

Huella ecológica en la comunidad agroproductiva de Becerra, provincia de Las Tunas, Cuba

Ecological footprint in the agricultural community of Becerra, Las Tunas province, Cuba

Dr. Alberto Arnulfo Méndez Barceló ⁽¹⁾

Ing. Claudia Martínez Rodríguez ⁽²⁾

MSc. Ariel Villalobos Sánchez ⁽³⁾

(1) y (3) Universidad de Las Tunas

(2) Delegación provincial del Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente

RESUMEN. Se desarrolló un estudio ambiental en la comunidad agroproductiva de Becerra para determinar la huella ecológica y la biocapacidad de manera que se pudiera establecer el déficit ecológico o la autosuficiencia ecológico en esa comunidad. Se encontró que huella ecológica calculada en la comunidad agroproductiva de Becerra fue de 1,727 hag persona⁻¹ año⁻¹, mientras que la biocapacidad alcanzó un valor de 1,6106 hag persona⁻¹ año⁻¹ por lo que existe un déficit ecológico de 0,1164 hag persona⁻¹ año⁻¹.

Palabras clave. Huella ecológica, biocapacidad, déficit ecológico

ABSTRACT. An environmental study was conducted in the agricultural community of Becerra to determine the ecological footprint and biocapacity so that the ecological deficit or ecological self-sufficiency in that community could be established. It was found that the ecological footprint calculated in the agricultural community of Becerra was 1.727 g ha person⁻¹ year⁻¹, while the biocapacity reached a value of 1.6106 g ha person⁻¹ year⁻¹, so there is an ecological deficit of 0.1164 g ha person⁻¹ year⁻¹

Palabras clave. ecological footprint, biocapacity, ecological deficit

1. INTRODUCCIÓN

El concepto de huella ecológica (HE) fue enunciado por los investigadores canadienses William Rees y Mathis Wackernagel, que lo definieron, en sentido general, como el área de territorio productivo o ecosistema acuático necesario para producir los recursos utilizados y para asimilar los residuos producidos por una

población definida, con un nivel de vida específico, donde sea que se encuentre esta área. Posteriormente, Domenech (2009), definió la HE de una población como el total de espacios de tierra y mar, ecológicamente productivos, necesarios para producir todos los recursos consumidos por esa población y para asimilar todos sus desechos (Torres, López, Moreno y Restrepo como se citó en Leyva ,2021).

Este indicador considera el espacio que ocupan los asentamientos humanos y se conceptualiza más allá de su espacio geográfico y que se apropian del capital natural mundial a través de su "consumo" ecológico. Este indicador permite comparar el consumo de un determinado sector de población con la limitada productividad ecológica de la tierra. La HE evalúa un determinado modelo de vida. Se expresa en hectáreas por persona y año aunque actualmente se tiende a expresar en hectáreas globales/persona/año ($\text{hag persona}^{-1} \text{ año}^{-1}$). La huella de una población está determinada por su número de miembros, el volumen de consumo y la intensidad en el uso de los recursos para proveerla de bienes y servicios (Leiva *et al.*, 2011).

Con el propósito de determinar el nivel de contribución al deterioro ambiental por parte de la comunidad “Calixto Sarduy”, se asume la responsabilidad de ejecutar la presente investigación, basada en el cálculo de la HE a través de las diversas variables relacionadas con el consumo de recursos y generación de residuos en función de sus actividades socioeconómicas con énfasis en la producción yuca, maíz y frijol caupí como garantía de la soberanía alimentaria.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en áreas de la comunidad agroproductiva de Becerra ubicada en la zona centro norte del municipio Las Tunas, provincia de Las Tunas, Cuba. La comunidad produce viandas, granos y hortalizas, y ganado menor (conejos, aves,

cerdos) y ganado vacuno donde se destaca en su gestión productiva la Cooperativa de Producción Agropecuaria (CPA) “Calixto Sarduy”.

Posee más de 7000 habitantes de ellos, 1867 habitantes pertenecientes a la comunidad agroproductiva, distribuidos en un total de 447 viviendas, con promedio de 2,5 habitantes por vivienda; con dos edificios multifamiliares de 40 apartamentos cada uno, ubicadas fundamentalmente en el área más urbanizada de la comunidad, cuentan además con una escuela secundaria básica, una escuela primaria, dos bodegas, dos consultorios médicos, oficinas de la CPA, planta de Ecomic (fertilizante orgánico) y un círculo social.

