

Impacto de la huella ecológica en la comunidad agroproductiva de La Veguita, Las Tunas, Cuba

Impact of the ecological footprint in the agroproductive community of La Veguita, Las Tunas, Cuba

Autores:

Dr. Alberto Méndez Barceló ⁽¹⁾

Ing. Gleibys García Torres ⁽¹⁾

(1) Universidad de Las Tunas

RESUMEN. Se determinó la huella ecológica (HE) y la biocapacidad (BC) como indicadores de sustentabilidad en áreas de la comunidad agroproductiva de La Veguita en seis categorías de subhuella y se encontró que la misma fue de 0,9553 hag persona⁻¹ año⁻¹, mientras que la BC fue de 0,6286 hag persona⁻¹ año⁻¹ lo que implica un déficit ecológico de 0,3273 hag persona⁻¹ año⁻¹.

Palabras claves: huella ecológica, biocapacidad,

ABSTRACT. The ecological footprint and the biocapacity were determined (BC) Like sustentabilidad's indicators in areas of the agroproductive community of La Veguita in six categories of sub-footprint and the person found that the same went from 0.9553 hag ⁻¹ year ⁻¹ while the BC went from 0.6286 hag person ⁻¹ year ⁻¹ what implicates 0.3273 hag's ecological deficit person ⁻¹ year ⁻¹.

Keywords: ecological footprint, biocapacity

I. NTRODUCCIÓN

Según Torres, López, Moreno y Restrepo (2012), el concepto de huella ecológica (HE) fue creado en 1996 por los investigadores William Rees y Mathis Wackernagel, quienes lo definieron 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

(2004), 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.

Mediante este indicador se observa que el espacio que ocupan los asentamientos humanos va más allá de su territorio geográfico. 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), 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-Mas, Rodríguez-Rico, Quintana-Pérez 2010).

La comunidad de La Veguita en el municipio Las Tunas, provincia Las Tunas, se ha convertido en una entidad dedicada a la producción agropecuaria con resultados positivos en su gestión, destacándose la producción de granos, esencialmente el frijol común (*Phaseolus vulgaris*, L.) y maíz (*Zea mays*, L.) con áreas de más de 120,78. La atención que requiere el cultivo para obtener los rendimientos programados se fundamentan en la actividad vital de gran parte de la comunidad. El asentamiento poblacional genera una significativa producción de desechos.

Con la intención de conocer el grado de contribución al deterioro ambiental por parte de la comunidad de La Veguita, surge la necesidad de efectuar el presente estudio, cuyo objetivo fue determinar la HE y la biocapacidad (BC) como indicadores de sostenibilidad.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del área de estudio

El estudio se realizó en áreas de la comunidad agroproductiva de La Veguita que posee una superficie de 31000000 m² en la zona centro norte del municipio Las Tunas, provincia Las Tunas situada a los 21° 02' 53,5" de latitud Norte y 76°55' 51,6" de longitud Oeste.

Caracterización de La comunidad

La comunidad agroproductiva de La Veguita se distingue por la producción de granos, y la ganadería principalmente, se destacan en su gestión productiva las entidades Cooperativas de Créditos y Servicios Carlos Sosa Ballester y 35 Aniversario.

La Veguita tiene un total de 1944 habitantes, distribuidos en un total de 537 viviendas, con promedio de 3,62 habitantes por vivienda; con tres edificios multifamiliares de 30 apartamentos cada uno, y 447 viviendas ubicadas fundamentalmente en el área más urbanizada de la comunidad, cuentan además con una panadería, una tienda, 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 estimado para su población de 11,8 horas diarias, se abastecen 364 viviendas por bombeo y el consumo de agua promedio fue de 115 l habitante⁻¹ día⁻¹.

Transporte rural: Ómnibus de pasaje con dos viajes por día, y una distancia aproximada 10 km entre La Veguita y la cabecera provincial.

Para vertimiento de los residuales existe en la comunidad un vertedero y una laguna de oxidación.

