

**4. EVALUACIÓN DE LA HUELLA
ECOLÓGICA Y SU RELACIÓN CON LA
CAPACIDAD BIOLÓGICA EN EL *CAMPUS*
PUERTA ROJA DE LA UNIVERSIDAD DE
SUCRE – COLOMBIA**

**EVALUATION OF THE ECOLOGICAL
FOOTPRINT AND ITS RELATIONSHIP WITH
THE BIOLOGICAL CAPACITY AT THE
PUERTA ROJA CAMPUS OF THE
UNIVERSITY OF SUCRE – COLOMBIA**

Briyith Paola Chajin Salcedo¹⁰, Carlos Vergara Rivera¹¹

Fecha recibido: 25/05/2022

Fecha aprobado: 27/06/2022

Derivado del proyecto: *Evaluación de la huella ecológica y su relación con la capacidad biológica en el campus Puerta Roja de la Universidad de Sucre - Colombia*

Pares evaluadores: *Red de Investigación en Educación, Empresa y Sociedad – REDIEES.*

¹⁰ *Licenciada en Etnoeducación con énfasis en Ciencias Naturales y Educación Ambiental, Universidad de la Guajira, Ocupación (docente), briyithpaola@outlook.com*

¹¹ *Licenciado en Química y Biología, Universidad de Pamplona, Magister en Ciencias Ambientales, Universidad de Sucre, Esp en Ecología, medio ambiente y desarrollo, Universidad INCCA de Colombia, Ocupación (docente), carlosvergara.ambiental@gmail.com*

RESUMEN

El estudio utilizó el indicador de la huella ecológica (HE) propuesto por William Rees y Mathis Wackernagel (1996) para estimar el impacto ambiental generado de las actividades de consumo derivadas de las operaciones de educación e investigación, realizadas desde la Universidad de Sucre - campus Puerta Roja, en la Ciudad de Sincelejo, Colombia. La HE se expresa en hectáreas (has)/persona y hectáreas globales (hag)/persona, para su estimación fueron evaluadas las variables de consumo de agua, energía, papel, infraestructura, alimentación, movilidad y generación de residuos, fundamentándose en la Metodología para el cálculo de la huella ecológica en universidades, propuesta por (López Álvarez et al., 2008), entre otros estudios.

Los resultados de HE, fueron comparados con la capacidad biológica de la tierra, para determinar déficit o superávit ambiental, y establecer claridad del impacto ecológico causado y una perspectiva de la gestión y cultura ambiental. El estudio indicó que la Universidad gasta 0,11 ha y 0,24 hag per cápita de suelo productivo, para responder al consumo generado, por tanto, se determinó que se encuentra en superávit ambiental, sin embargo, para el año de estudio, se realizaron emisiones de 11190,54 toneladas de CO₂, derivadas en un 79% de la generación de residuos y un 12% de los hábitos de movilidad. Los datos de captura de CO₂ por parte de la vegetación del campus, indicaron que se realizaron fijaciones del 4,02% del total de emisiones.

El estimativo de la HE podrá orientar al establecimiento de estrategias, que ayuden a forjar metas para la disminución de las emisiones, que contribuyan al desarrollo sostenible y promuevan adaptación frente al cambio climático.

PALABRAS CLAVE: Huella ecológica, capacidad biológica, recursos naturales, consumo, impacto ambiental.

ABSTRACT

The study used the ecological footprint (HE) indicator proposed by William Rees and Mathis Wackernagel (1996) to estimate the environmental impact generated by the consumption activities derived from the education and research operations carried out at the University of Sucre - Puerta Roja campus, in the city of Sincelejo, Colombia. The HE is expressed in hectares (ha)/person and global hectares (gha)/person, for its estimation the variables of water consumption, energy, paper, infrastructure, food, mobility and waste generation were evaluated, based on the Methodology for the calculation of the ecological footprint in universities, proposed by (López Álvarez et al., 2008) among other studies.

The results of HE were compared with the biological capacity of the earth, to determine environmental deficit or surplus, and to establish clarity of the ecological impact caused and a perspective of environmental management and culture. The study indicated that the University spends 0.11 ha and 0.24 gha per capita of productive land, to respond to the consumption generated, therefore, it was determined that it is in environmental surplus, however for the year of study, emissions of 11,190.54 tons of CO₂ were made, derived in 79% from waste generation and 12% from mobility habits. Data on CO₂ capture by campus vegetation indicated that 4.02% of total emissions were fixed.

The HE estimate may guide the establishment of strategies to help set goals for reducing emissions, contribute to sustainable development and promote adaptation to climate change.

KEYWORDS: *Ecological footprint, biological capacity, natural resources, consumption, environmental impact.*

INTRODUCCIÓN

El ser humano, en su afán de crecimiento económico y desarrollo, ha incorporado altos patrones relacionados con el consumismo, que ha sobrepasado los límites de tolerancia de los ecosistemas, alterando la diversidad biológica y con ello las garantías de acceso a alimentos entre otros servicios ecosistémicos que proveen los suelos, el agua y el aire. Así lo expone el panel internacional de recursos (*International Resource Panel*), explicando que el 90% de la pérdida de biodiversidad y el estrés hídrico, son causados por la extracción y el procesamiento de los recursos naturales, contribuyendo aproximadamente a la mitad de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (*International Resource Panel*, 2019).

Asimismo, el fondo mundial para la naturaleza (*World Wide Fund for Nature-WWF*) en su Informe planeta vivo 2018: apuntando más alto, expone que “el consumo humano desenfrenado es el motor detrás de los cambios planetarios que estamos presenciando, debido al aumento de la demanda de energía, tierra y agua” (Grooten et al., 2018), además con el crecimiento poblacional, la biocapacidad disponible para los habitantes se reducirá aún más y será un reto cada vez mayor, mantener los aumentos de biocapacidad ante la degradación del suelo, la escasez de agua dulce y el aumento en los costos de la energía” (WWF, 2014).