El agua para consumo de sus habitantes es bombeada con motobomba sumergible con gasto de 3 l segundo⁻¹ y tiempo de bombeo de 6 horas diarias. El consumo de agua promedio es de 115 l habitante⁻¹ día⁻¹.

Transporte: Ómnibus de pasaje con dos viajes por día, distancia total en los dos recorridos 20 km entre Becerra y la ciudad de Las Tunas; la maquinaria agrícola integrada por dos tractores que tienen a su cargo labores propias de la producción y transporte.

El cálculo de la HE (expresada en unidades de hag) de cada uno de los elementos que conformaron el escenario de investigación se fundamentó en la metodología estándar de la HE desarrollada por William E. Rees y Mathis Wackernagel. La biocapacidad (BC), cuyo valor refleja la “disponibilidad de recursos naturales o capacidad productiva, que permite evaluar el nivel de autosuficiencia en un ámbito territorial específico” (González *et al.* como se citó en Leyva, 2021).

Los datos estadísticos oficiales utilizadas fueron proporcionados por la dirección del Consejo Popular de la comunidad.

La metodología general se fundamenta en dos elementos fundamentales:

1. Se pueden contabilizar físicamente (en toneladas o kilogramos) los recursos que consume una determinada población o individuo.

2. Estos recursos se pueden traducir a área biológicamente productiva (en hectáreas globales) (*Global Footprint Network*, 2012).

Con estas dos inferencias como fundamento se calculó la HE de la sección (A) concerniente al consumo de alimentos (maíz y frijol), la sección (B) concerniente a la emisión de desechos orgánicos e inorgánicos; sección (C) referida al transporte, relacionada con el consumo de combustible (diésel); la sección (D) de energía, implicada con el consumo de energía eléctrica; la sección (E) referente al uso del agua; (F) Infraestructura.

Se utilizó la fórmula de probabilidades para poblaciones definidas para calcular el tamaño de la muestra.

$$n = \frac{(\sum N_i \sqrt{\hat{p}\hat{q}})^2}{N^2 \frac{B^2}{Z^2} + \sum N_i \hat{p}_i \hat{q}_i}$$

Donde:

n= tamaño de la muestra

N= tamaño de la población

Z= nivel de confianza 1,96

P= 0,50 probabilidad de que el evento ocurra

q = 0,50 probabilidad de que el evento no ocurra

B= límite de error de estimación 0,05

La HE, está conformada por la suma de las diferentes categorías de consumo (suelo agrícola, pastizal, bosque, área de infraestructura, área de mar), no obstante, dichas categorías no pueden simplemente agregarse, ya que, cada tipo de terreno posee una “productividad” diferente. La metodología de la HE utiliza factores de equivalencia para homogeneizar (efectuar la sumatoria) las diferentes categorías de consumo a partir de una unidad común: la hectárea global (hag). Estos factores son

calculados por la *Global Footprint Network* (2012), y son distintos para cada año e iguales para todos los países (Amend, Barbeau, Beyers, Burn, Eißing, Fleischhauer ...Poblete, 2011).

Cada categoría posee un factor de equivalencia determinado, así los cultivos y la superficie artificializada tienen como factor de equivalencia 2,39; los pastos 0,51; y los bosques 1,21.

Sección (A) alimentos. Consumo de productos agrícolas. De acuerdo al factor de equivalencia de área para infraestructura se establece igual a aquella destinada a la agricultura, y el área para la captación de carbono se establece de manera similar a la de bosques. El primer caso es bajo la idea de que la infraestructura ocupa lo que antes ha sido suelo agrícola. Este supuesto está basado en la teoría de que los agrupamientos humanos se han situado por lo general en áreas muy fértiles. El segundo caso se debe a que la captación de carbono ocurre en los bosques (Moore *et al.*, 2011).

Los productos agrícolas básicos, que se tuvieron en cuenta para el cálculo de la HE fueron el cultivo del maíz que tiene un área de 23,9 ha, y el cultivo del frijol que tiene 13,42 ha.

Se utilizó la siguiente fórmula (Zhao *et al.*; González *et al.* como se citó en Leyva, 2021):

$$C_i = (P_i - E_i + I_i) / N \text{ (Ecuación 1)}$$

Donde:

C_i = es el consumo medio anual per cápita en unidades físicas del producto (i)

P_i = es la producción anual de producto (i) en el ámbito territorial de estudio

E_i , I_i = son respectivamente la exportación e importación anual del producto (i)

N es la población total del ámbito territorial de estudio

Se estimó el área de suelo productivo por persona. Esto se realizó al dividir el consumo per cápita de cada producto por el rendimiento histórico anual local (Consejo Popular Becerra, 2024) del mismo (medido en kg ha^{-1}). El resultado de dicha división es el número de hectáreas que utiliza cada individuo para satisfacer sus necesidades de consumo (González *et al.*, 2010; *Global Footprint Network*, 2012;).