Diseño de la investigación

El cálculo de la HE (expresada en unidades de hag) de cada uno de los elementos que conformaron el escenario de investigación se basó en la metodología general o estándar de la HE desarrollada por Wackernagel & Rees (1996). No obstante, los propios autores reconocen la necesidad de adaptar la metodología general en función de las características propias y a la disponibilidad de datos estadísticos para cada categoría analizada, con el desarrollo de las aproximaciones necesarias para superar las potenciales carencias de información. La biocapacidad (BC), también conocida como capacidad de carga, cuyo valor refleja la “disponibilidad de recursos naturales o capacidad productiva, que permite evaluar el nivel de autosuficiencia en un ámbito territorial específico” (González, García, y Colina, 2011).

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

traducir a área biológicamente productiva (hectáreas globales) (*Global Footprint Network*, 2003).

Con estas dos premisas 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 (gasolina y 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

Factores Equivalentes

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 (por ejemplo, el rendimiento de biomasa por hectárea del suelo agrícola es superior a un suelo de pastizal). Por lo tanto, 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*, 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 y el área de captación de carbono 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 83,7.

En algunos casos no existen estadísticas sobre el consumo de ciertos productos, por tanto, para contabilizar el consumo per cápita de dichos productos es necesario estimarlos. Para ello se utilizó la siguiente fórmula (Zhao, Li, y Li, 2005; González *et al.*, 2010):

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

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 La Veguita, 2021) 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 (Zhao *et al.*, 2005; *Global Footprint Network*, 2012; González *et al.*, 2010).

$He_i = C_i / p_i$ (Ecuación 2)

Donde:

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

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

p_i = 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 (Tabla 4) (*Global Footprint Network*, 2012; García - de la Fuente, González-Álvarez y Colina-Vuelta, 2011; Nunes, Catarino, Ribau -Teixeira y Cuesta, 2013).

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

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

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

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

HE = HE (ha persona⁻¹ año⁻¹)* 2,39

Sección (c) transporte

Para estimar las hag de bosque, necesario para capturar las emisiones de CO₂ generado por el motor de combustión del vehículo (Holden y Hoyer, 2005), ómnibus, camión y motocicletas, se consideró lo siguiente:

Se calcularon las emisiones de CO₂ (en kilogramos) en función del combustible utilizado (gasolina o diésel).

Para el caso de gasolina, por cada litro (L) se generan: 2,4 kg de CO₂

Emisiones anuales de CO₂ (kg)= 2,4 kg de CO₂ * consumo anual estimado de combustible (L)

Para el caso de diésel, por cada litro se generan 2,7 kg de CO₂

Emisiones anuales de CO₂ (kg) = 2,7 kg de CO₂ * consumo anual estimado de combustible (L)

Para estimar el consumo anual de combustible (L), se tomó en cuenta, para cada uno de los medios de transporte mencionados, el rendimiento vehicular promedio (de vehículos de gasolina y diésel) medido en km L⁻¹), recorridos por cada medio de transporte considerado.

Al aplicar las fórmulas anteriores, las emisiones anuales de CO₂ obtenidas, se dividen por la capacidad de fijación de CO₂ de la masa boscosa que, para un terreno forestal cubano, acumula en biomasa (viva y muerta) y suelo (tierra vegetal y suelo mineral) y se estima en 5,06 t CO₂ha⁻¹ año⁻¹, factor que se utiliza para la conversión en áreas de bosque (Manso, 2021). A su vez, dicho resultado se divide por el número aproximado de habitantes que se traslada.

Para obtener la HE por persona. Se utilizó la siguiente operación matemática (González *et al.*, 2010):

$$HE = \frac{\text{Emisiones anuales (t CO}_2\text{)}}{\text{C.fijación t CO}_2\text{ ha}^{-1}\text{ año}^{-1}}$$

Número de habitantes que se trasladan

Las hectáreas resultantes fueron transformadas en hectáreas globales, mediante la aplicación del factor equivalente correspondiente (Tabla 4) (González *et al.*, 2010):

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

Sección (d) energía

Esta sección consiste en expresar 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, Vigoda-Gadot, Haim y Kissinger, 2012; Cucek, Jaromír-Klemes & Kravanja, 2012).

