

Estimación de la huella hídrica en el Centro de Gestión y Desarrollo Sostenible Surcolombiano, sede Yamboró

Andrea Patiño Villarraga¹; Deya Maritza Cortés Enríque² & Ingri Zuleida Peña Rendón³

¹Instructora, miembro del grupo de investigación y líder de semillero gestión ambiental; ²Instructora, miembro grupo de investigación Yamboró; ³Aprendiz miembro del semillero de investigación Gestión Ambiental. E-mail: apatinov@sena.edu.co.

Resumen

Los fenómenos del cambio climático, provocados por acciones antrópicas y naturales, han desencadenado una crisis de agua, que pone en riesgo la suficiencia del recurso para suplir las necesidades básicas de las poblaciones y el desarrollo de procesos productivos. Estas alteraciones están aumentando la fragilidad de ecosistemas acuáticos; por ende, se deben implementar mecanismos de desarrollo sostenible con un enfoque de manejo eficiente del agua. El objetivo de esta investigación fue estimar la huella hídrica generada por las actividades desarrolladas en el centro de Gestión y Desarrollo Sostenible Surcolombiano, sede Yamboró. La metodología aplicada para el cálculo de la huella hídrica fue la propuesta por Hoesktra en el Manual de Evaluación de la Huella Hídrica establecido como estándar mundial, que establece la determinación de la HH directa a partir de tres aspectos HH azul, HH verde y HH gris. Para calcular la HH verde se tuvo en cuenta el área verde y la precipitación efectiva; para evaluar la HH azul se tomó el volumen de agua de consumo y el agua que retorna a la fuente hídrica a través de los vertimientos. Para el cálculo de la huella hídrica gris se tomó como indicador el parámetro de la DQO, y los volúmenes del afluente y efluente. Estos indicadores estimados a partir de la HH de la sede Yamboró permitirán ejercer una gestión para el uso integral del agua en las actividades que se realizan al interior de la institución, mediante la disminución de los consumos, creando factores de sustentabilidad y aprovechamiento del recurso hídrico.

Palabras claves: Agua potable, consumo de agua, recurso hídrico.

Abstract

The phenomena of climate change, caused by anthropic and natural actions, have triggered a water crisis, which puts at risk the sufficiency of the resource to meet the basic needs of the populations and the development of productive processes. These alterations are increasing the fragility of aquatic ecosystems; therefore, sustainable development mechanisms should be implemented with an efficient water management approach. The objective of this research was to estimate the water footprint generated by the activities carried out at the Surcolombiano Management and Sustainable Development Center, Yamboró headquarters. The methodology applied to calculate the water footprint was the one proposed by Hoesktra in the Water Footprint Assessment Manual established as a world standard, which establishes the determination of the direct WF from three aspects: blue WF, green WF and gray WF. To calculate the green WF, the green area and the effective precipitation were considered; To evaluate the blue WF, the volume of drinking water and the water that returns to the water source through discharges were taken. For the calculation of the gray water footprint, the COD parameter was taken as an indicator, as well as the volumes of the influent and effluent. These indicators estimated from the WF of the Yamboró headquarters will allow management for the comprehensive use of water in the activities carried out within the institution, by reducing consumption, creating factors of sustainability and use of water resources.

Keywords: Drinking water, water consumption, water consumption.

Introducción

El agua es el más preciado de los recursos del planeta, el más abundante y determinante en los procesos de la naturaleza, por lo cual, es un elemento esencial para el desarrollo de los seres vivos, para la producción de alimentos y para el crecimiento económico y desarrollo social de las regiones (Almirón, 2013). Sin embargo, pese a que en el planeta existe abundancia de este recurso, el volumen de agua dulce disponible es limitado y además, se evidencia un aumento en la presión sobre los recursos hídricos, provocando estrés hídrico, sequías y desertización, pues se estima que cerca del 40% de la población mundial se enfrenta a la problemática de escasez de agua, panorama que tiende a aumentar principalmente por las actividades antrópicas, el crecimiento poblacional, el incremento de los niveles de vida, la competencia por el agua y deterioro de la calidad de estos, que cada vez se ven más afectados por las condiciones naturales y el cambio climático (Greenfacts, 2009; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2021). No obstante, actualmente a nivel mundial, existe una gran preocupación por la sostenibilidad de los recursos hídricos, en especial para abordar el objetivo seis de los Objetivos de Desarrollo Sostenible-ODS de las Naciones Unidas, que tiene como fin garantizar el acceso al agua potable (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2021; Moni *et al.*, 2021).