$Hei = Ci/pi$ (Ecuación 2)

Donde:

Hei = es la HE asociada al consumo del producto (i) expresada en unidades de superficie per cápita (hag).

Ci = es el consumo per cápita del producto (i) expresado en unidades de peso.

pi = es la productividad o rendimiento anual medio expresado en kilogramos por hectárea (kg ha^{-1}).

El resultado obtenido de la ecuación (2) se transforma en hectáreas de territorio productivo global (hag) al multiplicarlo por el factor equivalente correspondiente a cultivos (García *et al.*, 2011; *Global Footprint Network*, 2012; Nunes *et al.*, 2013):

$HE (\text{hag persona}^{-1} \text{ año}^{-1}) = hei * 2,39$

Sección (B) residuos orgánicos e inorgánicos

Hidrosanitarios: $\text{kg persona}^{-1} \text{ día}^{-1}$

Alimentos: $\text{kg persona}^{-1} \text{ día}^{-1}$

Otros residuos del hogar: $\text{kg persona}^{-1} \text{ día}^{-1}$

Papel, Otros: $\text{kg persona}^{-1} \text{ día}^{-1}$

Total, residuos: $\text{kg persona}^{-1} \text{ día}^{-1}$

Residuos no peligrosos: $f 0,61 * \text{kg de residuo día}^{-1} * 365 \text{ días} = \text{kg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ de residuos}$

Residuos peligrosos: $f 0,07 * \text{kg de residuo día}^{-1} * 365 \text{ días} = \text{kg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ de residuos}$.

Total= $\text{kg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ de residuos año}^{-1}$

$$HE \text{ (hag persona}^{-1} \text{ año}^{-1}) = \frac{\text{Emisiones anuales (t CO}_2\text{)}/\text{C.fijación t CO}_2\text{ha}^{-1} \text{ año}^{-1}}{\text{Número de habitantes}}$$

$$HE \text{ (hag persona}^{-1} \text{ año}^{-1}) = HE \text{ (ha persona}^{-1} \text{ año}^{-1}) * 2,39$$

Sección (C) energía: La superficie (hag) de bosque necesaria para fijar o asimilar las emisiones de CO₂ originadas por la quema de combustibles fósiles para: la generación de energía eléctrica (utilizada por aparatos electrodomésticos y bombeo de agua), cocción de alimentos y aseo personal (Gottlieb *et al.*, 2005; Cucek *et al.*, 2012).

El cálculo de la HE energética necesita primeramente las emisiones de CO₂, ocasionadas por el consumo de energía eléctrica (Gottliebb *et al.*, 2005) para mantener encendidos los equipos electrodomésticos de mayor uso en el hogar, iluminación exterior e interior y fabricación de pan.

$$\text{Emisiones de CO}_2 \text{ (kg de CO}_2\text{)} = Po \text{ (W)} * t \text{ (horas)} * T \text{ (anual)} * F.E \text{ red}/1000$$

Donde:

Po es la potencia (W) del aparato electrodoméstico

t es el tiempo que este encendido (horas)

T es el tiempo de uso a nivel anual

F.E es el factor de emisión de la red eléctrica (0,41237 tCO₂MWh⁻¹) Ine-semarnat, 2009) es el tiempo de uso anual.

Calculadas las emisiones de CO₂ éstas se dividen por la capacidad de fijación de la masa forestal (5,06 tCO₂ ha⁻¹ año⁻¹) (Manso, 2021) y para obtener la superficie de bosque (ha) que le corresponde a cada persona se divide entre los integrantes de una familia promedio en la comunidad (González *et al.*, 2010):

$$HE \text{ (ha persona}^{-1} \text{ año}^{-1}) = \frac{\text{Emisiones anuales (tCO}_2\text{)}/\text{C.fijación tCO}_2\text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}}{\text{Número de habitantes}}$$

Factor equivalente para obtener la HE en hag: 1,24

$$HE \text{ (hag persona}^{-1} \text{ año}^{-1}) = HE \text{ (ha persona}^{-1} \text{ año}^{-1}) * 1,24$$

Sección (D) uso de agua: Según Hernández y López (2004), se contabiliza la energía necesaria para distribuir el agua consumida por la comunidad. Para ello se requirió el consumo de agua potable (litros) por las actividades realizadas en el hogar (Estación de bombeo Becerra) y el consumo de energía para el bombeo de la misma ($5561,8 \text{ kW haño}^{-1}$) y que está basado en la energía que se necesita para elevar $0,5 \text{ m}^3$ de agua (cantidad que consume una familia promedio de cuatro personas) a una altura de 10 m.

