

HUELLA ECOLÓGICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Ecological footprint of the National Agrarian University of the Jungle

Alfredo Abelardo Carmona Ruiz¹ , Williams Vicente Roldan Carbajal² , Máximo Alfredo Dionisio Garma³ 

1: Docente asociado de la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias (Doctor). Código ORCID: 0000-0003-1656-2318. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. Correo electrónico: alfredo.carmona@unas.edu.pe, teléfono: 962814893

2: Docente asociado de la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias (Doctor). Código ORCID: 0000-0002-2516-5819. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. Correo electrónico: williams.rolدان@unas.edu.pe, teléfono: 944603185

3: Docente principal de la Facultad de Ingeniería en Informática y Sistemas (Doctor). Código ORCID: 0000-0002-8457-7987. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. Correo electrónico: maximo.dionisio@unas.edu.pe, teléfono: 922012515

RESUMEN

La investigación determinó la huella ecológica (HE) de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS). La metodología descriptiva adoptada, tuvo como etapa inicial establecer el método para la estimación de la HE, que se hizo de dos maneras: el cálculo de la HE, estableciendo categorías como edificaciones, energía eléctrica, agua, combustibles, consumo de papel y generación de desechos que son cálculos directos, el segundo son cálculos indirectos mediante la aplicación de encuestas para obtener datos estadísticos (muestra representativa) para estimar el consumo total (transporte). La segunda etapa se determinaron las categorías de consumo, identificando inputs y outputs para establecerlas y la última etapa que fue el cálculo de la HE para determinar la superficie de bosque necesaria para asimilar las emisiones de CO₂ producidas por cada categoría de consumo. La evaluación de la HE en la UNAS, buscó desarrollar alternativas para reducir recursos y desechos, utilizando indicadores directos de consumo como: agua de quebrada; construcción de edificios; energía eléctrica; movilidad: papel reciclado; papel virgen e indicadores indirectos como: cálculo de las emisiones de CO₂ del transporte que utiliza el personal y estudiantes. Del análisis se obtuvo que la UNAS necesita un área de 625,44 ha de bosque para absorber las emisiones de CO₂ del 2019, pero como tiene 185 hectáreas de bosque solo necesita 440,44 hectáreas (Ha). Asimismo, requiere de 807,00 hectáreas globales (Hag) de bosque estándar mundial para asimilarlas. Se estableció la HE por miembro de la comunidad universitaria para el período 2019 (7 202 personas), obteniendo una HE de 0,07 Ha/persona/año o 0,09 Hag/persona/año. Este análisis proporciona una base sólida para identificar áreas de mejora y promover prácticas sostenibles en la UNAS.

Palabras Claves: Impacto ambiental, emisiones CO₂, desarrollo sostenible.

ABSTRACT

The research determined the ecological footprint (HE) of the Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS). The descriptive methodology adopted, had as initial stage to establish the method for estimating the HE, which was done in two ways: the calculation of the HE, establishing categories such as buildings, electricity, water, fuels, paper consumption and waste generation that are direct calculations, the second are indirect calculations by applying surveys to obtain statistical data (representative sample) to estimate the total consumption (transportation). The second stage was to determine the categories of consumption, identifying inputs and outputs to establish them and the last stage was the calculation of the HE to determine the area of forest needed to assimilate the CO₂ emissions produced by each category of consumption. The evaluation of HE at UNAS sought to develop alternatives to reduce resources and waste, using direct consumption indicators such as: stream water; building construction; electrical energy; mobility: recycled paper; virgin paper and indirect indicators such as: calculation of CO₂ emissions from transportation used by staff and students. From the analysis it was obtained that UNAS needs an area of 625.44 ha of forest to absorb the CO₂ emissions of 2019, but since it has 185 hectares of forest it only needs 440.44 hectares (Ha). Likewise, it requires 807.00 global hectares (Hag) of global standard forest to assimilate them. The HE per member of the university community was established for the 2019 period (7 202 people), obtaining an HE of 0.07 Ha/person/year or 0.09 Hag/person/year. This analysis provides a solid basis for identifying areas for improvement and promoting sustainable practices at UNAS.

Keywords: Environmental impact, CO₂ emissions, sustainable development.

I. INTRODUCCIÓN

La Universidad Agraria de la Selva (UNAS) funcionan desde abril de 1965, ha logrado un notable progreso académico desde su creación. Actualmente, ofrece doce carreras profesionales y cuenta con una escuela de postgrado (Ministerio de Educación [MINEDU], 2024). La Superintendencia Nacional de Educación Superior Universidad [SUNEDU] (2019) reporta que la UNA cuenta con una población al 2018-II de más de 3 mil estudiantes y 231 docentes. En cuanto a infraestructura, la universidad tiene 75 aulas, 34 laboratorios de enseñanza, 13 laboratorios de cómputo, 6 talleres y 81 ambientes para docentes. También cuenta con planes y protocolos de seguridad para todos los laboratorios y talleres declarados, y cuenta con contratos vigentes para el servicio de recojo, transporte y disposición final de residuos peligrosos. Estas características básicas establecen el contexto para la posterior sustentación de la aplicación de la huella ecológica (HE) en la Universidad.