Frente a los retos ambientales, se ha considerado la HE como una herramienta de contabilidad de recursos que evalúa dos criterios específicos de sostenibilidad; la tasa de uso de recursos renovables de la humanidad en comparación con la capacidad de la Tierra para renovar dichos recursos y la tasa de producción de desechos humanos en comparación con la capacidad de la Tierra para asimilar los desechos (Galli et al., 2020).

La HE es un instrumento que ha sido utilizado, incluso, por ciertas universidades con el fin de integrar y evaluar la sostenibilidad en el ejercicio de sus actividades, usándola como una herramienta educativa con estudiantes en el desarrollo de políticas institucionales, es decir, una forma de poner en práctica lo que predicán (Lambrechts and Van Liedekerke, 2014).

En este estudio fue estimada la HE generada en el *campus* Puerta Roja de la Universidad de Sucre Colombia, como consecuencia de actividades realizadas en las instalaciones, como laboratorios, orientación de clases en múltiples aulas y labores en oficinas administrativas, por parte de una comunidad educativa de 5311 personas entre estudiantes, docentes, directivos, administrativos, entre otros, dentro de un área geográfica

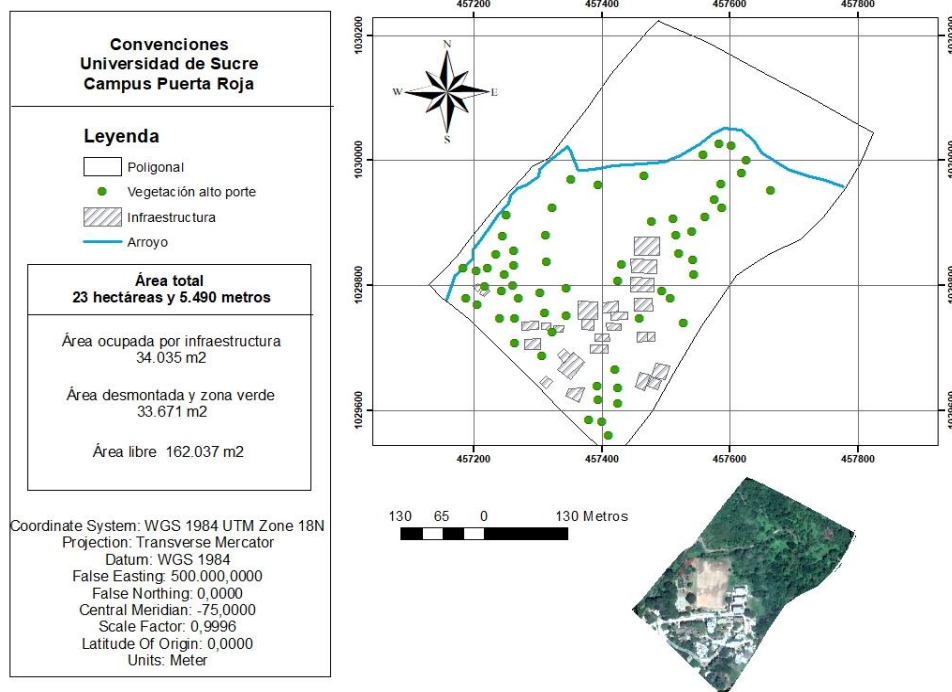
total de 235.490 m². El estudio permitió evaluar el gasto energético y de materias para determinar las emisiones de CO₂ de cada una de las variables estudiadas, considerando, además, la capacidad de fijación de CO₂ de la vegetación del *campus* y comparar los valores de HE con métricas de capacidad biológica nacionales y globales, para determinar rangos de sostenibilidad e índices de déficit ambiental.

Los resultados del estudio pueden permitir la retroalimentación de procesos de educación ambiental al interior del currículo, concertar y reorientar políticas ambientales institucionales, impulsar el monitoreo de variables influyentes en la HE, coordinar actividades de gestión para reducir impactos ambientales, impulsando consumo sostenible de recursos desde sus principales actividades que incluyen enseñanza-aprendizaje, investigación y operaciones (See et al., 2016), además, puede proveer métricas necesarias para evaluar el control del gasto de recursos.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio es descriptivo, de corte transversal, tipo mixta (Hernández Sampieri, 2014) y desarrollado en el *campus* Puerta Roja de la Universidad de Sucre, ciudad de Sincelejo - Colombia, ubicada en coordenadas 9° 18' 53'' N y 75° 23' 18'' O, con un área de estudio de 235.490 m², clasificados en zonas como lo muestra la figura 1. El ámbito temporal comprende el total de dos periodos académicos, correspondientes al año 2019.

Figura 1. Convenciones área Universidad de Sucre campus Puerta Roja



Fuente: elaboración propia

La población de estudio incluyó 5.311 personas, con subpoblaciones de 5.071 estudiantes, 124 docentes, 106 administrativos y 10 directivos, utilizándose un muestreo aleatorio estratificado, para garantizar la inclusión y representación de los miembros de cada uno de los estamentos de la comunidad.

El tamaño de la muestra, por ser una población finita, fue calculado mediante fórmula de (Wayne W and Chad L, 1984).

El estudio fue analizado con un nivel de confianza del 95% y un error máximo de estimación de 5%, obteniéndose una muestra total de 370 personas, aplicándose una relación entre muestra y población, para obtener el tamaño de la muestra de cada estamento (Hernández Sampieri, 2014).

El cálculo de la HE incluyó el análisis de las subvariables: consumo de papel (kilogramos - kg), consumo de agua (metros cúbicos - m³), infraestructura construida (metros cuadrados - m²), consumo de energía eléctrica (kilovatio hora - Kwh), combustible gastado por movilidad (Galones o m³ de combustible fósil de tipo gas natural, gasolina, ACPM),

cantidad consumida de alimentos procesados y sin procesar (kg), generación de residuos sólidos y peligrosos (kg), cantidad de gas carbónico capturado (toneladas - ton).