Para calcular la energía eléctrica utilizada por el consumo de “x” litros de agua se multiplicó el consumo horario de la motobomba por el tiempo de bombeo necesario para abastecer a la comunidad de Becerra.

Se estimaron las emisiones anuales de CO_2 :

$$\text{Emisiones (kg CO}_2\text{)} = \text{consumo (um)} * \text{Factor de emisión (kg CO}_2\text{/um)}$$

Posteriormente se estimaron las hectáreas de bosque necesarias para asimilar estas emisiones:

$$\text{HE (hag persona}^{-1}\text{ año}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Emisiones anuales (tCO}_2\text{)/C.fijación t CO}_2\text{ ha}^{-1}\text{ año}^{-1}}{\text{Número de habitantes}}$$

Y se transformó las hectáreas resultantes en hectáreas globales:

$$\text{HE (hag persona}^{-1}\text{ año}^{-1}\text{)} = \text{HE (ha persona}^{-1}\text{ año}^{-1}\text{)} * 1,24$$

Sección (E) infraestructura: La vida útil de los edificios es de 50 años, según el informe Mies (Cuchí y López, 1999) la generación total de CO_2 de los edificios, es de $475 \text{ Kg de CO}_2 (\text{m}^2)^{-1}$ en su vida útil. Para obtener la tasa anual de emisión de CO_2 debido a las edificaciones se divide este valor por 50 y se obtiene $9,5 \text{ Kg de CO}_2 (\text{m}^2)^{-1} \text{ año}^{-1}$. Índice anual de emisiones edificios = $9,5 \text{ Kg de CO}_2 (\text{m}^2)^{-1} \text{ año}^{-1}$. Emisiones de CO_2 = (índice anual emisiones edificios) * (m^2 superficie construida) (Manso, 2001).

$$\text{HE (hag persona}^{-1}\text{ año}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Emisiones anuales (tCO}_2\text{)/C.fijación tCO}_2\text{ ha}^{-1}\text{ año}^{-1}}{\text{Número de habitantes}}$$

Y se transformó las hectáreas resultantes en hectáreas globales:

$$HE \text{ (hag persona}^{-1} \text{ año}^{-1}) = HE \text{ (ha persona}^{-1} \text{ año}^{-1}) * 2,39$$

Cálculo de la Biocapacidad (BC): La BC de un área se mide al multiplicar el área física por el factor de rendimiento y factor de equivalencia apropiados. Generalmente se expresa en hectáreas globales. La Huella Ecológica mide la demanda sobre esta capacidad productiva (Borucke, Moore, Cranston, Grace, Larson y Katsunori, 2013)

$$BC = \frac{\sum (A_n * YF_n * EQF_n)}{p} \quad \text{Donde:}$$

BC = Biocapacidad total per cápita (hag per cápita).

A = Área de un tipo de superficie bioproductiva n (cultivos, bosques, pastos y tierra urbanizada) disponible dentro de un país.

YF = Factor de productividad para un tipo de suelo dado dentro de un país.

EQF = Factor de equivalencia para un tipo de suelo dado.

n = Tipo de suelo: cultivos, bosques, pastos y tierra urbanizada.

p = Población de la comunidad.

Área de un tipo de superficie bioproductiva A : Área de cultivos, pastos, bosque se infraestructura disponible en un país (comunidad) en un periodo de tiempo. Se expresa en hectáreas nacionales (han) que representan superficies con productividad media nacional.

Factor de productividad YF : Es la relación entre las productividades promedio nacionales y locales, se expresa en hectáreas nacionales (han) sobre hectáreas locales (han ha⁻¹). Es calculado en términos de disponibilidad anual de productos útiles.