La huella ecológica se define como la cantidad de tierra y agua necesaria para producir los recursos consumidos por una población determinada y para absorber los desechos generados, utilizando tecnología y métodos de gestión actuales. Este concepto proporciona una medida cuantitativa del impacto ambiental de las actividades humanas (Postigo & Young, 2016). La aplicación de la HE a instituciones fue creciendo a medida que la conciencia ambiental se incrementó en la sociedad, surgió el interés en aplicar el concepto de huella ecológica a entidades específicas, como las universidades debido a que son instituciones que consumen recursos naturales y energía, generan residuos y tienen un impacto significativo en su entorno (Torregrosa, 2010). Para el cual se requiere adaptar y desarrollar metodologías específicas, Esto implica considerar una amplia gama de factores, como el consumo de energía, agua y papel, la generación de residuos sólidos y líquidos y las emisiones de gases de efecto invernadero, entre otros. La medición de estos factores puede realizarse mediante técnicas de contabilidad ambiental y análisis de ciclo de vida (Olalla, 2003). En la fórmula se consideran las emisiones de CO₂ (t), la capacidad de fijación del carbono y la superficie del campus. Estas emisiones, vinculadas al consumo de recursos naturales y la generación de residuos, son cruciales para determinar su impacto. Luego, se traducen en una estimación de la superficie de bosque necesaria para absorberlas (López & Blanco 2009).

El estudio de la huella ecológica de las universidades se ha desarrollado como una respuesta a la creciente preocupación por el impacto ambiental de las actividades humanas y la necesidad de promover prácticas más sostenibles en el ámbito educativo. Este campo continúa evolucionando con el fin de desarrollar mejores metodologías de evaluación y promover la integración de principios de sostenibilidad en la gestión

y operación de las instituciones educativas. Para abordar el problema, es necesario entender lo que significa el consumo sostenible ya que el concepto del consumo no está bien definido, sin embargo, se entiende que este “representa la cantidad total de recursos extraídos del medio ambiente, que en parte son utilizados para fines económicos, pero cuyo mayor porcentaje se desecha como desperdicios” (Mäser, 2018). Como se puede inferir, el término de consumo sostenible procede del desarrollo sostenible, siendo una de las definiciones más populares la formulada por la Comisión de Brundtland, la cual señala que “el desarrollo sostenible es aquel desarrollo que cubre las necesidades presentes sin poner en riesgo la habilidad de próximas generaciones para cubrir sus propias necesidades” (Mäser, 2018).

Referente al impacto ambiental, las universidades como la UNAS, al igual que otras instituciones, tienen una huella ecológica significativa debido a sus actividades cotidianas, que incluyen el consumo de energía, agua, alimentos, transporte y generación de residuos. Pero a menudo, existe una falta de conciencia sobre el impacto ambiental de las actividades universitarias entre la comunidad estudiantil, el personal docente y administrativo más aún sin una medición y evaluación adecuadas de la huella ecológica de la universidad, es difícil implementar estrategias efectivas de mitigación y reducción es así que las universidades incluyendo la UNAS tienen la responsabilidad de ser líderes en sostenibilidad ambiental y de servir como ejemplos para la sociedad en general.

La UNAS puede reducir su impacto ambiental, como la eficiencia energética, la gestión de residuos y el transporte sostenible, proporcionará una base sólida para el compromiso institucional con la sostenibilidad ambiental y la implementación de políticas y prácticas eco amigables, permitirá reducir la huella ecológica conllevando a ahorros económicos a largo plazo a través de la eficiencia en el uso de recursos y la adopción de tecnologías sostenibles. En este contexto, el objetivo del trabajo es analizar y evaluar la Huella Ecológica de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS) en el año 2019, identificando las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y proponiendo alternativas y estrategias para su reducción.

II. MATERIALES Y METODOS

2.1. Lugar de ejecución

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el Campus de la UNAS, ubicado en la Ciudad de Tingo María - Huánuco, el periodo de ejecución del experimento abarcó el 2019.

2.2. Universo y muestra de estudio a realizar

La muestra poblacional en el estudio de la huella ecológica de la Universidad Nacional Agraria de la

Selva abarcó una muestra poblacional diversa que representaba la comunidad universitaria y las actividades asociadas a la institución. Esta muestra incluyó estudiantes de diferentes facultades, especialidades y niveles educativos, tanto de pregrado como de posgrado. Además, el personal académico y administrativo también contribuyó al estudio debido a sus actividades diarias y decisiones institucionales. Los edificios, laboratorios, áreas verdes, zonas de recreación y otros espacios físicos de la universidad. Se consideraron diferentes tipos de instalaciones para comprender mejor cómo se utilizan y cómo afectan al medio ambiente. La muestra también consideró datos sobre el consumo de recursos energéticos, agua, papel, alimentos y otros materiales dentro de la universidad. El transporte de estudiantes, profesores y personal dentro y fuera del campus también fue relevante para la huella ecológica. Por lo tanto, los patrones de movilidad y los medios de transporte utilizados formaron parte de la muestra. Asimismo, se consideraron las políticas y prácticas de gestión ambiental implementadas por la universidad, como la separación de residuos, el reciclaje y la eficiencia energética. En resumen, la muestra poblacional representó tanto las actividades cotidianas como las decisiones institucionales que contribuyen al impacto ambiental de la universidad. La selección cuidadosa de la muestra y la recopilación precisa de datos fueron fundamentales para obtener una comprensión completa de su Huella Ecológica.