El proceso para la recolección de datos e información, sobre cada una de las variables incluidas en el estudio, fue basado en las siguientes técnicas:

- ✓ Revisión documental para obtención de información sobre consumo de bienes y servicios (gasto de energía eléctrica, agua, papel, entre otros) y datos de captura de gas carbónico.
- ✓ Entrevista semiestructurada, a funcionarios del área de servicios generales sobre cantidad de residuos sólidos generados al interior del *campus*.
- ✓ Aplicación de un instrumento de encuesta a una muestra de la comunidad educativa (docentes, estudiantes, administrativos, directivos), sobre las variables movilidad, consumo de alimentos y uso de papel.

La encuesta aplicada fue adaptada de la estructura de preguntas que aplica la calculadora de la HE, en las cuales fue indagado sobre la frecuencia de viajes, tipo de transporte, distancia en km desde la residencia hasta el *campus* de la Universidad, promedio de papel utilizado, frecuencia de consumo de alimentos, entre otros, Red global de la huella (*Global Footprint Network*). (s.f.). <https://www.footprintcalculator.org/>. Asimismo, fueron adaptadas estructuras de preguntas, tomadas de otros estudios (Ibarra-Cisneros and Monroy-Ata, 2014), (Romero, 2017) y (Molina Restrepo and Ocampo Rodríguez, 2016).

Las preguntas utilizadas en la encuesta fueron validadas mediante la prueba de *Alfa de Cronbach*, que analizó la varianza de los ítems, ratificando la validez del instrumento.

Por circunstancias de la emergencia sanitaria por COVID 19, las encuestas fueron enviadas a la muestra de estudio, mediante correo electrónico, utilizando formato de *Google Forms*, asimismo, fue enviado el consentimiento informado, amparado bajo el decreto 1377 de 2013, donde los encuestados, autorizaron recibir y responder las preguntas, cuya información fue manejada como material de investigación (Ministerio de comercio industria y turismo., 2013).

Fue utilizado el procedimiento del método basado en componentes, para los datos obtenidos sobre el consumo de recursos y generación de residuos, para cada estamento; estudiantes, profesores, administrativos y directivos del *campus* Puerta Rojas, e información sobre consumo de energía eléctrica, agua y papel. Asimismo, para la información sobre

movilidad, área de construcción de edificios, generación de gas carbónico y residuos sólidos y peligrosos (López Álvarez et al., 2008), por su parte, el consumo de alimento se estimó mediante método compuesto propuesto por Wackernagel y colaboradores (Rivas Quiroz, 2016).

Para el cálculo de las emisiones de CO₂, fueron tenidos en cuenta factores de emisiones tomados de diversas fuentes nacionales y/o locales, siguiendo criterios establecidos por Rees y Wackernagel (1996).

Tabla 1. Factores de emisión utilizados como referencia

Factores de emisión según criterios establecidos por Rees y Wackernagel (1996)		
Papel	1,84 kgCO ₂ /kg papel	(López Álvarez et al., 2008)
Agua	0,128397KgCO ₂ /m ³ agua	(Toro et al., 2016)
Energía eléctrica	0,381 tonCO ₂ /MWh	(UPME, 2019)
Infraestructura	0,4302 tonCO ₂ /m ²	(Molina Restrepo and Ocampo Rodríguez, 2016)
Residuos	Sólidos (91,70 kgCO ₂ /kg residuo) Peligrosos (Ácidos y Álcalis; 0,0108Kg CO ₂ /kg), (vidrio; 0,0041Kg CO ₂ /kg), (No Halogenadas-líquidos orgánicos inflamables; 0,0158Kg CO ₂ /kg residuo)	(López Álvarez et al., 2008) y (Ávila Ruiz and González Velandia, 2018)
Movilidad	Gas natural (1.86 kg CO ₂ e/kg) Gasolina (8.89 kgCO ₂ e/gal) ACPM (10.45 kgCO ₂ e/gal)	(Corporación Ambiental Empresarial, 2015)

El consumo asociado de las variables agua, infraestructura, energía eléctrica, y consumo de papel para procesos administrativos y generación de residuos sólidos y peligrosos; por parte de personal docente e investigador, personal administrativo y de servicios y estudiantes, fue realizado mediante cálculo de las emisiones de forma directa, multiplicando el consumo por el factor de emisión, a partir, de la información registrada en facturas de pagos y compras durante el periodo de estudio (López Álvarez et al., 2008). Para la estimación de las emisiones fue utilizada la ecuación 1.

$$Emisiones (KgCO_2) = Consumo (un) \cdot Factor Emisión \left(\frac{Kg CO_2}{un} \right)$$

Ecuación 1

Fuente: (López Álvarez et al., 2008)

Donde un indica las unidades de medidas en las que se expresa cada consumo, respecto a las variables del estudio.

El consumo de las variables movilidad, papel y alimentos por parte de los estamentos, fue identificado mediante el cálculo estadístico de tipo indirecto, a partir de los datos recogidos mediante encuestas (López Álvarez et al., 2008).

El estudio utilizó factores de extrapolación relativos a la totalidad de la comunidad, a partir de los valores obtenidos de la encuesta realizada a la muestra (López Álvarez et al., 2008). Fueron realizadas las siguientes transformaciones.

$$F. \text{Extrapolación} = \frac{\text{Población}}{\text{Individuos}_{\text{Muestra}}}$$
$$\text{Valor}_{\text{Universidad}} = F. \text{Extrapolación} \cdot \text{Valor}_{\text{Encuesta}}$$

Ecuación 2.

Fuente: (López Álvarez et al., 2008)

El factor de emisión sobre consumo de agua fue calculado teniendo en cuenta el factor de emisión de consumo eléctrico y el consumo energético de cada metro cúbico - m³ de agua depurado y potabilizado (Toro et al., 2016).

