

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**Evaluación de la huella hídrica de centros educativos localizados en los
distritos de Incahuasi, Cañaris, Jayanca y Túcume, en el departamento de
Lambayeque, 2020**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

AUTOR

Juan Carlos Guevara Nicolas

ASESOR

Richard Paul Pehovaz Alvarez

<https://orcid.org/0000-0002-3785-2704>

Chiclayo, 2023

**Evaluación de la huella hídrica de centros educativos localizados en
los distritos de Incahuasi, Cañaris, Jayanca y Túcume, en el
departamento de Lambayeque, 2020**

PRESENTADA POR:

Juan Carlos Guevara Nicolas

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR:

Wilmer Moises Zelada Zamora

PRESIDENTE

Juan Alejandro Agreda Barbaran

SECRETARIO

Richard Paul Pehovaz Alvarez

VOCAL

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado **a Dios** porque por medio de sus misteriosas formas de hacer las cosas, he conseguido culminar en mi vida, una gran etapa.

A mis padres, con mayor énfasis a mi mamá, por haber sido y seguir siendo el principal punto de inflexión en todo este empinado recorrido académico, y por ser el estímulo que todo joven universitario necesita en estos días.

A mi hermano, por darme la oportunidad de constantemente demostrarme a mí mismo que puedo hacer más, que tenga confianza en mí mismo y por ser mi compañero de travesuras y darme siempre diversión asegurada, aunque el pesimismo aparezca.

Agradecimientos

A mi familia por ser el aliciente vital para la conclusión de esta investigación.

A mi Asesor, el Ing. Richard Paul Pehovaz Alvarez, quien me ha dado su apoyo incondicional en este proyecto, quien además me impulsó a investigar y recolectar tanto conocimientos como valores morales. Por ser un gran guía para lograr el objetivo.

A cada una de esas personas importantes en mi vida, a mis compañeros de estudio, amigos de comunidad, quienes me han acompañado en esta larga etapa de formación profesional, quienes me brindaron siempre sus ideas y motivación para realizar este trabajo.

A los docentes, quienes, mediante sus enseñanzas, durante todos los años que me mantuve en aulas, llegaron a impulsar y nutrir la creatividad, la innovación y el interés en la hermosa carrera de ingeniería, la cual he culminado de manera eficiente e íntegra.

TESIS

INFORME DE ORIGINALIDAD

13%

INDICE DE SIMILITUD

12%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
2	waterfootprint.org Fuente de Internet	1%
3	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	es.scribd.com Fuente de Internet	<1%
5	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1%
6	docplayer.es Fuente de Internet	<1%
7	tesis.pucp.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	www.dspace.espol.edu.ec Fuente de Internet	<1%
9	dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet	<1%

Índice

Resumen.....	17
Abstract.....	18
Introducción	19
Revisión de literatura.....	23
Antecedentes del problema.....	23
Bases legales	27
<i>Reglamento nacional de edificaciones (RNE).....</i>	<i>27</i>
<i>Decretos Supremos y diversa documentación oficial afín</i>	<i>27</i>
Bases teórico – científicas	27
<i>Uso consuntivo y uso no consuntivo de agua.....</i>	<i>27</i>
<i>Escasez de agua y estrés hídrico</i>	<i>29</i>
<i>Uso y consumo de agua</i>	<i>31</i>
<i>Huella Hídrica Directa e Indirecta</i>	<i>32</i>
<i>Agua virtual y Huella Hídrica.....</i>	<i>33</i>
<i>Componentes de huella hídrica.....</i>	<i>34</i>
<i>Relación entre HH azul y HH gris.....</i>	<i>38</i>
<i>Ciclo Hidrológico e importancia de la HH.....</i>	<i>39</i>
<i>Evaluación de la huella hídrica</i>	<i>41</i>
<i>Cuantificación de la huella hídrica</i>	<i>42</i>
<i>Sostenibilidad de la huella hídrica.....</i>	<i>58</i>
<i>Caudal natural, caudal de retorno y caudal ecológico</i>	<i>60</i>
<i>Evapotranspiración</i>	<i>65</i>
<i>Modelos matemáticos.....</i>	<i>70</i>
Cropwat.....	70
Climwat	70
<i>Medidas para reducir la huella hídrica.....</i>	<i>71</i>
<i>Correspondencia entre las tres huellas: Hídrica, Ecológica y Carbono</i>	<i>74</i>
<i>Demanda Bioquímica de Oxígeno - DBO.....</i>	<i>75</i>
Definición de términos básicos	77
Material y métodos.....	78
Tipo y nivel de investigación	78
<i>Tipo de investigación</i>	<i>78</i>
<i>Nivel de investigación.....</i>	<i>78</i>
Diseño de la investigación.....	79
Población y muestra	79
<i>Población</i>	<i>79</i>
<i>Muestra</i>	<i>80</i>
Criterios de selección	90
Operacionalización de variables	93
Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos	94
<i>Métodos.....</i>	<i>94</i>
Establecimiento del alcance	94