2.3. Metodología

La metodología utilizada fue la propuesta por López & Blanco (2009), para el cálculo de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) se emplearon factores de emisión de acuerdo con cada categoría de consumo. Tabla 1 y Ecuación 2.

Tabla 1

Factores de conversión de CO₂ por categorías de consumo

Categoría de consumo	Factor de conversión	Unidades	Fuente
Sistemas y redes	0,25	KWh/m ³	Molina y Ocampo
Agua de río			
Construcción de edificios	10,4	kg CO ₂ /m ²	Informe MIES
Energía eléctrica	0,547	Tn CO ₂ /MWh	FONAM-BM ¹
Papel Reciclado	0,61	kg CO ₂ /kg papel	López y Blanco
Papel Virgen	1,84	kg CO ₂ /kg papel	López y Blanco

Fuente: Molina y Ocampo (2016), [FONAM] (2009) y López y Blanco (2007). ¹ factor de emisión del SEIN peruano, ya utilizado en otras investigaciones peruanas (Ponce y Rodríguez 2016).

2.3.1. Estimación de la Huella Ecológica

Para estimar la HE total de la institución, "el cálculo consiste en determinar el área de bosque necesario para absorber el CO₂ generado por el consumo. A partir de la cantidad de CO₂ emitida a la atmósfera dividida por la capacidad de fijación de CO₂, se obtiene la superficie de bosque requerida y finalmente se le suma el espacio

ocupado por los edificios universitarios" (López & Blanco, 2009). Esta descripción se simplifica más adelante en la ecuación 1. Tal como manifiestan Leyva *et al* (2010), a esta metodología se le pueden realizar ajustes para adaptarla a las condiciones propias de cada universidad.

$$HE = \frac{Em_{CO_2}}{CF_{CO_2}} + SC_p \quad (1)$$

Donde:

- HE=huella ecológica (ha/hab/año)
- Em CO₂=emisiones de CO₂ (TM)
- CF CO₂=coeficiente de fijación (TM CO₂/ha/año)
- SCp=superficie campus (ha/año)

Se tuvo en cuenta que para fines del cálculo de la HE, cualquier referencia a CO₂, se debe entender como el gas en sí, no como CO₂ equivalente, utilizado para expresar el conjunto de gases de efecto invernadero (GEI) en el cálculo de la huella de carbono. Para la presente investigación, se toma como referencia esta última metodología propuesta por López & Blanco (2009), para lo cual se ha establecido un esquema de trabajo, con el fin de ordenar los pasos y actividades a realizar para obtener la HE de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

2.3.2. Determinación de las categorías de consumo

Antes de seleccionar las categorías a trabajar, fue necesario señalar que estas provendrían de un análisis de la institución como sistema dentro de un entorno. La identificación de impactos ambientales asociados a este sistema facilitó identificar los inputs y outputs de este que vienen a ser las categorías de la HE (Leyva *et al.*, 2010).

Tabla 2

Categorías de consumo (variables) que se consideraron en el cálculo de la HE de la UNAS

Categorías	Variables	Representación
Agua	Primera variable	A ₁
Construcción de edificios	Segunda Variable	A ₂
Energía eléctrica	Tercera variable	A ₃
Movilidad	Cuarta variable	A ₄
Papel	Quinta variable	A ₅

Todas las categorías de consumo que fueron las variables serán calculados tomado en cuenta la Tabla 1 hasta ser expresados a equivalentes en kilogramos de emisiones de CO₂ (López & Blanco, 2009).

La forma de cálculo de las categorías de consumo se describe a continuación.

Agua

En la universidad por medios propios se ha estimado valores aproximados del consumo de agua en base a la información disponible de los antecedentes bibliográficos, ambientes y equipos. Los datos

disponibles fueron proporcionados en valores expresados por persona al día y al año.

Construcción de edificios

Se cuantificaron el número de edificios de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), agrupados en categorías.

Energía eléctrica

Se ha tomado datos de consumo de energía eléctrica por cada mes del periodo 2019, de los recibos de energía emitidos por Electro Centro.

Movilidad

Los datos de esta categoría se obtuvieron mediante cuestionarios virtuales a personas de la comunidad universitaria en el 2019, entre personal docente, administrativo y alumnado en general.

Papel

Los datos para realizar los cálculos de esta categoría se obtuvieron de dos formas, de forma directa e indirecta. Para el cálculo directo, se utilizó el dato de consumo de papel proporcionado por la oficina de logística de la UNAS utilizando la Ecuación 2 y para el indirecto mediante datos estadísticos extraídos de cuestionarios utilizando las ecuaciones 3 y 4.

$$\text{Emisiones} = \text{Consumo} * \text{Factor emisión} \quad (2)$$

Donde: Emisiones= Emisiones de CO₂ (kg CO₂); Consumos=Consumo de cada categoría (un/año); Factor Emisión= de acuerdo con cada categoría (kg CO₂/un).

$$\text{Valor Universidad} = \text{Factor extrapolación} * \text{Valor de encuesta} \quad (3)$$

$$\text{Factor extrapolación} = \frac{\text{Población}}{\text{Individuos muestra}} \quad (4)$$

2.3.3. Cálculo de la Huella Ecológica de la UNAS

Teniendo las cantidades de CO₂ obtenidas por cada categoría, para el cálculo de la HE se aplicó la Ecuación 1 (de la sección metodológica). También fue necesario estimar la HE por miembro de la comunidad universitaria. Para ello se debió considerar la cantidad total de personas (estudiantes, personal docente y administrativo) que integraron la comunidad en el periodo 2019. Con este valor se obtuvo la HE de la UNAS, en unidades de Ha/persona/año ó en Hag/persona/año.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La metodología utilizada fue la propuesta por López y Blanco (2009), para el cálculo de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) se emplean factores de emisión de acuerdo con cada categoría de consumo que indicamos en la Tabla 1 y se aplica de acuerdo con lo indicado en la sección de metodología, (Ecuación 2).