En el análisis de la información sobre infraestructura, es necesario determinar el tipo de materiales utilizados en las construcciones y la cantidad promedio por cada m² debido a que las emisiones de CO₂ están asociadas a la producción de los materiales de construcción. (Molina Restrepo and Ocampo Rodríguez, 2016). En el análisis se tiene en cuenta una vida útil de 50 años, con lo que se logra determinar las emisiones correspondientes a infraestructura.

A partir de los datos sobre movilidad que arrojó la encuesta, fue calculado el número de km recorridos entre el lugar de residencia y la Universidad, utilizando el programa de Google maps y ArcMap (Vélez Montes, 2011). Para la estimación del gasto de combustible según el tipo de vehículo, por km recorridos, fueron considerados los valores de referencia sobre rendimiento de combustibles por vehículos, tomados de la Unidad de Planeación Minero Energética de Colombia (Molina Restrepo and Ocampo Rodríguez, 2016).

La variable consumo de alimentos fue clasificada en 10 categorías (carne de res, carne de cerdo, carne de pollo, lácteos, arroz, otros cereales, legumbres, frutas, verduras, alimentos procesados) (Rivas Quiroz, 2016). El cálculo de la HE fue realizado de forma parcial para cada alimento, empleando el método compuesto propuesto por Wackernagel y colaboradores, considerando, producción e intensidad energética por el respectivo factor de equivalencia

(Rivas Quiroz, 2016). La información obtenida en la encuesta fue expresada en ton/año, para tal fin se utilizó la ecuación 3 propuesta por (Rivas Quiroz, 2016).

$$CAI \left(\frac{\text{ton}}{\text{año}} \right) = Ni * Fi * Pi * N^{\circ} \text{ días académicos}$$

Ecuación 3

Fuente: (Rivas Quiroz, 2016)

Dónde:

CAI: Consumo de Alimentos Indirectos (ton/año)

N: Número de unidades consumidas al día por tipo de alimento (unidad/día)

F: Frecuencia de consumo según el alimento

P: Peso por unidad según el alimento (kg)

N° días académicos: días hábiles en un año académico sin feriados

i: Categoría de alimento

Según (Rivas Quiroz, 2016), una vez se obtienen los resultados de consumo de alimentos, se estima la HE mediante la ecuación 4, utilizando datos de productividad e intensidad energética, tomados de (González Moya, 2019).

$$HE = \frac{C}{PN} * Feq$$

Ecuación 4.

Fuente: (Rivas Quiroz, 2016)

Donde:

HE= huella ecológica

C= Consumo (Kg)

PN= Productividad nacional (Kg)

Feq= Factor de equivalencia

Para los productos empacados y envasados ofrecidos en cafetería, fueron analizados los procesos de gasto energético para el procesamiento, teniendo en cuenta sus fuentes de producción limpia, además si son de producción interna o externa (Rivas Quiroz, 2016).

Dentro de esta huella parcial fueron clasificados los distintos alimentos en ciertas categorías por procedencia (agricultura, ganadería y pesca), permitiendo la relación con factores de equivalencia propuestos por *Global Footprint Network* (Lin et al., 2019).

Finalmente fue aplicada la ecuación 5, para sumar todas las huellas derivadas de cada alimento (Rivas Quiroz, 2016).

$$HEAI \left(\frac{ha}{año} \right) = \sum HAI_i$$

Ecuación 5

Fuente: (Rivas Quiroz, 2016)

Donde:

HEAI: Huella Ecológica de Alimentos Indirectos (ha/año)

HAI: Huella de Alimentos Indirectos (ha/año)

i: Tipo de alimento

Una vez obtenidos los valores de cantidad de CO₂ generados por variable, fue calculado el porcentaje en kg de CO₂ que aportan los diferentes consumos y se realizó análisis estadístico sobre la cantidad de CO₂ generado por estamentos y variables en la comunidad educativa.

La estimación de la capacidad de captura de CO₂ de la vegetación del *campus*, fue tomada de datos de estudio de biomasa aérea, determinados en el trabajo *Captura de carbono y confort térmico del arbolado en la Universidad de Sucre campus Puerta Roja, Sincelejo, Colombia*, realizado por (Angulo Urango, 2019).

En el análisis, fue utilizada la ecuación 6, del Instituto de estudios ambientales - IDEAM en el *Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en Colombia*, y adoptada por el *Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC)*, para las especies tropicales, asumiendo que la biomasa aérea seca contiene aproximadamente el 50% de carbono, en este sentido, se utiliza el factor 0,5 para realizar la transformación de biomasa a carbono (Yepes Quintero et al., 2011).

$$C A = BA * 0,5$$

Ecuación 6.

Fuente: (Yepes Quintero et al., 2011)

Donde:

CA = Carbono almacenado.

BA = Biomasa aérea total.

0,5 = Factor de conversión.

Para la conversión de los datos de carbono acumulado a CO₂ equivalente (CO₂e), se utilizó la metodología propuesta por el IPCC, que utiliza el factor 3,67; resultante de la relación entre masa atómica de una molécula de CO₂ (44) por la masa atómica del Carbono (12) (Yepes Quintero et al., 2011).

La estimación de la HE fue obtenida a partir de la relación entre las emisiones de CO₂ y la capacidad de fijación de CO₂ de la masa forestal del *campus*, teniendo en cuenta el área en territorio ocupado (López Álvarez et al., 2008).

$$Huella \left(\frac{ha}{año} \right) = \frac{Emisiones \ (ton \ CO_2)}{C. \ Fijación \ \left(\frac{ton \ CO_2}{\frac{ha}{año}} \right)} + superficie \ campus \ \left(\frac{ha}{año} \right)$$

Ecuación 7.

Fuente: (López Álvarez et al., 2008)

La comparación de los resultados obtenidos de HE, fueron expresadas siguiendo una única medida común (hag), utilizando factores de equivalencia propuestos por *Global Footprint Network* (Lin et al., 2019), basados en medidas de productividad en función de los usos (López Álvarez et al., 2008).