La Sede Yamboró de la región del Surcolombiano actualmente se enfrenta a un déficit hídrico de la cuenca que lo abastece de agua, generado por las condiciones cambiantes del clima, además de los altos consumos hídricos, y los vertimientos que resultan del uso del agua en las diferentes actividades desarrolladas en el Centro de formación. Lo anterior, sumado al desconocimiento de las áreas y procesos que demandan el recurso hídrico y sus respectivos requerimientos de consumo, además de la carencia de controles de los indicadores de uso del recurso al interior de la sede y la falta de conciencia en el uso eficiente del agua por parte de la comunidad educativa.

El SENA tiene establecido a nivel nacional el Sistema Integrado de Gestión y Autocontrol (SIGA) como una herramienta que permite mejorar el desempeño de la institución en todos sus procesos, dentro del cual se encuentra el componente ambiental. En el cual se plantea como objetivo implementar programas que contribuyan al uso racional y eficiente de los recursos que impactan el desempeño ambiental, y dentro de sus prioridades el recurso hídrico, de tal manera que se contribuya en la ejecución de buenas prácticas ambientales que se establece como compromiso en la promesa de valor de la entidad. Por consiguiente, y como parte del establecimiento de indicadores ambientales que contribuyan con la mejora continua en relación con las prácticas de uso sostenible del recurso hídrico, se plantea como objetivo de este trabajo, estimar la huella hídrica generada por las actividades desarrolladas en el centro de Gestión y Desarrollo Sostenible Surcolombiano, sede Yamboró.

Materiales Y Métodos

Área de estudio: La sede Yamboró perteneciente al Centro de Gestión y Desarrollo Sostenible Surcolombiano del SENA, se ubica en el área rural del municipio de Pitalito-Huila, cuenta con una extensión de 17 hectáreas en donde se distribuyen diferentes unidades productivas (UP) como escenarios de enseñanza-aprendizaje, dotados de áreas, infraestructura y equipos necesarios, para el desarrollo de la formación teórico-práctica en las diferentes áreas del conocimiento como agrícola, pecuaria, ambiental, agroindustria, tecnologías de la información y administración.

Metodología desarrollada para el cálculo de la huella hídrica: La metodología de la presente investigación está basada en el Manual de evaluación de la huella hídrica establecido como estándar mundial por Hoekstra *et al.*, (2011), la cual clasifica a la HH directa en 3 componentes principalmente (azul, verde y gris), evaluada durante el periodo agosto-noviembre del año 2021. La ecuación No.1 representa la ecuación general de la HH directa:

$$HH_{directa} = HH_{verde} + HH_{azul} + HH_{gris} \quad (\text{Ecuación No.1})$$

Para el desarrollo de esta se establecieron las siguientes fases:

Fase de caracterización de actividades productivas y académicas: En primera estancia se identificaron los lugares en donde se desarrollan las actividades académicas, administrativas u operativas, con el fin de diagnosticar los aspectos de consumo del agua. Para tal fin, se realizó un inventario de llaves de suministro de agua cruda y potable con la que cuenta la sede, con su respectiva georreferenciación y se llevó a cabo un monitoreo de los datos de consumo por unidad o área de consumo para obtener los datos necesarios para calcular la HH.

Fase de determinación de HH verde: El consumo de agua del aspecto verde corresponde a la cantidad de agua lluvia que demanda la sede, es decir, aquella que es aprovechada por la vegetación, a partir de la Ecuación No.2:

$$HH_{verde} = P_e \times A_v \quad (\text{Ecuación No.2})$$

Donde,

P_e = Precipitación efectiva (mm)

A_v = Total de área verde (hectáreas)

Se ubicaron 3 pluviómetros distribuidos en la zona alta, media y baja de la sede para la toma de datos de la precipitación. Luego, se determinó la precipitación efectiva considerada como el agua lluvia disponible para las plantas según Sampaio *et al.*, (2000), tomando como base las mediciones obtenidas directamente de los pluviómetros; esta se calculó usando el método de Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos -USDA, desarrollado mediante balance hídrico, donde se relaciona el ingreso de agua por precipitaciones con las salidas dadas por la escorrentía superficial y percolación, al igual que el agua que se retiene en la zona radicular para varios cultivos (Villazón *et al.*, 2021), para ello se tuvo en cuenta la Ecuación No.3 y No. 4 según sea el caso.

$$P_e = P(124 - 0,2P) / 125 \quad \text{para } P \text{ mensual} < 250 \text{ mm} \quad (\text{Ecuación No.3})$$

$$P_e = 125 + 0,1P \quad \text{para } P \text{ mensual} > 250 \text{ mm} \quad (\text{Ecuación No.4})$$

Donde:

P_e : precipitación efectiva expresada en m^3/ha (absorbida por la vegetación)

P : precipitación total mensual; Para el caso de este estudio se utilizó la Ecuación No.3, porque las precipitaciones mensuales fueron inferiores a 250 mm. Para determinar el área total de las zonas verdes de la sede Yamboró, se realizó el análisis de imágenes aéreas en las que se identifican la cobertura vegetal presentes y mediante la revisión in situ se distinguieron los tipos de vegetación que incluye cada área. Una vez obtenido el valor de la precipitación efectiva, se multiplicó por el total de áreas verdes en unidades de hectáreas y el resultado correspondió a el valor de la HH verde.