Factor de equivalencia EQF : Factor que esta dado para los diferentes tipos de uso de suelo, y permite convertir el área real en hectáreas de diferentes tipos de uso de la tierra en sus equivalentes hectáreas globales.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La muestra de población empleada se fundamentó en el 100 % de los habitantes en el área agroproductiva que interactuaron de alguna manera en la superficie biológicamente activa y se consideraron las secciones siguientes:

SECCIÓN (A) ALIMENTOS

Para la obtención de los alimentos suministrados durante el año se requirieron 28,13 ha. Por tanto, la HE resultó $0,0239 \text{ hag hab}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Si se compara ese dato con el obtenido por Leiva *et al.* (2011) para esa misma categoría en la Universidad Central “Martha Abreu” de Las Villas se tiene que resultó extremadamente bajo ya que en esa institución se necesitó 559,74 ha, por razones lógicas.

SECCIÓN (B) RESIDUOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS

Hidrosanitarios: $1,170 \text{ kg persona}^{-1} \text{ día}^{-1}$

Alimentos: $0,30 \text{ kg persona}^{-1} \text{ día}^{-1}$

Otros del hogar: $0,25 \text{ kg persona}^{-1} \text{ día}^{-1}$

Papel, Otros: $0,15 \text{ kg persona}^{-1} \text{ día}^{-1}$

Total, residuos: $1,171 \text{ kg persona}^{-1} \text{ día}^{-1}$

Residuos: $1,171 \text{ kg persona}^{-1} \text{ día}^{-1}$, $854,72 \text{ kg persona}^{-1} \text{ día}^{-1}$

Residuos total habitantes: $1\ 595\ 762,24 \text{ kg año}^{-1}$

Factor de emisión residuos no peligroso: $0,61 \text{ kg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ de residuo}$

Factor de emisión residuos peligrosos: $0,07 \text{ kg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ de residuo}$

Residuos no peligrosos: $f\ 0,61 * 1,171 \text{ kg de residuo día}^{-1} * 365 \text{ días} = 260,72 \text{ kg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ de residuo}$

Residuos peligrosos $0,07 * 0,225 \text{ kg de residuo día}^{-1} * 365 \text{ días} = 5,748 \text{ CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ de residuos}$

Total $266.468 \text{ kg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ de residuos año}^{-1}$

Total, población: 497495.756 kg CO₂ año⁻¹

497 495. 756 t de CO₂ año⁻¹

HE = 0,028 hag hab⁻¹ año⁻¹

11

SECCIÓN (D) ENERGÍA

Tabla 1. Consumo de electricidad

	Viviendas	Promedio x vivienda	Consumo promedio (mes)
Viviendas 3 cuartos	89	231 kwh	20559 kwh mes ⁻¹
Viviendas 2 cuartos	327	192 kwh	62784 kwh mes ⁻¹
Viviendas 1 cuartos	31	101 kwh	3131 kwh mes ⁻¹
Círculo Social, alumbrado público, otros			1392 kwh mes ⁻¹
Total	447		

Total, consumo: 1 054392 kwh año⁻¹

Factor de emisión: 0,23

Emisión kg de CO₂ año⁻¹: 242,510.16

Emisión kg de CO₂ año⁻¹: 242,510

0,243 kg de CO₂ año⁻¹

HE = 0,026 hag persona⁻¹ año⁻¹

Si se compara la emisión total de CO₂ obtenida en la Universidad Nacional de Loja en Ecuador (Quichimbo, 2015), que fue de 176,94 t CO₂ año⁻¹ con la emisión en la comunidad de Becerra se tiene que en esta fue de 242,510 t CO₂ año⁻¹ para esta

categoría (energía) que representan $65,57 \text{ t CO}_2 \text{ año}^{-1}$ más que en esa Universidad Latinoamericana, esto indica que es necesario tomar acciones que reduzcan esa emisión, si se tiene en cuenta que la población de esa institución es mucho mayor (6591 personas) y una HE solo de $0,008 \text{ hag persona}^{-1} \text{ año}^{-1}$ mientras que en la comunidad agroproductiva de Becerra fue de $0,026 \text{ hag persona}^{-1} \text{ año}^{-1}$ que la supera en $0,018 \text{ hag persona}^{-1} \text{ año}^{-1}$ que convertido a la capacidad de carga significa que es necesario una mayor área productiva para satisfacer la necesidad de esa categoría.

La huella de carbono es una demanda individual de la huella ecológica. Mide la producción de gases de efecto invernadero por persona, sobre la porción de tierra capaz de absorberlo y retenerlo. Estos se derivan de la producción de energía a partir de la quema de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas natural. En el presente trabajo se refiere a petróleo (diésel).