3.1. Agua

Para el caso del consumo de agua, la universidad se abastece de una quebrada que discurre por el bosque reservado, saliendo del Campus a la altura del AA.HH., de Buenos Aires debido a ello, la universidad no tiene recibos de agua para el periodo 2019 por parte de SEDA Huánuco-Leoncio Prado pues sólo se pagaba un monto base por el consumo de este recurso a la Autoridad Nacional del Agua (ANA). El reporte de consumo de agua en la UNAS es de 15,00 L/Persona/día (4500,00 L/Persona/año) y de 0,015 m³/persona/día (4,50 m³/persona/año).

La universidad por medios propios ha estimado valores aproximados del consumo de agua en base a la información disponible de los antecedentes bibliográficos, ambientes y equipos. Los datos disponibles fueron proporcionados en valores expresados por persona al día y al año, los mismos que fueron utilizados para realizar los cálculos de la HE en esta categoría, multiplicando el dato proporcionado por el total de personas (alumnos, docentes, trabajadores) correspondientes al periodo 2019 y así obtener un valor estimado anual. Fue necesario establecer el número total de personas que estuvieron presente durante el año 2019 teniendo alumnos de pregrado 6 248, alumnos de Posgrado 392, docentes 276 y administrativos 286 haciendo un total de 7 202 personas, resultados que difieren de los encontrados por Cárdenas et al. (2010) quien encuentra valores inferiores de 13,7 L/persona/día (4 110 L/persona/año) y de 0,012 m³/persona/día (3,6 m³/persona/año) por razones que en la Universidad de Granada hay un mayor racionamiento de agua y un mejor sistema de distribución.

Entonces, el cálculo es el siguiente:

$$4,50 \frac{\text{m}^3}{\text{persona}} * 7202 \text{ personas} = 32409^3$$

Para obtener la cantidad de emisiones de CO₂ se aplicó la ecuación 2. Primero se obtuvo el producto del consumo total de agua luego multiplicamos por el factor de conversión indicado en la Tabla 4, una vez que se cuenta con el consumo en KWh, se aplica el factor de emisión de energía eléctrica de la misma Tabla es así como tenemos los siguientes cálculos:

$$32409 \text{ m}^3 \times 0,25 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} = 8102,25 \text{ kWh}$$

$$8102,25 \text{ kWh} \times 0,000547 \frac{\text{Tm CO}_2}{\text{kWh}} = 4,4 \text{ Tm CO}_2$$

De acuerdo con el cálculo realizado, se ha obtenido que para la categoría agua en el periodo 2019, se ha generado 4,4 toneladas de dióxido de carbono (CO₂), valores que difieren de lo reportado por Cárdenas et al. (2010) debido a que la Universidad de Granada existe una población de unos 250 000 habitantes, y alrededor de 60 000 estudiantes universitarios.

3.2. Construcción de edificios

La Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS) cuenta con un campus constituido por 75 edificaciones, las cuales se han agrupado en 6 categorías que son: laboratorios con 6834,84 m², pabellones y edificios administrativos con 32284,52 m², otros servicios académicos con 17659,75 m², auditorios con 29874,80 m², servicios de soporte con 5180,23 m² y residencias (alumnos, personal) con 31408,30 m². Para obtener la cantidad de emisiones de CO₂ se aplica la Ecuación 2. El producto del área construida total por el factor emisión es el siguiente:

$$123242,43 \times 10,4 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{m}^2} = 1281721,272 \text{ Kg CO}_2$$

De acuerdo con el cálculo realizado, se ha obtenido que para la categoría de edificios construidos hasta el 2019, se genera 1281,72 toneladas de dióxido de carbono (CO₂), valores superiores a los que determino Leyva et al. (2010) en la Universidad Central Marta Abreu de las Villas en Cuba esto debido a la recesión económica por lo que atraviesa este país que ha limitado la construcción de edificios.

3.3. Energía eléctrica

Se ha obtenido 12 datos de consumo de energía eléctrica por cada mes del periodo 2019. Estos datos fueron extraídos de recibos de energía emitidos por la empresa distribuidora de energía, en este caso Electro Centro, compilados y proporcionados por la universidad. Se ha agrupado los valores de consumo promedio por trimestre y se obtiene el total por año, los cuales son: primer trimestre (enero - marzo) 2 008 788,83 kW.h, segundo trimestre (abril - junio) 2 119 719,19 kW.h, tercer trimestre (julio - setiembre) 1 902 682,22 kW.h, cuarto trimestre (octubre - diciembre) 1 919 564,21 kW.h; haciendo un total de 7 950 754,45 kW.h. Para obtener la cantidad de emisiones de CO₂ se aplicará la Ecuación 2. El producto del consumo total de energía eléctrica por el factor emisión indicado en la Tabla 6 y convertido a kW.h es el siguiente:

$$7950754,45 \text{ kW.h} * 0,000547 \frac{\text{T}_m \text{CO}_2}{\text{kW.h}} = 4349,06 \text{ T}_m \text{CO}_2$$

De acuerdo con el cálculo realizado, se ha obtenido que para la categoría energía eléctrica en el periodo 2019, se ha generado 4349,06 toneladas de dióxido de carbono (CO₂) este dato es inferior al de 14 503,00 encontrado por Guerra & Rincón (2017) en su trabajo realizado en la Universidad Central de Venezuela debido a que es un tamaño mayor.