Fase de determinación de HH azul: Corresponde a la totalidad de agua que se consume en la sede para el desarrollo de sus actividades bienes o servicios. Para este fin, se llevó a cabo un monitoreo diario al macro medidor de la planta de tratamiento de agua potable PTAP y los registros de los micromedidores ubicados en las diferentes áreas de consumo. Igualmente, se realizó un inventario de puntos de consumo de agua, que fueron georreferenciados y posteriormente se procedió a realizar aforos volumétrico semanal en cada punto. Respecto a la UP de piscicultura que ocupa un alto volumen de agua dentro de la sede, se realizó aforo a la entrada de los lagos y además fue necesario determinar el volumen de evaporación de acuerdo con promedios mensuales suministrados por la estación Sevilla del IDEAM. También se tomaron aforos de los efluentes de la UP de piscicultura y de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).

Los datos se recolectaron periódicamente en una bitácora donde se ilustraron los consumos de agua de las diferentes áreas de generación. Para el cálculo de la HH azul se aplicó la Ecuación No.5:

$$\mathbf{HH\ AZUL=Afluyente-Efluente\ (Ecuación\ No.5)}$$

Donde:

Afluente: entrada de agua mediante la red de acueducto.

Efluente: agua que ha sido empleada para las diferentes labores que se desempeñan y que es desechada. Fase de determinación de la huella hídrica (HH) gris: Corresponde al volumen de agua que se requiere para disolver la carga contaminante de los vertimientos generados por las diferentes acciones desarrolladas en Yamboró, en condiciones naturales y considerando las normas ambientales existentes que para este caso es la resolución 631/2015.

La estimación de la HH gris se realizó aplicando la Ecuación No.6:

$$\mathbf{HH\ gris= (L)/((Cmax-Cnat))\ (Ecuación\ No.6)}$$

Donde:

L= Carga contaminante $(V_e * C_e) - (V_a * C_a)$

Ve: volumen del efluente

Ce: concentración del parámetro en el efluente

Va: Volumen del afluente

Ca: Concentración del parámetro en el afluente

Cmax: 180 (mg/l) concentración máxima del parámetro DQO (Demanda química de oxígeno), según Art.8 de la resolución 631/2015

Cnat: Concentración natural en el cuerpo de agua receptor

La carga contaminante se determinó considerando el valor del caudal promedio mensual del afluente (agua captada) y del efluente (salida de la PTAR y salida de aguas no tratadas) y de la fuente hídrica receptora, los resultados de la caracterización fisicoquímica de las aguas vertidas y la concentración natural de la fuente receptora (aguas arriba). Además, se identificaron los valores límites máximos permisibles del parámetro DQO en vertimientos puntuales generados por actividades domésticas de las actividades industriales, regulados en la Resolución 0631 de 2015 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015), que corresponde a 180 mg/l de concentración.

Para efectos del cálculo de la huella gris se tomó como referencia la concentración de carga contaminante de materia orgánica expresada en DQO, por ser el parámetro más crítico en los resultados históricos de análisis fisicoquímicos del vertimiento. realizó medición del caudal del afluente (volumen total de captación de agua) y del efluente (caudal de salida de la planta de tratamiento de aguas residuales PTAR y salida de aguas no tratadas).

Técnicas de análisis: Inicialmente se llevó a cabo el tratamiento de la información obtenida en el contexto de la investigación, que consistió en la simplificación de los datos, es decir, en realizar un resumen, seleccionando la información para que sea manejable de acuerdo con los objetivos. La reducción de estos datos implicó seleccionar la información necesaria para el análisis según criterios teóricos y prácticos establecidos. Se estableció una codificación descriptiva a través de programas de procesamiento de texto (Word).

Posteriormente, se realizó la tabulación de datos mediante hojas de cálculo Excel para la comprensión y análisis de las diferentes variables evaluadas, además de presentar de forma gráfica y ordenada los datos obtenidos.