Los resultados fueron comparados con la capacidad biológica establecida para Colombia, definiendo la existencia de superávit o déficit ambiental, teniendo en cuenta una capacidad biológica per cápita total para Colombia fue de 2,1 hag (WWF-Colombia, 2017) y capacidad biológica per cápita mundial de 1,8 hag (Ewing et al., 2010).

Se realizaron análisis para la identificación de diferencias significativas entre los datos de los estamentos, para las variables movilidad, papel y alimentos, mediante prueba no paramétrica de tipo Kruskal Wallis, debido a que los datos no presentaron una distribución normal, en el análisis de normalidad de Kolmogorv Smirnov.

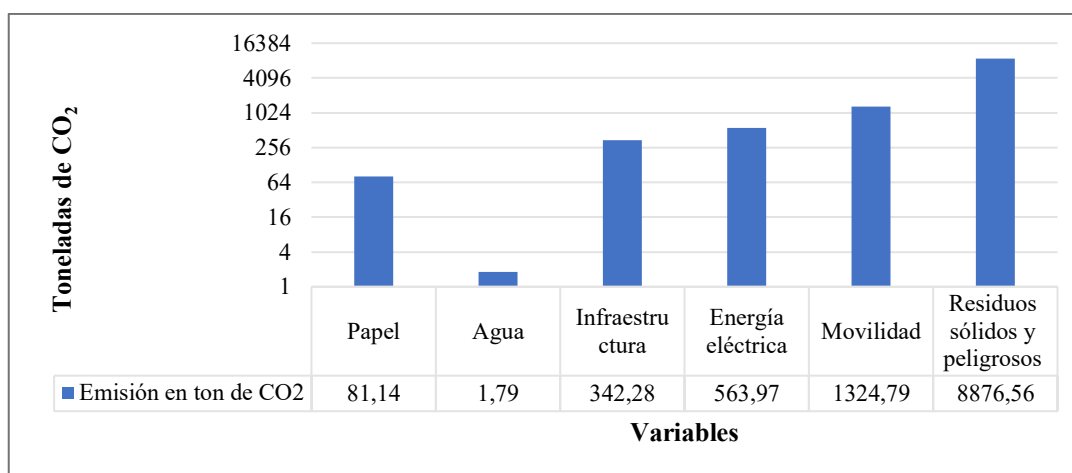
RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La estimación de la cantidad de CO₂ producido en la Universidad de Sucre *campus* Puerta Roja, fue realizada para todas las variables, excepto para la variable alimento, cuyo análisis fue realizado mediante el método compuesto, arrojando los datos directamente en valores de HE (ha/año).

Los hallazgos indican que el total de CO₂ emitido a la atmósfera resulta en un 79% por producción de residuos, un 12% por movilidad, 5% en consumo de energía eléctrica y 3% en infraestructura, siendo las variables papel y agua las que menos contribuyen en la emisión de CO₂ y en la HE de la Universidad.

El análisis de las cantidades de CO₂ emitidas por variable para el *campus* Puerta Roja de la Universidad, se relaciona en la figura 2.

Figura 2. Emisión en toneladas de CO₂ según variables



Fuente: elaboración propia

Las emisiones están asociadas mayormente a la variable residuos que se estimó en kg anuales, los cuales podrían disminuirse mediante un sistema de clasificación en la fuente, especialmente para los residuos producto del barrido de patios y los generados por consumo de alimentos empacados y envasados ofrecidos en la cafetería del *campus*, siendo el consumo de botellas de refrescos altamente significativo.

Con relación a la movilidad, fue encontrado que el mayor porcentaje de emisiones, proviene del gasto de gasolina utilizada en busetas y motocicletas, al ser los medios de transporte que más km relacionan. Sin embargo, son emisiones menores comparadas con reportes de otros estudios (Vélez Montes, 2011), (Molina Restrepo and Ocampo Rodríguez, 2016) y (Ávila Ruiz and González Velandia, 2018), posiblemente debido a factores como el tamaño de la población universitaria y las distancias geográficas recorridas desde los lugares de residencia de la población universitaria en la zona urbana, hacia el *campus*, a pesar de que un número significativo de estudiantes o funcionarios viven en otros municipios cercanos, la

ciudad de Sincelejo presenta una menor área urbana, en comparación con ciudades como Pereira y Bogotá, donde se encuentran las universidades referenciadas. Sin embargo, los valores de emisión de CO₂ de la Universidad de Sucre, fueron semejantes a los reportados por la Corporación universitaria Minuto de Dios (Ávila Ruiz and González Velandia, 2018), aunque la Universidad de Sucre tiene una población educativa de menor número. De otro lado, fueron encontradas diferencias significativas con relación a las emisiones de CO₂ entre el uso de motocicletas por los distintos estamentos y el uso de buseta y bus grande por parte de estudiantes. Por su parte, no fueron encontradas diferencias significativas entre docentes, estudiantes y administrativos que se transportan en motocicleta, así como tampoco entre estudiantes que utilizan buseta y bus grande.

Con relación a la variable infraestructura, el *campus* Puerta Roja, está conformado por un área construida total de 39.781,59 m², de los cuales 34.035 m² corresponden a área construida en el primer piso, es decir, el 14% del total del área del *campus* de la Universidad. Los hallazgos de emisiones anuales muestran resultados similares con (Vélez Montes, 2011), aunque el área de construcción del *campus* es menor con relación a los 154.494 m² construidos de la Universidad de los Andes y además muestra concordancia con los datos de la Corporación universitaria Minuto de Dios, estudio que relaciona 19.613 m² de construcción (Ávila Ruiz and González Velandia, 2018). Es importante resaltar que los sistemas constructivos podrían mejorarse, de manera que predominen materiales amigables con el ambiente.