SECCIÓN (E) USO DE AGUA

364 viviendas se abastecen de agua por bombeo

Promedio: $\text{litros persona}^{-1} \text{ día}^{-1}$ 115

Total, consumo viviendas: 151570 litros, se distribuyen además 8000 litros en pipas cada 12 días.

Total, consumo de agua: $152378 \text{ litros día}^{-1}$ $152,378 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$

Consumo de agua: $55\,617,97 \text{ m}^3 \text{ año}^{-1}$

Factor de emisión: $0,09 \text{ kg CO}_2 (\text{m}^3)^{-1}$

Emisión de $\text{CO}_2 \text{ año}^{-1} = 5005,62 \text{ t}$

HE = $0,63 \text{ hag persona}^{-1} \text{ año}^{-1}$

SECCIÓN (F) INFRAESTRUCTURA

Tabla 2. Área física de infraestructura.

	Viviendas	área x vivienda m ²	área total m ²
Viviendas 3 cuartos	89	84	7476
Viviendas 2 cuartos	327	71	23217
Viviendas 1 cuartos	31	58	1798
Otras construcciones			1144
Total	447		33635

Emisiones de CO₂ = (9,5 Kg de CO₂ (m²)⁻¹) * (33635 m²) = 319532,5 Kg = 319,533 t (emisión anual de CO₂).

HE = 0,00009 hag persona⁻¹ año⁻¹

Como se indica en la Tabla 2, el área física total de infraestructura en la comunidad agroproductiva de Becerra en el año 2024 fue de 33635 m² con una emisión de CO₂ de 319,533 t año⁻¹. Este dato calculado de igual manera en la Universidad Santiago Antúñez de Mayolo en Perú fue de 16653,70 m² de infraestructura con una emisión de CO₂ de 173,5315 t año⁻¹ que indica una correspondencia entre el área y la emisión de CO₂ en ambos espacios de investigación.

En la Tabla 3 se indican las categorías y el resumen de emisiones de CO₂, así como el área de absorción requerida en la comunidad agroproductiva de Becerra.

Tabla 3. Resumen de las emisiones de CO₂ y área requerida para su absorción.

Categorías	Emisiones CO ₂ (t año ⁻¹)	Área de absorción requerida (ha)
Alimentos	0,0506	0,01
Uso de agua	0,5005	989,252
Residuos	0,4970	98,319
Infraestructura	0,3195	63,148
Energía eléctrica	0,243	47,926
Total	1610	1199

Como se indica en la Tabla 3, la emisión total de CO₂ por categorías en el área de observación fue de 1610 t CO₂ año⁻¹, inferior a la encontrada por Leyva (2021) en la comunicad agroproductiva de La Veguita con una mayor cantidad de elementos de la infraestructura.

La huella de carbono es un término utilizado para describir la cantidad de GEI que son liberados a la atmósfera como consecuencia de una actividad determinada (Aguilar *et al.*, 2014).

Tabla 4. Huella ecológica calculada en las diferentes categorías que se tuvieron en cuenta en el área de estudio.

Categoría	HE (ha persona ⁻¹)	F. de equivalencia	HE (hag persona ⁻¹ año ⁻¹)
Alimentos	0,0506	2,39	0,1209
Uso de agua	0,5005,620	1,24	0,62
Residuos	0,4970	2,39	0,19
Infraestructura	0,3195	1,24	0,037
Total	1,6106		1,727

Conocidas las emisiones de CO₂ por consumo de los diferentes recursos (Tabla 3) y el área de absorción requerida (ha) se transformaron a valores de huella ecológica (HE). Por lo que la HE estimada para la comunidad agroproductiva de Becerra fue de **1,6106** ha persona⁻¹ año⁻¹ o **1,727** hag persona⁻¹ año⁻¹ equivalente a 3015,95 ha año⁻¹ que se traduce en 3221,5512 hag año⁻¹ para toda la comunidad, dato que no coincide con el calculado para la comunidad agroproductiva de La Veguita (Leyva, 2021) en el mismo municipio y provincia.

La HE (como se puede constatar en la definición) es una variable proporcional al tamaño de la población y a la intensidad del consumo de recursos, es decir, a la escala de la economía o sociedad objeto de estudio, lo que implica para este indicador hallar el equivalente territorial (en ha o km²) de esa escala; por lo que en primera instancia calcula la fracción per cápita de territorio cultivable o productivo que le toca, en promedio, a cada individuo por el simple hecho de ser habitante del espacio físico donde radica.