RESULTADOS

Identificación de las áreas de consumo de agua: En la sede Yamboró se desarrollan actividades enfocadas en la formación técnica y tecnológica en diferentes áreas del conocimiento, que requiere la interacción de la comunidad educativa como aprendices, instructores, personal administrativo y operarios. Los escenarios de enseñanza-aprendizaje son espacios dotados en infraestructura y equipos necesarios, para el desarrollo de la formación tales como: ambientes de formación que comprende salones, laboratorios, biofábrica (lombricultura y compostaje), unidad de producción pecuaria (ganadería, porcicultura, avicultura), unidad de producción agrícola, unidad de agroindustria, unidad de gastronomía, unidad de biocombustibles, laboratorio de sistemas, Escuela Nacional de la Calidad del Café y biblioteca. Las áreas administrativas están conformadas por coordinación académica, asesorías en investigación, emprendimiento, agronegocios, gestión documental, archivo y sala de instructores.

Las áreas de bienestar como enfermería, gimnasio, zona juegos, complejo deportivo, cafetería y restaurante y áreas complementarias incluidas bodega de insumos y herramientas, planta de agua potable, planta de aguas residuales y unidades sanitarias.

Estas áreas requieren para su funcionamiento el suministro del servicio de acueducto de manera continua de acuerdo con la programación de actividades en cada una de las áreas, en la Tabla 1. se identifican las unidades o áreas de consumo que demandan agua cruda y potable en el desarrollo de sus actividades, de acuerdo con el inventario y aforo realizado a las llaves de suministro de agua y la lectura de los micromedidores ubicadas en cada una de estas.

Tabla 1. Secciones diseñadas en la encuesta

Unidad o área de consumo	Consumo promedio de agua (m3/mes)		
	Potable	Cruda	Total
Escuela Nacional de la Calidad del Café-ENCC	84,3	8,6	92,9
UP agrícola	0	45,8	45,8
UP pecuaria	52,8	216,7	269,6
UP piscícola	0	6266	6266
UP agroindustria	28	0	28
UP gastronomía	48,9	0	48,9
Unidad de Sennova	79,5	0	79,5
Complejo de laboratorios	5,2	0	5,2
Planta de tratamiento de agua potable - PTAP	0	15,7	15,7
Biocabaña	9,2	0	9,2
Bioauditorio	0	12	12
Centro de acopio	0	10,1	10,1
Agua almacenada			
Total	307,9	6575	6883

Los datos promedio mensuales de consumo de agua en el periodo evaluado, muestran un consumo total de 6883 m³, inducido por el desarrollo de las actividades inherentes a la formación, presentándose un mayor consumo de agua cruda con 6575,1 m³ y sólo 307,9 m³ de agua potable, debido a que se ha diseñado la red de distribución de agua potable sólo para actividades que estrictamente lo requieren como para el consumo humano y animal y para procesos de laboratorio. También, se refleja la alta demanda del recurso hídrico por parte de la UP piscícola con 6266,2 m³/mes, que corresponde a más del 90% del total consumido por la sede, lo cual se presenta principalmente, por los requerimientos de flujos de agua para abastecer de oxígeno y eliminar los metabolitos tóxicos generados en los sistemas de producción de peces y además es la forma de controlar el abastecimiento de alimentos planctónicos (Sierra y Jenaro, 2019). Es de resaltar que los lagos de producción no cuentan con sistemas de aireación artificial, por lo que es necesario el flujo constante de agua para asegurar condiciones aerobias.

Igualmente, la UP pecuaria dedicada a la producción de especies mayores y menores también refleja un consumo significativo de agua cruda en relación con las otras unidades, dado principalmente por las actividades de lavado y adecuación de las instalaciones para asegurar condiciones de asepsia en estas. También se resalta los consumos de agua potable presentados por la ENCC, por el desarrollo de actividades formativas en procesos de análisis físico-sensorial, trilla, tosti3n, molienda, cataci3n, barismo, y punto de cafetería, siendo las dos últimas actividades las que más demandan el uso del recurso hídrico. También se suman a los consumos de agua potable, el uso de las unidades sanitarias que más frecuenta la comunidad educativa y que se encuentran ubicadas en las instalaciones del área de Sennova; además del desarrollo de las actividades de investigaci3n, que se llevan a cabo en esta área.

Por otra parte, son los laboratorios de formaci3n una de las áreas que menos consumo de agua presentan, principalmente dado al bajo aforo de personas que actualmente se ha establecido en cada uno de estos, por las condiciones biosanitarias actuales por Covid-19, lo cual ha restringido la capacidad para el desarrollo de prácticas académicas en estos ambientes de aprendizaje. Por consiguiente, la informaci3n actual obtenida de consumos de agua en la sede puede reflejar variaciones en el transcurso del a3o debido al desarrollo de las diferentes actividades y eventos académicos que surgen en los diferentes meses, al igual puede verse reflejado importantes cambios en los consumos de los próximos a3os cuando se retorne a la presencialidad total en los procesos formativos.

Determinaci3n de la Huella Hídrica: De conformidad con la metodología planteada se determinaron los indicadores requeridos para el cálculo de los 3 componentes de la huella hídrica, tomando como base la informaci3n recolectada en los meses de evaluaci3n.

