, N., La O, O., Alonso, J., Cino, D.M., Lok, S., Reyes, F., Esperance, M., Iglesias, J. & Soca, M. 2019. "Leucaena feeding systems in Cuba". *Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales*, 7(4): 403–406, ISSN: 2346-3775, DOI: [https://doi.org/10.17138/TGFT\(7\)403-406](https://doi.org/10.17138/TGFT(7)403-406).
- Sánchez-Hernández, M.A., Valenzuela-Haro, Y.E., Morales-Terán, G., Rivas-Jacobo, M. A. & Fraire-Cordero, S. & Hernández-Sánchez, S. 2019. "Crecimiento de pasto Guinea (*Megathyrsus maximus* (Jacq.) B.K. Simon & S.W.L. Jacobs) en respuesta a fertilización química en clima cálido húmedo". *Agroproductividad*, 12(8): 47–52, ISSN: 2594-0252, DOI: <https://doi.org/10.32854/agrop.v0i0.1450>.
- Shannon, C. & Weaver, W. 1949. *The mathematical theory of communication*. Urbana, IL: University of Illinois Press., USA.
- Shepherd, T.G. 2008. *Visual Soil Assessment. Volume 1: Field guide for pastoral grazing and cropping on flat to rolling country*. horizons.mw Report Number 20/EXT/425. horizons.mw & Landcare Research, New Zealand, ISBN: 1-877221-92-9.
- Suárez-Hernández, J., Sosa-Cáceres, R., Martínez-Labrada, Y., Curbelo-Alonso, A., Figueredo-Rodríguez, T. & Cepero-Casas, L. 2018. Evaluación del potencial de producción del biogás en Cuba. *Pastos y Forrajes*, 41(2): 85–92, ISSN: 2078-8452
- Velázquez, G. 2020. El costo de un kilowatt hora. UNE (Unión Nacional Eléctrica). Available: <https://www.unionelectrica.cu/el-costo-de-un-kilowatt-hora/>.

Received: April 25, 2021

Accepted: May 15, 2021