3.4. Movilidad

De acuerdo con lo explicado en la metodología, para obtener datos de esta categoría se realizaron cuestionarios virtuales a 116 personas de la comunidad universitaria 2019, entre personal docente, administrativo y alumnado en general. Los resultados se tienen en la Tabla 3.

Tabla 3

Medio de transporte empleado versus distancia media por trayecto

Distancia	A pie o en bicicleta	Auto	Motocicleta o mototaxi	Transporte público	Total
0-3 km	21%	8%	28%	7%	63%
3-5 km	2%	0%	2%	3%	6%
5-10 km	0%	0%	1%	2%	3%
10-20 km	4%	2%	5%	3%	14%
20-30 km	0%	1%	1%	3%	4%
30-45 km	1%	0%	3%	6%	10%
Total	28%	10%	40%	22%	100%

De la Tabla 3 se observa que el medio de transporte más utilizado por la comunidad universitaria es la motocicleta o mototaxi con un 40% de incidencia, y este resultado también es explicado por la distancia media pues la mayor parte de personas participantes del cuestionario (63%), se desplazan menos de 3 km desde su domicilio hacia la universidad. En los alrededores cercanos a la universidad, el tipo de transporte característico son los mototaxis y también se observan usuarios de motocicletas.

En la tabla también se observa que hay un porcentaje importante (28%) de personas que señalan ir a pie o en bicicleta a la universidad, y la mayoría de ellos reside también a menos de 3 km de la institución.

Los rangos de distancia se han agrupado de acuerdo a los distritos y urbanizaciones señalados por los participantes, y los kilómetros han sido estimados utilizando el Google Earth (herramienta regla - ruta) y el Google Maps que estima las distancias medias entre distritos. El resumen de distancias se ha agrupado como se indica en la Tabla 4.

Tabla 4. Lugares desde donde se desplazan los participantes para ir a la UNAS.

0-2 km	2-5 km	5-10 km	10-20 km	20-30 km	30-45 km
Localidad des cercanas a la UNAS: Tingo María, Afilador, Buenos aires, Brisas, Castillo	Localidad es: de las Pavas, Bella Durmient e, Supte, Naranjill o, Mapresa,	Localidad es: Pumahua si, Santa Rosa, las Palmas,	Localidad es: Las Vegas, La divisoria, Pendenci a, Pueblo Nuevo	Localidad es: Anda, Pacae, y lugares aledaños	Localidad es: Aucayacu y lugares aledaños

El cuestionario también incluyó una pregunta para estimar cuántas veces en promedio el participante realizaba el recorrido de dicha distancia por semana, que varía desde 1 día (02 recorridos) hasta todos los días 04 veces cada día, para lo casos con más recorridos. Este dato, multiplicado por los kilómetros recorridos, y luego llevados a un año, dan el total de kilómetros recorridos por año, y para obtener el valor total de los participantes, se sumó por tipo de movilidad es así que los kilómetros recorridos en todo el año son;

a pie o en bicicleta 95 773,60; en auto 26 010,40; en motocicleta o mototaxi 147 116,40 y en transporte público 154 051,20.

Para convertir estos kilómetros en kilogramos de CO₂, se aplicó diferentes factores de emisión según el medio de transporte. Respecto al primer medio de transporte, “a pie o en bicicleta”, este no genera emisiones de CO₂, por lo tanto, no se realizó el cálculo para ese caso.

Según la metodología utilizada, para el caso del auto, el factor de emisión se utiliza según el nivel de ocupación del vehículo al momento de realizar el recorrido, y se aplica tal como se indica en la Tabla 5.

Tabla 5. Factores de emisión para transporte en auto según nivel de ocupación.

Nivel de ocupación (%)	Cantidad de personas	Factor de emisión de automóvil (kg CO ₂ /km)
25	1 o 2	0,2
50	3	0,1
75	4	0,07
100	5	0,05

Nota. López & Blanco (2007)

Teniendo las distancias recorridas en auto por cada nivel de ocupación, se multiplicó directamente los factores de la Tabla 5 para obtener los kilogramos de CO₂ por cada nivel y el total para el medio de transporte. Las emisiones de CO₂ del medio de transporte Auto para 1-2 personas con recorrido de 10254.4 km es 2 050,90 Kg de CO₂; para 3 personas con recorrido de 8140 km es 814,00 Kg de CO₂; para 4 personas con recorrido de 7616 km es 533,10 Kg de CO₂; haciendo un total de 3 398,00 Kg de CO₂.

Para el caso de los medios de transporte “motocicleta o mototaxi” el factor de Emisión (Kg CO₂/km) es 0,07 y “transporte público” el factor de Emisión (Kg CO₂/km) es 0,04, según la metodología, se aplicó directamente estos factores de emisión.