Cálculo de la Huella Hídrica Verde: En la tabla 2, se muestra el valor de la HH verde calculada a partir de la determinaci3n de la precipitaci3n efectiva y el área cubierta con vegetaci3n.

Tabla 2. Determinaci3n de la huella hídrica verde

Mes	P (mm)	P efectiva (mm)	P (m3/ha)	Área verde (ha)	HH VERDE	
					Mensual	Año
Agosto	65,33	57,97855	579,7855	14,6	8.464,90	120.390
Septiembre	70,93	62,31286	623,1286	14,6	9.097,70	
Octubre	79,8	68,97274	689,7274	14,6	10.070,00	
Noviembre	103,6	85,59846	855,9846	14,6	12.497,40	
Total	79,915	68,71565	687,1565	14,6	10.032,50	

El área total de la sede Yamboró es de 17 has, de la cual la superficie de cobertura de áreas verdes corresponde a 14,6 has, distribuidas en 1,4 has destinadas la producción de café, cacao, frutales, aromáticas, hortalizas y zona de vivero, 2,4 has en potreros y 10,8 has en jardines y áreas de conservación. Según Hoekstra et al. (2011), estas superficies de coberturas verdes se encargan de almacenar temporalmente en la superficie del suelo o de la vegetación el agua precipitada; volumen que es considerado como el indicador de la HH verde. Con el tiempo se estima que esta precipitación almacenada es devuelta a la atmósfera a través de los procesos de evapotranspiración. Sin embargo, se considera de gran importancia para el desarrollo de la vegetación, porque puede ser asimilada para su crecimiento y desarrollo, aunque depende de la distribución de las lluvias y la evapotranspiración de las zonas.

De conformidad con lo anterior, la HH verde estimada es de 120.390 m³/año que para el caso de Yamboró este volumen de agua es indispensable para los sistemas productivos agropecuarios, que dependen exclusivamente de este aporte hídrico, gracias a que el régimen de lluvias del municipio de Pitalito tiene variaciones considerables mensualmente y según Weatherspark (2021), presenta lluvias durante todo el año, siendo agosto el mes menos lluvioso y noviembre el mes con más lluvia. Por lo que no se requiere con frecuencia el uso de sistemas de riego durante el año.

Cálculo de la huella hídrica Azul

Los resultados obtenidos de la HH azul se relacionan en la Tabla 3., a partir de los indicadores de consumo de agua cruda y potable y los volúmenes de salida en los vertimientos haciendo uso de la Ecuación 3.

Tabla 3. Determinación de la huella hídrica azul

Indicadores	Ago	Sep		Oct	Nov	Promedio mensual
Caudal diario de captación (l/s)	7,8	7,8		7,8	7,8	7,8
Afluente - Caudal de entrada (m3/mes)	20.088,00	20.198,20		20.198,20	20.198,20	20.198,20
Evaporación (m3/mes)		583,4				583,4
Consumo total de agua potable (m3/mes)	266	307,9		307,9	307,9	307,9
Consumo de agua potable no contabilizada	36	31,6		31,6	31,6	31,6
Consumo de agua cruda (m3/mes)	8.294,00	6.575,10		6.575,10	6.575,10	6.575,10
Consumo en almacenamiento (m3/mes)	836,5	781,3		781,3	781,3	781,3
Consumo total de agua (m3/mes)	10.016,00	7.841,80		7.841,80	7.841,80	7.841,80
Efluente del reservorio (m3/mes)	8.652,10	10.991,60		10.991,60	10.991,60	10.991,60
Efluente PTAR	290	319,8		319,8	319,8	319,8
Efluente UP Piscicultura	7.419,40	6.120,30		6.120,30	6.120,30	6.120,30
Total efluente	16.361,50	17.431,80		17.431,80	17.431,80	17.431,80
HHAZUL Mensual	3.726,50	2.766,40		2.766,40	2.766,40	2.766,40
HH AZUL Anual		33.196,60				

El afluente se considera el caudal de entrada a la sede Yamboró, a través del sistema de distribución del acueducto veredal que corresponde a 20.198,2 m³/mes, del cual 339,5 m³/mes son potabilizados en la PTAP notándose que de este volumen 31,6 m³/mes no están contabilizados, es decir no es consumido en las actividades propias de las instalaciones y que obedecen a pérdidas en el sistema de suministro en el acueducto interno, que requieren una revisión urgente por tratarse de un recurso vital de gran importancia para las poblaciones humanas.