Biocapacidad (BC)

La BC actúa como un punto de referencia con el que se puede comparar la HE. Por ejemplo, si la HE es superior a la BC la región presenta un déficit ecológico, pues la población que en ella habita consume más recursos de los que dispone y, por tanto, es un “importador” neto de superficie: parte de su demanda ha de ser satisfecha mediante el uso de superficies localizadas fuera de su territorio. Dicho de otra manera, se sostiene el consumo interno mediante la importación de recursos externos.

Huella Ecológica > Biocapacidad = déficit ecológico

Huella Ecológica < Biocapacidad = Autosuficiencia

Como resultado del cálculo de la BC se encontró que la misma fue de 1,6154 hag persona⁻¹ año⁻¹ mientras que la HE calculada de acuerdo a las categorías que se tuvieron en cuenta fue de 1,727 hag persona⁻¹ año⁻¹ lo que expresa un déficit ecológico de 0,1129 hag persona⁻¹ año⁻¹ cuya significación en términos ecológicos compromete la sostenibilidad del ecosistema en la comunidad agroproductiva de Becerra.

Este resultado permite alertar a la dirección socioadministrativa de la comunidad para establecer programas que reduzcan las emisiones de CO₂ por concepto esencialmente de la emisión de residuos y consumo de agua que fueron las categorías que mayor emisión tuvieron.

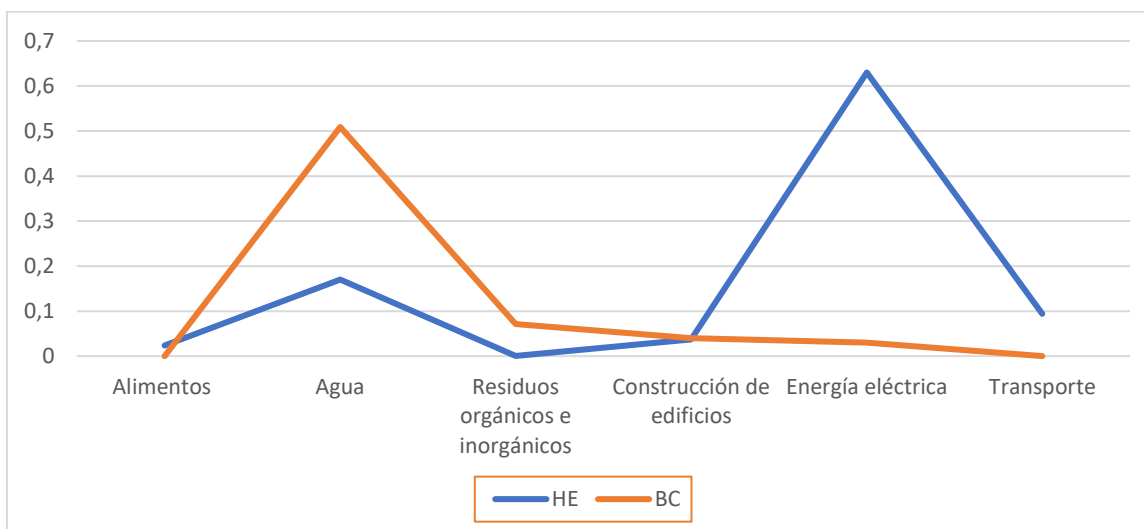


Fig.1.Comportamiento comparativo entre la HE y la BC por categorías.

En la Fig. 1 se puede apreciar que en las categorías uso de agua y residuos la BC está por encima de la demanda de estos recursos, aunque como se explicó en otra parte de este trabajo, existe un déficit ecológico ya que la demanda de recursos del ecosistema está dada por la sumatoria de las subhuellas de las distintas categorías que integran el sistema ecológico.