De acuerdo a la metodología general para el cálculo de la HE energética se necesita conocer primeramente las emisiones de CO₂, ocasionadas por el consumo de energía eléctrica (González *et al.*, 2010; Gottlieb *et al.*, 2012) para mantener encendidos los equipos electrodomésticos de mayor uso en el hogar, iluminación exterior e interior y fabricación de pan.

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

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 (e) uso de agua

La energía necesaria para distribuir el agua consumida por la comunidad se requirió el consumo de agua potable (litros) por las actividades realizadas en el hogar (Estación de bombeo La Veguita, 2020) y el consumo de energía para el bombeo de la misma (5561,8 kW haño⁻¹) y que está basado en la energía que se necesita para elevar 0,5 m³ 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 La Veguita.

Se estimaron las emisiones anuales de CO₂:

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

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

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

Y se transformó las hectáreas resultantes en hectáreas globales:

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

Sección (f) infraestructura

Para conocer las emisiones anuales se considera que la vida útil de los edificios es de 50 años, ya que es el tiempo estimado que transcurre sin que sea necesario realizar obras de acondicionamiento de envergadura suficiente como para modificar el valor del factor. Según el informe Mies (Cuchí y López, 1999) la generación total de CO₂ de los edificios, es de 475 Kg de CO₂ (m²)⁻¹ en toda su vida útil, por tanto, para obtener la tasa anual de emisión de CO₂ debido a las edificaciones se divide este valor por 50 (tiempo de vida útil) y se obtiene 9,5 Kg de CO₂ (m²)⁻¹ año⁻¹.

Índice anual de emisiones edificios = 9,5 Kg de CO₂ (m²)⁻¹ año⁻¹. Emisiones de CO₂ = (índice anual emisiones edificios) * (m² superficie construida) (Manso, 2021).

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

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)

$$BC = \sum_p (A_n * YF_n * EQF_n)$$

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 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.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sección (a) alimentos

En este caso el indicador ha sido calculado básicamente en función de los rendimientos por hectáreas de los cultivos de granos. Para la obtención de los alimentos suministrados durante el año se requirieron 28,13 ha. Por tanto, la HE resultó $0,0239 \text{ hag ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. Si se compara ese dato con el obtenido por Leiva-Más *et al.* (2010) 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, lo que se comprende por razones lógicas.

Sección (b) residuos orgánicos e inorgánicos

Hidrosanitarios: $1,175 \text{ kg persona}^{-1} \text{ día}^{-1}$

Alimentos: $0,31 \text{ kg persona}^{-1} \text{ día}^{-1}$

Otros del hogar: $0,30 \text{ kg persona}^{-1} \text{ día}^{-1}$

Papel, Otros: $0,13 \text{ kg persona}^{-1} \text{ día}^{-1}$

Total, residuos: $1,915 \text{ kg persona}^{-1} \text{ día}^{-1}$

Residuos: $1,915 \text{ kg persona}^{-1} \text{ día}^{-1}$, $698,98 \text{ kg persona}^{-1} \text{ día}^{-1}$

Residuos total habitantes: $1\,358\,817,12 \text{ kg año}^{-1}$

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

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

Residuos no peligrosos: $f 0,61 * 1,579 \text{ kg de residuo día}^{-1} * 365 \text{ días} = 351,56 \text{ kg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ de residuo}$

Residuos peligrosos: $f 0,07 * 0,336 \text{ kg de residuo día}^{-1} * 365 \text{ días} = 8,585 \text{ kg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ de residuo}$