La variable papel fue una de las variables que menos emisión aporta a la atmósfera, al igual que otras universidades nacionales (Vélez Montes, 2011), (Molina Restrepo and Ocampo Rodríguez, 2016), de manera que los resultados pueden considerarse como un avance en los procesos pedagógicos al interior del aula en actividades de enseñanza – aprendizaje y labores de oficinas. Las emisiones de CO₂ generadas en kg por concepto de libretas gastadas, presentó diferencias entre docentes con estudiantes y administrativos, mostrando que entre los últimos no se presentan diferencias significativas. De igual forma, las emisiones generadas por kg de papel gastado en impresiones, fotocopias y apuntes, indican que no existen diferencias entre docentes y administrativos, pero si difieren estos últimos con relación al estamento de los estudiantes.

Por su parte, el recurso agua representa el porcentaje mínimo de contribución en las emisiones de gas carbónico, lo cual podría ser señal de mayor conciencia ambiental de la población universitaria, en el uso de este recurso o debido a frecuentes interrupciones y racionamientos de prestación del servicio presentadas en la ciudad. La comparación de los valores registrados, con estudios en la Universidad Tecnológica de Pereira que muestra emisiones de 3 tonCO₂/año (Molina Restrepo and Ocampo Rodríguez, 2016) y la Universidad de los Andes con 5,10 tonCO₂/año (Vélez Montes, 2011), muestra que el *campus* de Universidad de Sucre relaciona métricas muy bajas, que podrían deberse a que la tasa poblacional de la universidad es cercana al 27% de la población de la universidad que se menciona en la discusión.

La variable alimento incluida en este estudio, no se tiene en cuenta en algunos estudios nacionales e internacionales (López Álvarez et al., 2008), (Ávila Ruiz and González Velandia, 2018), (Romero, 2017) y (Parra et al., 2018), sin embargo, el presente proyecto es considerada, coincidiendo con (Vélez Montes, 2011), (Molina Restrepo and Ocampo Rodríguez, 2016), y (Rivas Quiroz, 2016), debido a la importancia de la variación en los impactos, que ocasiona la producción de alimentos.

Por su parte, la capacidad de fijación de CO₂ de la vegetación del *campus*, tuvo una estimación de fijación de 449,74 ton de CO₂ (Angulo Urango, 2019), resultado obtenido a partir de la biomasa presente en un área que ocupa aproximadamente el 70,80% respecto al área total del *campus*, ya que esta área se encuentran presentes las especies con las características necesarias para la determinación de la biomasa. Con relación al porcentaje del área que no fue estudiada, la cual equivale a 29,20%, se debe a que en el área se presentan variaciones en la cobertura vegetal durante las temporadas secas y lluviosas del año (Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, 2018), además, se encuentra dominada por vegetación de tipo arbustiva, lo cual indica, que no cumple con los requerimientos necesarios para estimar biomasa área, pues la ecuación alométrica utilizada, cuenta con características de medición del diámetro del tallo, a una altura de 1,30 m desde el suelo (Yepes Quintero et al., 2011).

Estimación de la huella ecológica.

Los resultados de la aplicación de la ecuación 7 para obtención de la HE del *campus*, en ha/año a partir de las variables papel, agua, infraestructura, energía eléctrica, movilidad y residuos sólidos, se describe en la tabla 2.

Tabla 2. Huella ecológica en ha/año de las variables

Variable	Huella (ha/año)
Papel	23,72942152
Agua	23,55300059
Infraestructura	24,31006371
Energía eléctrica	24,80299242
Movilidad	26,49468968
Residuos sólidos y peligrosos	43,28608815

Fuente: elaboración propia

Los resultados de huella de las demás variables fueron sumados a la huella derivada de los alimentos, que corresponde a 408,53 ha/año, obteniendo la HE total de 574,71 ha/año.

La estimación de HE, fue convertida a hectáreas globales aplicando factores de equivalencia, permitiendo compararla con las métricas de capacidad biológica, proporcionadas en hag para Colombia y a nivel mundial. Estos factores de equivalencia se multiplicaron por los datos de huella en has de cada una de las variables, para transformarlos en hag, obteniéndose una HE total de 1.282,54 hag/año. En la tabla 3 se observa la huella en hag y los respectivos factores de equivalencia aplicados.

Tabla 3. Huella ecológica en hag/año de las variables de estudio

Variable	Factor de equivalencia (hag)	Huella (hag/año)
Papel	1,29	30,61095376
Agua	0,37	8,714610219
Infraestructura	2,52	61,26136055
Energía eléctrica	0,37	9,177107197
Movilidad	1,29	34,17814969
Residuos sólidos	2,52	109,0809421
Alimentos	2,52	1029,517994

Fuente: elaboración propia

La comparación de los resultados de este estudio con los valores de HE de otras universidades nacionales e internacionales y sus variables de influencia, son presentados en la tabla 4.

Tabla 4. Análisis comparativo entre universidades nacionales e internacionales.

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE UNIVERSIDADES NACIONALES E INTERNACIONALES						
Variable Emisión TonCO ² /año	U. de Sucre Colombia	U. tecnológica de Pereira Colombia 2016	U. de los Andes Colombia 2011	U. Santiago de Compostela España 2008	U. Católica de San Pablo Perú 2016	Corporación universitaria Minuto de Dios Bogotá 2018
Papel	81,14	19	10,92	438,29	105,3 hag	59078,148
Agua	1,79	3	5,10	170,19	N/A	7,423
Infraestructura	342,28	590	304,55	5.028,74	N/A	255,466
Energía	563,97	480	2.055,43	9.904,14	N/A	585,085
Movilidad	1324,79	6.271	11.145,08	5.749,80	6043,8 hag	107388,28
Residuos sólidos y peligrosos	8876,56	116	N/A	419,96	1,7 hag	1930,596
Total CO ₂	11190,54	7.479	14.089,23	32.407,83	23952,1	62167,87
Alimento (ha)	408,53	465,59	315,63	N/A	1423,4 hag	N/A
HE (ha/año)	574,71	1.822,95	7.827,35	5.217	-	9.917,32
HE (hag/año)	1.282,54	-	10.307	-	7.606,7	13.289,20
Huella(ha/per cápita)	0,11	0,10	0,40	0,16	-	0,48
Huella(hag/per cápita)	0,24	-	0,53	-	1,1	0,64
Referencias	Propia	(Molina Restrepo and Ocampo Rodríguez, 2016)	(Vélez Montes, 2011)	(López Álvarez et al., 2008)	(Rivas Quiroz, 2016)	(Ávila Ruíz, 2016)