Por su parte el consumo de agua cruda propia de las actividades de la institución es de 6.575,1 m³/mes; sin embargo, del total de agua que ingresa a la institución 10.991,6 m³/mes, que no son utilizados y se pierden a través del rebosadero del reservorio, que luego se convierte en un efluente bastante significativo equivalente a más del 50% del total del afluente. En referencia al efluente aforado en la PTAR que es de 319,8 m³/mes, este corresponde principalmente al vertimiento producto del consumo de agua potable y parte del consumo de agua cruda; mientras UP piscícola vierte 6.120,3 m³/mes, por lo que se considera que es área de mayor consumo y por ende de generación de efluente. Luego, en total se tiene un efluente de 17.431, 8 que equivale a un coeficiente de retorno del 86,3%, que se encuentra dentro del rango establecido por el RAS 2000.

De esta manera, la HH azul estimada es de 33.196,6 m³/año., el cálculo de esta huella lleva a realizar un análisis detallado que permita establecer estrategias para reducir los volúmenes de captación de agua que afecta de forma directa la fuente hídrica abastecedora Quebrada Seca, que según (Cortes, 2020) es muy sensible a la variabilidad climática, dado que ha presentado fluctuaciones en el caudal en diferentes épocas del año, encontrando un rango de caudal entre 2 L/s hasta 44.73 L/s, con promedio de 10 L/s, por ello es importante que se tomen medidas de uso eficiente y ahorro de agua que disminuyan el riesgo de desabastecimiento en un futuro cercano, ocasionando graves consecuencias que podrían no solo afectar el abastecimiento continuo de agua, también el desarrollo normal de las diferentes actividades de enseñanza aprendizaje que se desarrollan en el centro de formación.

Cálculo de huella hídrica Gris

La estimación de la HH gris de la sede Yamboró se presenta en la Tabla 4. Calculada a partir de la Ecuación 5.

Tabla 4. Determinación de la huella hídrica gris

Mes	Afluente		Efluente						C max (mg/l)	C nat (mg/l)	HH gris (m ³)	
	V (l)	DQO (mg/L)	PTAR		UP. Piscicultura		Reservorio				Mensual	Anual
			V (l)	DQO (mg/l)	V (l)	DQO (mg/l)	V (l)	DQO (mg/l)				
Agosto	20.088,00	8	290	103	7.419,40	12	8.652,10	8,3	180	5	161,7	13,254,8
Septiembre	23.639,00	3	301	98	4.594,30	8	16.255,50	4,2	180	5	348,3	
Octubre	19.440,00	-	319	112	7.380,70	42	9.312,70	10	180	5	2.432,90	
Noviembre	17.625,60	-	370	173	5.086,80	18	9.746,20	12	180	5	1.508,70	
Promedio mensual											1.112,90	

Se puede evidenciar que la Sede Yamboró cumple con la normatividad de vertimientos establecida en la Resolución 631/2015, debido a que las concentraciones de la DQO de los efluentes en estos meses no superaron los límites reglamentados para este parámetro. Es de reconocer que las unidades de tratamiento de la PTAR actualmente realizan una eficiente remoción de la carga contaminante generada por la DBO, cumpliendo con lo establecido en la normatividad. Sin embargo, es necesario incluir todos los vertimientos dentro de los sistemas de tratamiento para garantizar la permanencia de bajas cargas contaminantes.

La HH gris estimada arrojó como resultado 13.254,8 m³/año, que es un indicador del grado de la contaminación de los cuerpos de agua dulce y que está directamente asociado al desarrollo de las actividades que se llevan a cabo al interior de la institución, la cual se considera baja teniendo en cuenta, que las concentraciones de carga contaminante de los efluentes durante el periodo evaluado, en su gran mayoría no exceden las normas de calidad establecidas por la norma para vertimientos.

Cálculo de huella hídrica Total

La huella hídrica total directa del CGDSS de la sede Yamboró tiene un valor de 166.941,2 m³/año, calculada mediante la sumatoria de la HH azul, verde y gris según Ecuación 1, que expresa el consumo total de agua dulce utilizada de forma directa y que está asociada a las actividades que se realizan dentro de la institución. en la Tabla 1. se observa un resumen de los valores obtenidos.

Tabla 5. Estimación de la huella hídrica directa en el CGDSS sede Yamboró

HH Directa	m ³ /año	%
HH Azul	33.196,60	19,89
HH Verde	120.389,80	72,12
HH Gris	13.354,80	8
HH Total	166.941,20	100

En la figura 1. Se muestra el comportamiento de los componentes de la HH directa, donde se evidencia que la HH verde es mayor con 120.389,8 m³/año equivalente al 72,12% y que representa la cantidad de agua consumida de recursos hídricos verdes es decir, de agua lluvia que cae sobre el suelo y que no se infiltra ni se escurre, permaneciendo retenida temporalmente por la vegetación, de la cual una parte se incorpora en la planta y otra es evaporada o transpirada (Hoekstra *et al.*, 2011; Vázquez del Mercado y Lambarri, 2017).