Total $360,145 \text{ kg CO}_2 \text{ kg}^{-1}$ de residuo año⁻¹

Total, población: $700121,491 \text{ kg CO}_2 \text{ año}^{-1}$

$700,121491 \text{ t de CO}_2 \text{ año}^{-1}$

$HE = 0,17 \text{ hag hab}^{-1} \text{ año}^{-1}$

La generación de residuos en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas fue de $659113,4 \text{ kg año}^{-1}$ (Leiva-Más *et al.*, 2010). El factor de emisión en $\text{kg de CO}_2 \text{ kg}^{-1}$ de residuos domésticos considerado es de 0,61 (Iregui and Marañón, 2008). Si se compara con lo obtenido en la comunidad agroproductiva de La Veguita se tiene que en esta resultó $1\,358\,817,12 \text{ kg año}^{-1}$ lo que indica que tuvo una fuerte generación de residuos lo que se traduce en una mayor contaminación ambiental y en una mayor emisión de CO_2 con valores de $700,121491 \text{ t de CO}_2 \text{ año}^{-1}$ mientras que en la UCLV fue de $402,059 \text{ t de CO}_2 \text{ año}^{-1}$.

Sección (c) transporte

Transporte urbano de pasajeros: 2 viajes x día 40 km

Motos: 7 motos, 7 km

Camión: 2,20 km

Otros: 2, 20 km

Total, emisión diaria 10 kg CO_2

Emisión $3650 \text{ kg CO}_2 \text{ año}^{-1} = 3,65 \text{ tCO}_2 \text{ año}^{-1}$

Resumen emisiones totales de CO_2

$HE = 0,00046 \text{ hag persona}^{-1} \text{ año}^{-1}$

La categoría transporte resultó la de menor emisión de CO₂ después de la categoría alimentos y por lo tanto aportó una pequeña subhuella ecológica.

Sección (d) energía

Tabla 1. Consumo de electricidad

	Viviendas	Promedio x vivienda	Consumo promedio (mes)
Viviendas 3 cuartos	159	231 kwh	36729 kwh mes ⁻¹
Viviendas 2 cuartos	342	192 kwh	65664 kwh mes ⁻¹
Viviendas 1 cuartos	36	101 kwh	3636 kwh mes ⁻¹
Panadería y Círculo Social, alumbrado público, otros			1473 kwh mes ⁻¹
Total	537		

Total, consumo: 1 290024 kwh año⁻¹

Factor de emisión: 0,23

Emisión kg de CO₂ año⁻¹: 296705,52

Emisión 296,706 tCO₂ año⁻¹

HE = 0,037 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 La Veguita (Tabla 1) se tiene que en esta fue de 296,706 t CO₂ año⁻¹ para esta categoría (energía) que representan 119,766 t CO₂ año⁻¹ más que en esa Universidad Latinoamericana, que a su vez 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 hag persona⁻¹ año⁻¹ mientras que en la comunidad de La Veguita fue de 0,037 hag persona⁻¹ año⁻¹ que la supera en 0,029 hag persona⁻¹

¹año⁻¹ que traducido a la capacidad de carga significa que es necesario una mayor área productiva para satisfacer la necesidad de esa categoría.

Sección (e) uso de agua

364 viviendas se abastecen de agua por bombeo

Promedio: litros persona⁻¹ día⁻¹ 115

Total, consumo viviendas: 151570 litros, se distribuyen además 8000 litros en pipas cada 10 días.

Total, consumo de agua: 152378 litros día⁻¹ 152,378 m³ día⁻¹

Consumo de agua: 55 617,97 m³ año⁻¹

Factor de emisión: 0,09 kg CO₂ (m³)⁻¹

Emisión de CO₂ año⁻¹ = 5005,62 t

HE = 0,63 hag persona⁻¹ año⁻¹

En referencia a los valores correspondientes a la emisión de dióxido de carbono en la Universidad Nacional de Loja, se verificó que en el primer trimestre se emitieron 0,30 t de CO₂, mientras que en los trimestres siguientes la cifra fue permanente, de 0,26 t de CO₂ y se emitió a la atmosfera un total de 1,08 toneladas de CO₂ por consumo de agua, que resultó la cantidad más baja en relación al resto de categorías (Quichimbo, 2015) en contraposición con lo determinado en el presente trabajo donde resultó esta categoría la mayor emisora de CO₂ con 5005,62 t.