Fuente: elaboración propia

Los resultados mostraron valores bajos de HE en el *campus* Puerta Roja de la Universidad de Sucre, en comparación con otras universidades de referencia, lo cual estimula un trabajo hacia la consecución del carbono neutro y sobre todo revisar especialmente los mecanismos de control, utilizados para la disposición de residuos sólidos, que fue la variable

con mayor aporte de emisiones, al igual que la variable de alimentación que aportó un significativo valor en la HE.

Sin embargo, los resultados de HE pueden variar para cada Universidad, con base en algunos factores como por ejemplo el área geográfica, la capacidad de fijación de CO₂, tamaño de la población educativa, entre otros. En este sentido, la huella de 0,11 ha per/cápita, estimada para la Universidad de Sucre presenta valores bajos, al igual que los datos reportados por (Molina Restrepo and Ocampo Rodríguez, 2016) para la Universidad Tecnológica de Pereira en la estimación de la HE por persona. Por otra parte, para la Universidad de los Andes, en el estudio de (Vélez Montes, 2011), se reporta una huella con un valor de 0,40 ha per/cápita, no obstante, se debe considerar que posee un área menor de 9,9 ha en comparación con la extensión de la Universidad de Sucre y una población de 19.467 personas, es decir 72,8% más de población que la Universidad de este estudio.

De otro lado, la Corporación universitaria Minuto de Dios en reporte de (Ávila Ruíz, 2016) relaciona los valores de HE más altos y similares a los obtenidos por (Vélez Montes, 2011) para la Universidad de los Andes, pero sus datos en hectáreas per/cápita no tienen en cuenta en los resultados, la variable movilidad, debido a que sostiene que dichos valores no son generados directamente por la Universidad.

En cuanto a los resultados presentados por (Rivas Quiroz, 2016), para la Universidad Católica de San Pablo, estos no relacionan las emisiones de gas carbónico por variable, debido a que su metodología fue basada en componentes, la cual arroja los datos directamente en HE, al igual que los datos de alimentos presentados en los diferentes estudios que tuvieron en cuenta esta variable.

Huella per cápita.

La división entre los resultados de ha y hag entre el total de la población que ocupa el *campus*, permitió obtener el estimado que se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Huella ecológica de la Universidad de Sucre campus Puerta Roja

Huella ecológica de la Universidad	
ha/año	574,71
hag/año	1282,54
Ha/per cápita	0,11
Hag/per cápita	0,24

Fuente: elaboración propia

Los resultados indicaron que el *campus* se encuentra en un estado de superávit ambiental, debido a que la HE no supera la capacidad biológica per cápita para Colombia, pues los resultados muestran un consumo de 0,11 ha/per cápita, es decir 1,99 ha/per cápita menos de lo establecido para el país. Asimismo, a nivel global la población universitaria se encuentra en superávit ambiental, debido a que su consumo no excede los 1,8 hag/per cápita disponibles a nivel global.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El análisis del consumo y disposición de residuos en el *campus* Puerta Roja, indicó que la generación de residuos peligrosos representa valores mínimos de emisión en kg de CO₂, seguido del uso del papel, y el uso del agua, mientras que la producción de residuos sólidos institucionales y la movilidad de la población, indicaron las emisiones más altas de gas invernadero. En este sentido, los valores bajos encontrados podrían estar reflejando señales de gestión integral de los residuos peligrosos al interior de la universidad, pues se evidencia el seguimiento desde el Centro de laboratorios mediante el cual se generan periódicamente informes sobre Gestión Ambiental Institucional de dicho residuo para la Contraloría General del Departamento de Sucre.

La HE de la comunidad universitaria estimada para el año 2019, fue de 574,71 ha/año, de la cual el 71% corresponde al consumo de alimentos y el restante a variables como generación de residuos sólidos, movilidad, consumo de energía eléctrica, infraestructura y consumo de agua y papel, lo cual podría constituir un reto institucional en materia de gestión ambiental, en el análisis y acciones para cada una de estas variables. El estudio reconoce la importancia en la consideración de las métricas sobre alimentos, pues reflejan los hábitos de consumo y los mayores requerimientos de área biológicamente productiva de la población universitaria.

La HE estimada para los miembros de la población universitaria, registró valores que al compararlos con los parámetros y métricas sugeridas a nivel nacional y de orden mundial, podrían suponer un consumo proporcionado de bienes y servicios, que deberían mantenerse o reducirse en años próximos, a través de la gestión y formación de cultura ambiental. De igual forma, los datos indican que la vegetación del *campus*, realiza una captura del 4,02%, del total de emisiones generadas por la comunidad educativa, por ello el estudio propone una serie de estrategias que contribuyen a la disminución del consumo de recursos, mediante acciones generadoras de cultura ambiental y simultáneamente un aumento de la vegetación arbórea, a partir de prácticas ambientales enmarcadas en la reforestación.

Así mismo, el estudio reconoce que mediante el conocimiento de los estimados de HE y el control y seguimiento periódico de esta métrica, se puede contribuir para conseguir

los compromisos propuestos a nivel mundial y desde cada uno de los países planteados en la cumbre del cambio climático.