Sin embargo, aunque esta huella resulta ser significativa, esta corresponde principalmente a que la disponibilidad de agua lluvia en la región es de 1516 mm/año y al área verde con la cuenta la sede. Si bien es cierto que podría presentar alguna alteración en el patrón de escorrentía aguas abajo, a nivel de cuenca hidrográfica, se estima como baja y por consiguiente no se tiene en cuenta, por no considerarse un indicador de apropiación de agua (Hoekstra *et al.*, 2011).

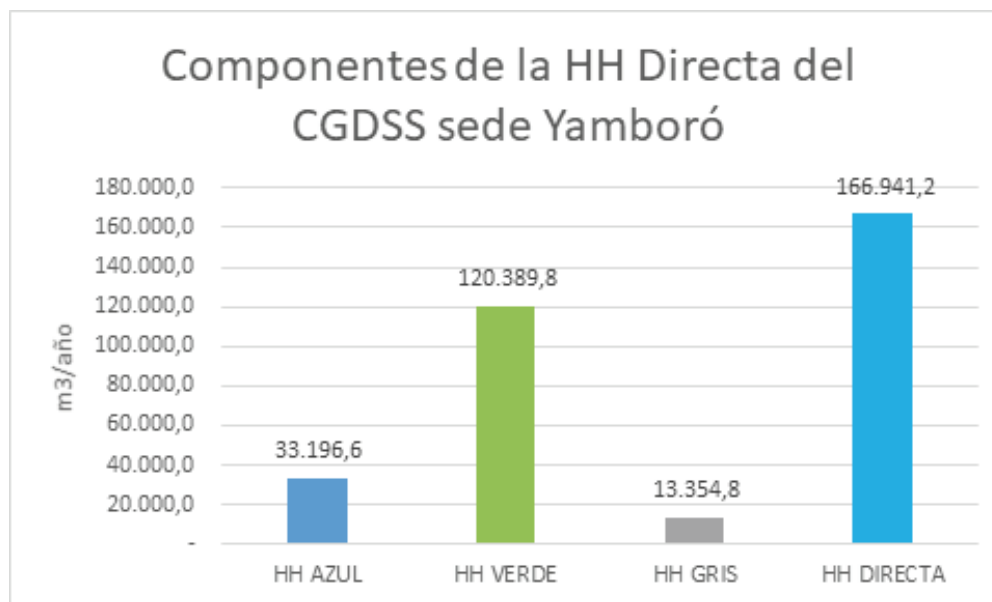


Figura 1. Componentes de la HH directa del CGDSS sede Yamboró

De acuerdo con el componente de la HH azul este refleja un consumo de agua dulce 33.196,6 m³/año que equivale al 19,89% de la huella directa, representando el uso consuntivo de agua superficial captada de la quebrada Seca, que incluye el agua que se evapora y se incorpora en los productos y la cantidad de agua que se devuelve a otra zona de captación; es decir, que es el volumen de agua consumida como resultado del desarrollo de todas las actividades realizadas en la Sede.

En lo concerniente a la HH gris, se evidencia un volumen 13.354, 8 m³/año que corresponde al 8% de la HH directa, siendo el aspecto que reflejó más bajo requerimiento de agua, teniendo en cuenta que este indicador muestra la cantidad de agua necesaria para que la fuente receptora La Burrera asimile la carga contaminante, de acuerdo con las características naturales y parámetros exigidos por la normatividad ambiental. Como se explicó anteriormente, este comportamiento obedece principalmente a que las concentraciones de la DQO evaluada en los vertimientos no superaron la establecida por la Resolución 631/2015.

Conclusiones

La sede Yamboró bajo las condiciones ambientales del municipio de Pitalito requiere para su funcionamiento de 166.941,2 m³/año, indicador del uso sustentable del recurso hídrico que resulta útil para crear conciencia entre la comunidad educativa del Centro de formación, para incentivar cambios en los estilos de vida, dado que permite conocer el impacto que genera los actuales patrones de consumo, para la elaboración de productos o prestación de servicios de la institución que normalmente demandan grandes cantidades de agua.

La importancia de la HH azul surge de la protección que se debe conferir a los cuerpos de agua dulce, para garantizar su sostenibilidad y mantenimiento de los servicios y bienes ecosistémicos; convirtiéndose en un indicador para identificar puntos críticos de demanda de agua en las diferentes áreas o unidades de consumo, que permitan establecer medidas para reducir los consumos y hacer más eficiente el uso del recurso hídrico.