Sección (f) infraestructura

El área física total de infraestructura en la comunidad agroproductiva de La Veguita en el año 2021 fue de 41090 m² con una emisión de CO₂ de 390,355 t año⁻¹. Este dato calculado de igual manera en Universidad Santiago Antúnez de Mayolo (Huerta y Popayán, 2018) 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.

Emisiones de CO₂ = (9,5 Kg de CO₂ (m²)⁻¹) * (41090 m²) = 390355 Kg = 390,355 t (emisión anual de CO₂).

HE = 0,094 hag persona⁻¹ año⁻¹

En la Tabla 2 se indican las categorías y el resumen de emisiones de CO₂, así como el área de absorción requerida en la comunidad agroproductiva de La Veguita.

Tabla 2. Resumen de las emisiones de CO₂ y área requerida para su absorción.

Categorías	Emisiones CO ₂ (taño ⁻¹)	Área de absorción requerida (ha)	% área requerida
Alimentos	0,0506	0,01	0,0008
Uso de agua	5005,62	989,252	78,2557
Residuos	700,121	138,363	10,9453
Infraestructura	390,355	77,144	6,1025
Energía eléctrica	296,706	58,637	4,6385
Transporte	3,65	0,721	0,0570
Total	6396,497	1264,127	100

Como se indica en la Tabla 6, la emisión total de CO₂ por categorías en el área de observación fue de 6396,497 t CO₂ año⁻¹, sin dudas una fuerte emisión que debe ser absorbida por el área boscosa. En este sentido, Huerta y Popayán (2018), encontraron que las emisiones totales en el campus universitario de Shancayán en la Universidad de Ancash en Perú fue de 1441,605 t CO₂ año⁻¹ cuya diferencia está dada por una mayor cultura ecológica si se tiene en cuenta que observaron más categorías y la muestra poblacional fue mayor.

hag

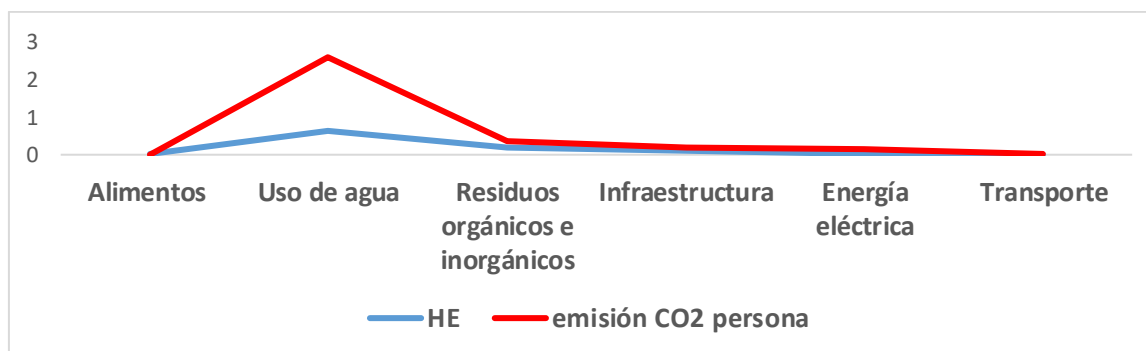


Fig. 1 Comparación entre la emisión de CO₂ per cápita por categorías en un año y la HE per cápita

En la medida en que se incrementó la emisión de CO₂ se incrementó la HE como se indica en la Fig. 1. Esta 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, Toro, Gomera, Guijarro, Antúnez y Vaquero, 2014). En la comunidad agroproductiva de La Veguita, alcanzó un máximo de 2,5749 t CO₂ persona⁻¹ año⁻¹ emitidos a la atmosfera por concepto del uso de agua, mientras que la menor emisión la alcanzaron las categorías alimento y transporte.