Para realizar el cálculo, a la distancia anual recorrida por cada medio de transporte, se aplicaron directamente los factores de la Tabla 5 y se obtuvieron los kilogramos anuales de CO₂ emitidos es así que se tiene para: auto 3 398,00 Kg de CO₂; para motocicleta o mototaxi 10 298,10 Kg de CO₂; para transporte público 6 162,00 Kg de CO₂; haciendo un total de 24 076,20 Kg de CO₂ (24,10 t CO₂)

De acuerdo con la metodología propuesta por López & Blanco (2009), el valor final obtenido a partir del cuestionario se debe multiplicar por un factor de extrapolación con el fin de poder estimar el valor para toda la universidad. Para determinar el factor de extrapolación, se aplica la Ecuación 4, considerando como población total de la comunidad universitaria en el año 2019 a 7 202 personas, y como población muestra a 116 personas, que vienen a ser los participantes del cuestionario.

El factor de extrapolación obtenido es 62; este factor se aplica a la ecuación 3 (de la sección metodológica) junto con la cantidad total de CO₂ obtenida para la categoría movilidad, y se obtiene un valor estimado de 1492,72 t de CO₂ emitidas por la universidad en el periodo 2019, diferente a 2 892,13 t de CO₂ en Movilidad encontrado por Molina & Ocampo (2016) seguramente por tratarse de una universidad de mayor magnitud en una ciudad más grande como es la ciudad de Pereira.

3.5. Papel

Los datos para realizar los cálculos de esta categoría se obtuvieron de dos formas, de forma directa e indirecta. A continuación, se muestra el análisis realizado para cada una de ellas y finalmente se suman ambos resultados con el fin de obtener las emisiones totales estimadas para la categoría consumo de papel.

3.5.1. Cálculo directo

Para realizar el cálculo directo, se utilizó el dato de consumo de papel proporcionado por la oficina de logística de la UNAS. Este dato corresponde a todo el papel utilizado en el año 2019 por el personal administrativo y docente de la universidad, para realizar sus actividades laborales y para fines académicos. Es importante señalar que, para el periodo de estudio, el consumo de papel por parte de la institución sólo se refiere a papel bond comercial virgen, no del tipo reciclado.

El dato proporcionado es de 95 millares de hojas bond tamaño A4 por mes en promedio durante el año 2019, con una proporción similar (50%) entre papel de 75 g y de 80 g, que son algunos de los gramajes más comerciales en el Perú. Esta cantidad es equivalente a 190 paquetes de 500 hojas al mes y 2280 al año, lo que a su vez es equivalente 1140000 hojas en el año 2019. Teniendo en cuenta la proporción de cada gramaje de papel indicada por la oficina de logística, se tiene un consumo de 570000 hojas tamaño A4 de 75 g al año y la misma cantidad para las hojas de 80 g.

El dato de gramaje de papel indicado en los paquetes de hojas bond, por ejemplo, el de 80 g, representa el peso de una hoja de 1 metro cuadrado. Entonces, una hoja bond tamaño A4 que tiene unas medidas de 210 x 297 mm pesa 5 g; y el mismo cálculo aplica para las hojas de gramaje de 75 g, cuyo peso por hoja tamaño A4 es de 4.67 g.

Teniendo los datos de cantidad y peso para ambos gramajes de hoja, se realizó una multiplicación para obtener el valor en kilogramos de papel bond consumido en el 2019. Las cantidades de papel son: para 75 g es de 2661900 g/año para 80 g es de 2850000 g/año, haciendo un total de 5 511 900 g/año (5 511,9 kg/año).

Para obtener la cantidad de emisiones de CO₂ se aplicará la ecuación 2. El producto de los kilogramos

de papel virgen consumidos por parte de personal docente y administrativo, y el factor emisión indicado en la Tabla 4 es el siguiente:

$$5511,9 \text{ kg} \times 1,84 \frac{\text{Kg.CO}_2}{\text{kg papel}} = 10141,9 \text{ kgCO}_2$$

3.5.2. Cálculo indirecto

El cálculo indirecto se utilizó para estimar el consumo de papel por parte de los alumnos de la universidad. Para ello se utilizó un cuestionario, según el modelo presentado en la parte metodología y también mencionado al inicio del análisis de la categoría movilidad.

El cuestionario contempló preguntas para que el participante pueda indicar cuanto papel reciclado utilizó o consumió en un ciclo académico del 2019. Del conteo realizado, 24 alumnos participantes del cuestionario indicaron haber utilizado papel reciclado y estimaron la cantidad. Debido a ello, los cálculos indirectos para esta categoría se realizarán por cada tipo de papel (papel virgen y papel reciclado), considerando los mismos gramajes y proporción utilizados por el personal docente y administrativo; pues, el asumir que todo el alumnado utilizó papel de un mismo gramaje sesgaría la estimación. Así mismo, no se consideró como pregunta del cuestionario indicar la proporción de gramaje del papel utilizado, pues es un dato del que generalmente los consumidores no somos conscientes al momento de utilizar el material, por lo tanto, desconocido para los participantes. Los kilogramos por tipo de papel consumido por los alumnos participantes en el periodo 2019 es como sigue: papel virgen con 49 064 hojas por año con un peso de 237 224,4 gr/año (237,2 kg/año) y papel reciclado con 7 092 hojas por año con un peso de 34 289,8 gr/año (34,3 kg/año).