La huella hídrica verde es sustancialmente elevada, debido a que los cultivos y la vegetación requieren de agua para su desarrollo, dichos cultivos dependen exclusivamente del agua lluvia, por esta razón se tuvo en cuenta el valor correspondiente a la precipitación efectiva, con el fin de hacer un cálculo más preciso de acuerdo con las condiciones reales de la zona en la cual se encuentra ubicada la sede.

Como una institución dedicada a la formación y a la investigación, se debe plantear la necesidad de continuar realizando seguimientos detallados a nivel de unidades y áreas de consumos, para la evaluación de los diferentes indicadores de huella hídrica, como estrategia para la formulación de buenas prácticas operativas para el uso, ahorro y control de vertimiento del recurso hídrico.

REFERENCIAS

- Arévalo Viveros, D., Lozano, J. & Sabogal, J. (2011). Estudio nacional de huella hídrica Colombia sector agrícola en Revista Internacional de sostenibilidad y desarrollo humano No.6. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4920481>
- Corredor - Camargo, E., Castro-Escobar, E., Páez-Barón, E. (2017). Estimación de la huella hídrica para la producción de leche en Tunja, Boyacá. Rev. Cien. Agri. 14(2): 7-17. <http://doi.org/10.19053/01228420.v14.n2.2017.7144>
- Cortes, D. (2021). Análisis prospectivo para incentivar el ahorro y uso eficiente del agua en el Tecnoparque Agroecológico Yamboró. Recuperado de <https://ridum.umanizales.edu.co/handle/20.500.12746/4537>
- Greenfacts. (2009). Recursos hídricos: Resumen del 2º Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo. Recuperado de: <https://www.greenfacts.org/es/recursos-hidricos/recursoshidricos-foldout.pdf>

- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., Mekonnen, M. M. (2010). Manual de evaluación de la huella hídrica. Establecimiento del estándar mundial. Recuperado de https://waterfootprint.org/media/downloads/Water_Footprint_Assessment_Manual_Spanish.pdf
- Ayala, L., Van Eupen, M., Zhang, G., Soba, M. P., Martorano, L. G., Lisboa, L. S. & Beltrao, N. E. (2016). Impact of agricultural expansion on water footprint in the Amazon under climate *change scenarios*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.191>.
- Minambiente -Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. 2015. Resolución 0631 de 2015. Bogotá (CO): República de Colombia. Recuperado de https://docs.supersalud.gov.co/PortalWeb/Juridica/OtraNormativa/R_MADS_0631_2015.pdf
- Moni, S., Aziz, E., Abdul Majeed, A. P.P. & Malek, M. (2021). The prediction of blue water footprint at Semambu water treatment plant by means of Artificial Neural Networks (ANN) and Support Vector Machine (SVM) models, Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2021.103052>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo - PNUD. (2021). Objetivos del desarrollo sostenible. Objetivo 6. Agua limpia y saneamiento. Recuperado de <https://www1.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-6-clean-water-and-sanitation.html>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2016). Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: Sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y aguas lluvias. 2da. Ed. Recuperado de https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulo_d.pdf
- Sampaio, S., Correa, M., Vilas, M., & Coutinho, L. (2000). Estudio de precipitación efectiva para el municipio de Lavras, MG. Revista Brasileña de Ingeniería Agrícola y Ambiental, 4(2). 210-213. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662000000200013>.

- Sierra, C. A., & Jenaro Maroso, J. (2019). Estrategias de manejo para mejorar la producción piscícola en un sistema de jaulas flotantes con Tilapia roja *Oreochromis sp*, en Montería, Córdoba. Recuperado de <https://ciencia.lasalle.edu.co/zootecnia/462>
- Vázquez del Mercado Arribas, R., & Lambarri Beléndez, J. (2017). Huella Hídrica en México: análisis y perspectivas. (M. Jiutepec & Instituto Mexicano de Tecnología del agua, Eds.), Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (Vol. 91). Recuperado de <https://www.gob.mx/imta/documentos/huella-hidrica-enmexico -análisis -y-perspectivas>
- Villazón Gómez, Juan Alejandro, Noris Noris, Pavel, & Martín Gutiérrez, George. (2021). Determinación de la precipitación efectiva en áreas agropecuarias de la provincia de Holguín. *Idesia (Arica)*, 39(2), 85 -90. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718 -34292021000200085>
- Weatherspark (15 de diciembre 2021). El clima y el tiempo promedio en todo el año en Pitalito. Recuperado de <https://es.weatherspark.com/y/21466/Clima -promedio -en-Pitalito -Colombia -durante -todo -el-a%C3%B1o>
- Zhang, Y., Huang, K., Ridoutt, B.G. y Yajuan, Y. (2018). Comparing volumetric and impact -oriented water footprint indicators: Case study of agricultural production in Lake Dianchi Basin, China, *Ecological Indicators*. Volume 87, Pages 14 -21. ISSN 1470 -160X. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.12.045>.