Tabla 3. 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	0,01	2,39	0,0239
Uso de agua	0,508	1,24	0,63
Residuos	0,071	2,39	0,17
Infraestructura	0,0393	2,39	0,094
Energía eléctrica	0,0371	1,24	0,037
Transporte	0,00037	1,24	0,00046
Total	0,6657		0,9553

Conocidas las emisiones de CO₂ por consumo de los diferentes recursos (Tabla 2) y el área de absorción requerida (ha) se procedió a transformar a valores de huella ecológica (HE) (Tabla 3). Por ello, se tuvo que la HE estimada para la comunidad agroproductiva de La Veguita es de 0,9553 hag persona⁻¹ año⁻¹ que se traduce en 1857,1032 hag año⁻¹ para toda la comunidad.

Biocapacidad (BC)

Si la HE es superior a la BC el área presenta un déficit ecológico, pues la población que en ella habita consume más recursos de los que dispone. Sin embargo, la HE de los habitantes de un lugar determinado no debería ser superior a la BC disponible, es decir la superficie utilizada para producir los bienes consumidos y asimilar los residuos generados debería ser menor a la superficie biológicamente disponible (Zhao *et al.*, 2005 y Arto-Olaizola, 2011).

Como resultado del cálculo de la BC se encontró que la misma fue de 0,6280 hag persona⁻¹ año⁻¹ mientras que la HE calculada de acuerdo a las categorías que se tuvieron en cuenta fue de 0,9553 hag persona⁻¹ año⁻¹ lo que expresa un déficit ecológico de 0,3273 hag persona⁻¹ año⁻¹ cuya significación en términos ecológicos compromete la sostenibilidad del ecosistema en la comunidad agroproductiva de La Veguita.

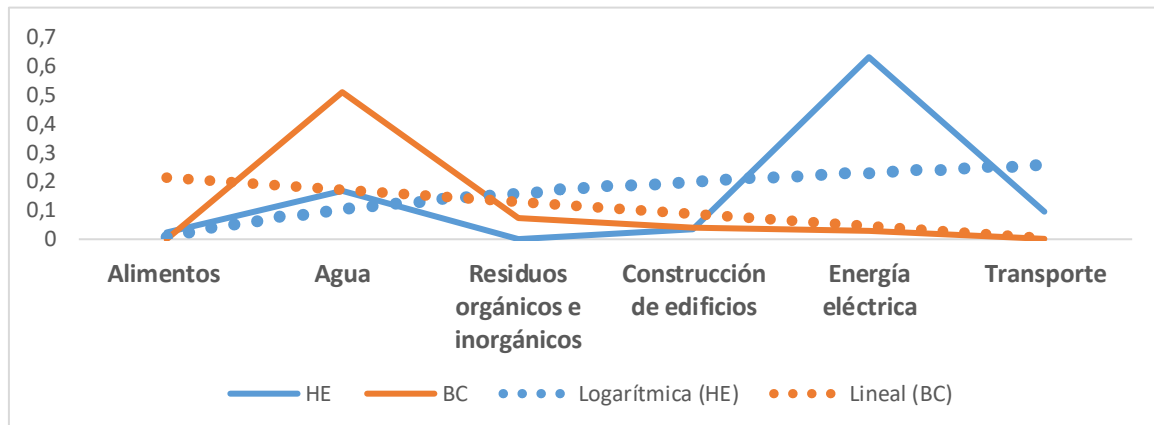


Fig.2.Comportamiento comparativo entre la HE y la BC por categorías.

En la Fig. 2 se puede apreciar que la tendencia en sentido general entre la HE y la superficie biológicamente activa son inversas, sin embargo, en las categorías uso de agua y residuos la BC satisface 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.

IV. CONCLUSIONES

1. La huella ecológica calculada en la comunidad agroproductiva de La Veguita fue de 0,9553 hag persona⁻¹ año⁻¹, mientras que la biocapacidad alcanzó un valor de 0,6280 hag persona⁻¹ año⁻¹.
2. La comunidad agroproductiva de La Veguita presenta un déficit ecológico de 0,3273 hag persona⁻¹ año⁻¹.

V. BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilar, J.; Toro, A.; Gomera, A.; Guijarro, C.; 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?. 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. Arto-Olaizola, I. (2011). Huella Ecológica [versión electrónica] ihitza Revista (36), 4-5.
4. Assmus, J.; Gottret, D. & Vargas, A. (2010). *Cálculo de la Huella Ecológica para el Partido de Fútbol: Santa Fe vs. Nacional*. (tesis de maestría), Escuela Europea de Dirección y Empresa, Bogotá, Colombia.
5. Borucke, M., Moore, D., Cranston, G., Grace, K., Larson, J., Katsunori, I., y otros. (2013). *Fichametodológica*. España: Senplades.
6. Cucek, L; Jaromír-Klemes, J & Kravanja, Z. (2012). A Review of Footprint analysis tools for monitoring impacts on sustainability. *Journal of Cleaner Production*. 34. 9-20.
7. Cuchí A. López, I. (1999). Informe MIES. Una aproximació a l'impacte ambiental de l'Escola d'Arquitectura del Vallès. Bases per a una política ambiental al'ETSAV. Universidad Politécnica de Cataluña, Cataluña.
8. Domenech, J. L. (2004). *La huella ecológica empresarial: el caso del puerto de Gijón*. Madrid: Gijón Ed.
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. Recuperado web.fade.es/en/tratarDescargaDocumento.do;jsessionid.
10. Global Footprint Network [GFN]. (2003). *Footprint calculator*. Recuperado de <http://www.footprintnetwork.org/en/index.php/GFN/page/calculators/>
11. González, J., García, L. y Colina, A. (2011). *Análisis de la Huella Ecológica en el Principado de Asturias* (1a. ed.). Oviedo, España: Fundación Universidad de Oviedo.

12. 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/RI-12_Huella%20Ecologica%20-2009-Estandar_%2020110707.pdf
13. Gottlieb, D; Vigoda-Gadot, E; Haim, A; Kissinger, M. (2012). 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.
14. Holden, E y Hoyer, K.G. (2005). The ecological footprints of fuels. *Transportation Research Part D*. (10), 395-403.
15. Huerta, J., Popayán, E. (2018). *Determinación de la huella ecológica en la comunidad universitaria “Santiago Antunéz de Mayolo”* (tesis de pregrado), Huaraz, Perú.
16. Ibn-Mohammed, T., Greenough, R., Taylor, S., Ozawa-Meida, L., Acquaye, A. (2013). Operational vs. embodied emissions in buildings. A review of current trends. *Energy and Buildings*, 66, 232 – 245.
17. INE-SEMARNAT. (2009). Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Recuperado de www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/615.pdf.
18. Iregui, G. & Marañón, E. (2008). Propuesta de Índices de Conversión para la Obtención de la Huella Ecológica de los Residuos y Vertidos. *Observatorio Iberoamericano del Desarrollo Local y Economía Social*, 4(1), 1-26.
19. Leiva - Más J., Rodríguez - Rico, I. y Quintana - Pérez, C. (2010). Cálculo de la Huella Ecológica de la Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas. *Revista Electrónica de Tecnología Química*, 31(1), 47-52.
20. Manso, R. (2021). *Resultado de la estimación de la captura de carbono en Cuba*. Valdivia, Chile: Ed. Mundo.
21. Moore, D; Stechbart, M; Global Footprint Network. (2011) Huella Ecológica de Quito. Recuperado de www.quitoambiente.gob.ec/web/index.php?option=com
22. 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.
23. Quichimbo, L. (2015). La huella ecológica de la ciudad universitaria “Guillermo Falconí Espinosa” (tesis de maestría). Universidad Nacional de Loja, Ecuador.
24. Torres, S., López, A., Moreno, M. y Restrepo, L. A. (2012). Metodología para la determinación de la huella ecológica en el área de exhibiciones del Zoológico de Cali. *Revista S & T*, 10(20), 51-68.
25. Wackernagel, M. & Rees, W. (1996). *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth* (1a. ed.). Gabriola Island B.C., Canadá: New Society Publishers.
26. Zhao, S; Li, Z y Li, W. (2005). A modified method of ecological footprint calculation and its application. *Ecological Modelling* (185), 65-75.