Entonces, respecto al gramaje de papel, se realizaron los mismos cálculos ya analizados para el caso de consumo de papel por parte del personal docente y administrativo lo indicamos en el párrafo anterior.

Para obtener la cantidad de emisiones de CO₂ se aplicará la Ecuación 2. El producto de los kilogramos por cada tipo de papel, consumidos por el alumnado, y los factores de emisión indicados en la Tabla 1 es el siguiente:

$$237,2 \text{ kg} \times 1,84 \frac{\text{Kg.CO}_2}{\text{kg papel}} = 436,5 \text{ kgCO}_2$$

$$34,3 \text{ kg} \times 0,61 \frac{\text{Kg.CO}_2}{\text{kg papel}} = 20,9 \text{ kgCO}_2$$

Al realizar la suma de ambos resultados, se obtiene el valor de 457,4 kilogramos de CO₂ emitidos por los alumnos participantes del cuestionario, con relación al consumo de papel.

De acuerdo con la metodología, y al igual que el análisis realizado para el cálculo indirecto de la categoría movilidad, el valor final obtenido a partir del

cuestionario se debe multiplicar por un factor de extrapolación con el fin de poder estimar el valor para todo el alumnado de la universidad en el periodo de estudio. Para determinar el factor de extrapolación, se aplica la Ecuación 4 (de la sección metodológica), considerando como población total de alumnos en el año 2017 a 4652 personas, y como población muestra a 51 personas, que vienen a ser los alumnos participantes del cuestionario.

El factor de extrapolación obtenido es 91; este factor se aplica a la ecuación 3 (de la sección metodológica) junto con la cantidad de CO₂ obtenida, y se obtiene un valor estimado de 41722,9 kg de CO₂ emitidos por estudiantes en el periodo 2019.

3.5.3. Integración del cálculo directo e indirecto para la categoría papel

Resumiendo, los resultados obtenidos por cada tipo de cálculo, se ha obtenido que para la categoría papel en el periodo 2019, se han generado 51,9 toneladas de dióxido de carbono (CO₂). Detallando se tiene la cantidad de CO₂ por consumo de papel de toda la comunidad universitaria para personal docente y administrativo (cálculo directo) 10141,9 kg/CO₂; par alumnado (cálculo indirecto) 41722,9 kg/CO₂, haciendo un Total de Kg de CO₂ de 51864,8 (51,9 Tn CO₂), estos cálculos difieren a los determinados por Jaimes (2019) con 55,1 Tn CO₂ que corresponde a la Universidad Peruana Unión de Ñaña, esto debido a una mayor actividad documentaria y presentación de informes.

3.6. Cálculo de la Huella Ecológica de la UNAS

Teniendo las cantidades de CO₂ obtenidas por cada categoría, para el cálculo de la HE se aplicó la Ecuación 1 (de la sección metodológica)

Tabla 6. Factores de equivalencia por áreas productivas.

Tipos de uso de tierra ²	Factores de Equivalencia ³ (Hag ⁴)	
	2016	2018
Tierra de cultivo	2,52	2,52
Tierras forestales	1,28	1,29
Tierras de pastoreo	0,43	0,46
Zona de pesca marina	0,35	0,37
Infraestructura	2,52	2,52
Zona de pesca terrestre	0,35	0,37
Carbono	1,28	1,29

Nota. Elaborado a partir de Global Footprint Network (2016, 2018)

Considerando el dato de fijación explicado en la metodología y considerando como superficie total del

campus de la UNAS de 217,22 hectáreas de los cuales 185 hectáreas son bosques (dato proporcionado por la UNAS) entonces se tiene 32,22 hectáreas inertes.

De acuerdo con lo que establece la metodología de cálculo de HE, los resultados se deben expresar siguiendo una única medida común que son las hectáreas globales (Hag). Para ello, al resultado obtenido, se aplicó el factor de equivalencia para bosques del 2018 establecido por Lin et al. (2018) según la Tabla 6, como explicamos en la sección metodología.

Con esta operación se logró estimar la HE total de la universidad, asimismo las huellas por cada categoría. En la Tabla 7 se muestra el resumen de los cálculos de CO₂ por categoría y la estimación de la HE.

Tabla 7. Estimación de la Huella Ecológica 2019 de la UNAS.

Categoría	TN CO ₂	HE (Ha/año)	HE (Hag/año)
Construcciones	1281,72	105,93	136,64
Energía	4349,06	359,43	463,65
Agua	4,40	0,36	0,47
Movilidad	1492,72	123,37	159,14
Papel	51,90	4,29	5,53
Superficie ocupada	-	32,22	41,56
Total	7179,80	625,44	807,00

Los resultados de la Tabla 7 indican que la UNAS necesitará un área de 625,44 Ha de bosque Selvático para asimilar las emisiones de CO₂ emitidas en el periodo 2019, pero como tiene 185 hectáreas de bosque solo necesita 440,44 hectáreas. Asimismo, requiere de 807,00 Hag de bosque estándar mundial para asimilarlas.

También es necesario estimar la HE por miembro de la comunidad universitaria. Para ello se considera la cantidad total de personas (estudiantes, personal docente y administrativo) que integraron la comunidad en el periodo 2019 (7202 personas). Con este valor se obtuvo la HE de la UNAS, que es 0,07 Ha/persona/año ó 0,09 Hag/persona/año.