4. CONCLUSIONES

1. La huella ecológica calculada en la comunidad agroproductiva de Becerra fue de $1,727 \text{ hag persona}^{-1} \text{ año}^{-1}$, mientras que la biocapacidad alcanzó un valor de $1,6154 \text{ hag persona}^{-1} \text{ año}^{-1}$.
2. La comunidad agroproductiva de Becerra presenta un déficit ecológico de $0,1164 \text{ hag persona}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

5. RECOMENDACIONES

Se recomienda difundir los resultados de este trabajo, con especial atención a los directivos del municipio Las Tunas y ejecutivos agrarios, a fin de incorporar programas orientados hacia un comportamiento ambiental responsable que

conduzcan a la sostenibilidad del ecosistema en esta comunidad agroproductiva.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aguilar, J., Toro, A., Gomera, A., Guijarro, Antúnez, M. y Vaquero, M. (2014). Huella de Carbono de la Universidad de Córdoba (1a. ed.). Córdoba, España: Vicerrectorado de Coordinación Institucional e Infraestructuras de la Universidad de Córdoba.
2. Amend T; Barbeau, B; Beyers, B; Burn, S; Eißing, S; Fleischhauer, A; Kus, B & Poblete, P. (2011). ¿Un pie Grande en un Planeta Pequeño? Haciendo cuentas con la Huella Ecológica. Triunfando en un planeta con cada vez mayor escasez de recursos. En: la sostenibilidad tiene muchos rostros, (10). Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Esch. Recuperado de www.conservation-development.net/Projekte/.../10_Footprint_es.pdf
3. Manso R. (2001). Resultado de la estimación de la captura decarbón en Cuba entre los años 1989 y 1997. Simposio internacional de medición y monitoreo de la captura de en ecosistemas forestales. Valdivia Chile.
4. Borucke, M., Moore, D., Cranston, G., Grace, K., Larson, J., Katsunori, I., y otros. (2013). *Fichametodológica*. España: Senplades.
5. Consejo Popular La Veguita. (2020). *Informe de Producción*. Las Tunas:Minag.
6. Cucek, L; Jaromír-Klimes, J & Kravanja, Z. (2012). A Review of Footprint analysis tools for monitoring impacts on sustainability. *Journal of CleanerProduction*. 34. 9-20.
7. Cuchí A. López, I. (1999). Informe MIES. Una aproximació a l'impacte ambiental de l'Escolad'Arquitectura del Vallès. Bases per a una política ambiental al'ETSAV. Universidad Politécnica de Cataluña, Cataluña.
8. Domenech J. L. (2009). *Huella ecológica y desarrollo sostenible*. Madrid, España: Aenor.
9. García-de la Fuente, L; González-Álvarez, J; Colina-Vuelta, A. (2011). Análisis previos para la Estimación de la Huella Ecológica en el Principado de Asturias. Recuperadoweb.fade.es/en/ jsessionid...?identificador

10. Global Footprint Network [GFN]. (2003). *Footprint calculator*. Recuperado de <http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/calculators/>
11. González-Álvarez, J; Colina-Vuelta, A; García-de la Fuente, L. (2010). Análisis de la Huella Ecológica en el Principado de Asturias (2009). Recuperado de www.asturias.es/medioambiente/articulos/ficheros/R1-12_Huella%20Ecologica%20-2009-Estandar_%2020110707.pdf
12. Gottlieb, D; Vigoda-Gadot, E; Haim, A; Kissinger, M. (2005). The ecological footprint as an educational tool for sustainability: A case study analysis in an Israeli public high school. *International Journal of Educational Development*. (32), 193-200.
13. Hernández Laguna, E.; López Bermúdez, F. (2004). *Cambio temporal en la huella ecológica de la región de Murcia y su uso como indicador de desertificación*. Papeles de Geografía: Universidad de Murcia.
14. Leiva, J.; Rodríguez, I. y Quintana, C. (2011). Cálculo de la Huella Ecológica de la Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas. *Revista Electrónica de Tecnología Química*, 31(1), 47-52.
15. Leyva, M. O. (2011). Huella ecológica en la comunidad agroproductiva de la Veguita y carga tóxica en cultivos de granos. (tesis de maestría). Universidad de Las Tunas, Cuba.
16. Manso, J. R. (2021). Evaluación de las emisiones de carbono en plantas hidroelectricas y bioenergeticas. *Revista Cubana De Meteorología*, 27(1). Recuperado a partir de <http://rcm.insmet.cu/index.php/rcm/article/view/546>
17. Moore, D; Stechbart, M; Global Footprint Network. (2011) Huella Ecológica de Quito. Recuperado de www.quitoambiente.gob.ec/web/index.php?option=com
18. Nunes, L.M; Catarino, A; Ribau-Teixeira, M; Cuesta, E.M. (2013). Framework for the inter-comparison of ecological footprint of universities. *Ecological Indicators*, 32, 276-284.

19. Quichimbo, L. (2015). La huella ecológica de la ciudad universitaria “Guillermo Falconí Espinosa” (tesis de maestría). Universidad Nacional de Loja, Ecuador.