El estudio recomienda el análisis de los hallazgos y resultados por parte de la unidad responsable del Plan Institucional de Gestión Ambiental de la Universidad de Sucre, que permita su retroalimentación y ejecución de políticas institucionales. Además, conformar estrategias de seguimiento y control para registro permanente de las variables que constituyen la HE de la población universitaria.

En la realización de próximos estudios, se recomienda detallar a profundidad los resultados, a partir de la clasificación del estamento estudianto según facultades y programas, además, evaluar los valores de emisión de CO₂ de la variable alimento, para obtener métricas de emisión más cercanas a la realidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angulo Urango, S., 2019. Captura de carbono y confort térmico del arbolado en la Universidad de Sucre sede Puerta Roja, Sincelejo, Colombia.
- Ávila Ruiz, L., González Velandia, K., 2018. Analysis of the ecological footprint generated by the Corporación Universitaria Minuto de Dios , Colombia. *Rev. Teoría y Prax.* 187–202.
- Ávila Ruíz, L.J., 2016. Cálculo de la Huella Ecológica generada por la Corporación Universitaria Minuto de Dios. Bogotá Colombia.
- Corporación Ambiental Empresarial, 2015. Factores de emisión considerados en la herramienta de cálculo de la huella de carbono corporativa. *Corporación Ambient. Empres.* 1–18.
- Ewing, B., Reed, A., Galli, A., Kitzes, J., Wackernagel, M., 2010. Calculation methodology for the national Footprint accounts , 2010 Edition. *Glob. Footpr. Netw. Rep.*
- Galli, A., Iha, K., Moreno Pires, S., Mancini, M.S., Alves, A., Zokai, G., Lin, D., Murthy, A., Wackernagel, M., 2020. Assessing the Ecological Footprint and biocapacity of Portuguese cities: Critical results for environmental awareness and local management. *Cities* 96, 102442. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.102442>
- González Moya, J.D., 2019. Cálculo de la huella ecológica en Colombia a partir de la comparación del plan nutricional omnívoro vs. el vegetariano. *Univ. Santiago Cali.*
- Grooten, M., Almond, R.E.A., 2018. Informe Planeta Vivo 2018: Apuntando más alto. WWF.
- Hernández Sampieri, R., 2014. Metodología de la investigación. Sexta edición.
- Ibarra-Cisneros, J.M., Monroy-Ata, A., 2014. Questionnaire to compute the ecological footprint of Mexican university students and its application in the Zaragoza Campus of the National University. *TIP. Rev. Espec. en ciencias químico-biológicas* 17, 147–154.
- Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM, 2018. Características Climatológicas De Ciudades Principales Y Municipios Turísticos. *Inst. Hidrol. Meteorol. y Estud. Ambient.* 48.
- International Resource Panel, 2019. Global Resources Outlook 2019 - Full report.
- Lambrechts, W., Van Liedekerke, L., 2014. Using ecological footprint analysis in higher

- education: Campus operations, policy development and educational purposes. *Ecol. Indic.* 45, 402–406. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.04.043>
- Lin, D., Hanscom, L., Martindill, J., Borucke, M., Cohen, L., Galli, A., Lazarus, E., Zokai, G., Iha, K., Eaton, D., Wackernagel, M., 2019. Working Guidebook to the National Footprint and Biocapacity Accounts.
- López Álvarez, N., Autores, O., Blanco Heras, D., 2008. Metodología para el Cálculo de la huella ecológica en universidades.
- Ministerio de comercio industria y turismo., 2013. Decreto 1377 de 2013. Minist. comercio, Ind. y Tur. decreto 13, 1–11.
- Molina Restrepo, J., Ocampo Rodríguez, M., 2016. Calculo de la huella ecológica en el campus de la Universidad Tecnológica de Pereira.
- Parra, G., Checa, M., Rosario Mesa-Barrionuevo, C., Ruiz-Reyes, N., Guerrero, F., 2018. Ecological footprint assessment in the University of Jaen, a tool for environmental management. *Obs. Medioambient.* 21, 249–262. <https://doi.org/10.5209/OBMD.62655>
- Rivas Quiroz, X.D., 2016. Análisis de la sostenibilidad ambiental en los alumnos de pregrado de la Universidad Católica San Pablo mediante el cálculo de la huella ecológica.
- Romero, R., 2017. Ecological Footprint Calculation of the Technical University El Olivo Campus , Norte- Campus El Olivo , Enero - Diciembre 2015. *Rev. Cienc.* 19, 465–476.
- See, T.A., Wai, C.W., Zen, I.S., 2016. Ecological Footprint of Research University Students: A Pilot Case Study in Universiti Teknologi Malaysia. *MATEC Web Conf.* 66. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20166600073>
- Toro, A., Gomera, A., Aguilar, J., Guiarro, C., Antúnez, M., Vaquero, M., 2016. La huella de Carbono de la UCO 27.
- UPME, 2019. Resolución No. 000642 de 2019. Por el cuál se actualiza el factor marginal de emisión de gases de efecto invernadero del Sistema Interconectado Nacional - 2018, para proyectos aplicables al Mecanismo de Desarrollo Limpio.
- Vélez Montes, A., 2011. Universidad de Los Andes para el año 2011 (Colombia) 2011, 26.
- Wayne W, D., Chad L, C., 1984. Biostatistics: A Foundation of Analysis in the Health Sciences., *Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General).*

<https://doi.org/10.2307/2981748>

WWF-Colombia, 2017. Colombia viva: Un país megadiverso de cara al futuro. Informe 2017.

WWF, 2014. Informe-PlanetaVivo2014_LowRES 1–36.

Yepes Quintero, A.P., Duque Montoya, A.J., Phillips Bernal, J.F., Navarrete Encinales, D.A., IDEAM, I. de hidrología meteorología y estudios ambientales, 2011. Protocolo para la estimación nacional y subnacional de biomasa-carbono en Colombia. Instituto de Hidrología, meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM-BOGOTÁ D.C., Colombia.