IV. CONCLUSIONES

El consumo del año 2019 para cada una de las categorías de consumo que son: construcciones 1281,72 t de CO₂; energía 4349,06 t de CO₂; agua 4,40 t de CO₂; movilidad 1492,72 t de CO₂; papel 51,90 t de CO₂. Las huellas ecológicas en Ha/año del 2019 en las categorías: construcciones 105,93 Ha/año; energía 359,43 Ha/año; agua 0,36 Ha/año; movilidad 123,37 Ha/año; papel 4,29 Ha/año; con una superficie ocupada de 32,22 Ha/año.

Las huellas ecológicas en Hag/año del 2019 en las categorías: construcciones 136,64 Hag/año; energía 463,65 Hag/año; agua 0,47 Hag/año; movilidad 159,14

Hag/año; papel 5,53 Hag/año; con una superficie ocupada de 41,56 Hag y con un total de HE de 625,44 Ha/año. Por lo que, la UNAS necesitará un área de 625,44 ha de bosque Selvático para asimilar las emisiones de CO₂ emitidas en el periodo 2019, pero como tiene 185 hectáreas de bosque solo necesita 440,44 ha adicionales.

V. BIBLIORAFÍA

- Cárdenas, P., Peinado, M. C. A.; Mora, C. A.; Moreno, H. L. (2010). *La Huella Ecológica de la Universidad de Granada (UGR)*. Universidad de Granada.
- Doménech, J. (2007). *Huella ecológica y desarrollo sostenible*. Asociación Española de Normalización y Certificación Ediciones.
- Fondo Nacional del Ambiente. (2019). Carbon Finance Assit Banco Mundial (2018) ¿Qué es el MDL?. <http://fonamperu.org.pe/que-es-el-mdl/>
- Global Footprint Network. (2014). Global Footprint Network: Lighthouse Case Study. Global Solution Networks <http://data.footprintnetwork.org>.
- Global Footprint Network. (2016). Working guidebook to the national footprint account. Oakland - USA, pp. 54-62.
- Lin, D., Hanscom, L., Martindill, J., Borucke, M., Cohen, L., Galli, A., Lazarus, E., Zokai, G., Iha, K. & Wackernagel, M. (2018). *Working guidebook to the national footprint account*. Global Footprint Network
- Global Footprint Network. (01 de enero, 2018). Calculation factors national footprint accounts [Publicación en un foro online]. Mensaje publicado en <http://data.world/footprint/calculation-factors-national-footprint-accounts-2018>
- Guerra, J. y Rincón, I. (2017). Cálculo de la Huella Ecológica Campus de la Universidad Central de Venezuela. *Revista Luna Azul*, (46), 1-18.
- Hoekstra, A. Y.; Chapagain, A. K. (2006). Water footprint of nations: Water used by people as a function of their consumption pattern. *Water Resour Manage*, 21(1), 35-48. DOI:10.1007/978-1-4020-5591-1_3
- Holdridge, L. (2000). *Ecología: basada en zonas de vida* (1ª edición, 5ª reimpresión). Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. https://books.google.com.ec/books?id=m3Vm2TCjM_MC&printsec=frontcover&soe=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

- Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (1 de enero de 2022). *Estadísticas de población y vivienda según departamento*. <https://www.inei.gob.pe/estadisticas/indice-tematico/poblacion-y-vivienda/>
- Jaimes, L. (2019). *Estimación de la huella ecológica de la Universidad Peruana Unión* [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/14862>
- Leyva-Mas, J.; Rodríguez-Rico, I. & Quintana Pérez, C. (2010). Cálculo de la Huella Ecológica de la Universidad Central Marta Abreu de las Villas, *Revista Tecnología Química*, 31(1), 60 – 67. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852011000100006
- López, N. & Blanco, D. (2007). *Metodología para el cálculo de la huella ecológica en universidades*. Oficina de Desarrollo Sostenible de la Universidad de Santiago de Compostela.
- Masera, D. (2018). *Hacia un consumo sostenible en Latinoamérica y el Caribe*. Oficina Regional para América Latina y el Caribe del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- Molina, R.; Ocampo, R. J. M. (2016). *Cálculo de la huella ecológica en el campus de la Universidad Tecnológica de Pereira* [Tesis de grado, Universidad Tecnológica de Pereira]. Risaralda, Colombia, pp. 56 – 64.
- Olalla, T. M. (2003). *Indicadores de sostenibilidad y Huella Ecológica: aplicación a la Universidad Autónoma de Madrid*. Universidad Autónoma de Madrid
- Reboratti, C. (2000). *Ambiente y Sociedad: Conceptos y Relaciones*. Editorial Ariel
- Rees, W.; Wackernagel, M. (2006). *Our ecological footprint: reducing human impact on Earth*, New Society Publisher
- Wackernagel, M. & Rees, W. (2001). *Nuestra huella ecológica: reduciendo el impacto humano sobre la Tierra* (1ª ed.). Lom Ediciones.
- Postigo, J. & Young, K. (2016). *Naturaleza y Sociedad: perspectivas socio-ecológicas sobre cambios globales en América Latina*. Centro de Estudios y Promoción del Desarrollo; Instituto de Estudios Peruanos; Instituto de Ciencias de la Naturaleza, Territorio y Energías Renovables de la Pontificia Universidad Católica del Perú,