Contabilidad de la HH	95
Cálculo de la HH directa	95
Huella Verde	96
Huella Azul	97
Huella Gris	99
Cálculo de la HH indirecta	99
Sostenibilidad de la HH	99
Sostenibilidad de la HH verde	100
Sostenibilidad de la HH azul	100
Sostenibilidad de la HH gris	101
Propuestas de reducción de la HH	101
<i>Técnicas</i>	101
<i>Instrumentos</i>	102
Procedimientos	102
Plan de procesamiento para análisis de datos	103
Consideraciones éticas	105
Resultados y discusión.....	106
Resultados	106
<i>Centro educativo en Jayanca: N° 10127 – Nuestra Señora de la Asunción</i>	106
Cálculo de la HH directa	106
Cálculo de la HH indirecta	118
Evaluación de Sostenibilidad	121
<i>Centro educativo en Túcume: N° 10226 – Nuestra Señora de la Merced</i>	126
Cálculo de la HH directa	126
Cálculo de la HH indirecta	131
Evaluación de Sostenibilidad	134
<i>Centro educativo en Incahuasi: N° 10084 – Virgen de las Mercedes</i>	137
Cálculo de la HH directa	137
Cálculo de la HH indirecta	142
Evaluación de Sostenibilidad	144
<i>Centro educativo en Cañaris: N° 10062 – San Juan de Cañaris</i>	148
Cálculo de la HH directa	148
Cálculo de la HH indirecta	153
Evaluación de Sostenibilidad	155
<i>Alternativas de solución</i>	159
Discusión	160
Análisis de Sensibilidad	167
Conclusiones	168
Recomendaciones	172
Referencias	173
Anexos	177

Lista de ilustraciones

Ilustración 1 -	Ciclo hidrológico en la naturaleza.....	39
Ilustración 2 -	Relación de las HH, teniendo a un proceso como base	44
Ilustración 3 -	Ejemplo de producción de un insumo “p” en “k” etapas.....	47
Ilustración 4 -	Producción de un insumo “p”, productos de entrada e insumo final.....	48
Ilustración 5 -	Cuantificación de la HH nacional	52
Ilustración 6 -	HH de una cuenca, bajo un esquema de balances	54
Ilustración 7 -	Esquema resumen de la HH dentro de una organización empresarial.....	55
Ilustración 8 -	Empresa con 03 unidades de negocio	57
Ilustración 9 -	Ejemplo práctico sobre caudal de retorno.....	62
Ilustración 10 -	HH azul durante un año comparado con su disponibilidad	65
Ilustración 11 -	Parámetros que afectan la idealización de la ET	66
Ilustración 12 -	Etapas en que se divide el factor de Kc	67
Ilustración 13 -	Idealización matemática de la evapotranspiración	68
Ilustración 14 -	Ventana de trabajo del Software CROPWAT 8.0	70
Ilustración 15 -	Ventana de trabajo del Software CLIMWAT 2.0.....	71
Ilustración 16 -	Representación de las 3 variables de la DBO.....	75
Ilustración 17 -	Centro educativo N° 10127	80
Ilustración 18 -	Mapa de ubicación local del colegio en Jayanca.....	82
Ilustración 19 -	Centro educativo N° 10226.....	83
Ilustración 20 -	Mapa de ubicación local del colegio en Túcume	84
Ilustración 21 -	Centro educativo N° 10084.....	85
Ilustración 22 -	Mapa de ubicación local del colegio en Incahuasi	87
Ilustración 23 -	Centro educativo N° 10062.....	88
Ilustración 24 -	Mapa de ubicación local del colegio en Cañaris	90
Ilustración 25 -	Estaciones meteorológicas elegidas en la región lambayecana.....	106
Ilustración 26 -	Volumen que usan los inodoros escolares a nivel nacional	111
Ilustración 27 -	Estación elegida de CLIMWAT para horas solares de Jayanca.....	113
Ilustración 28 -	DBO en aguas del río Chancay – Lambayeque.....	117
Ilustración 29 -	N° de suministro en el colegio 10127.....	118
Ilustración 30 -	N° de suministro en el colegio 10226.....	132
Ilustración 31 -	Estación elegida de CLIMWAT para horas solares de Incahuasi	140
Ilustración 32 -	Inexistencia del n° de suministro en el colegio 10084.....	142
Ilustración 33 -	Inexistencia del n° de suministro en el colegio 10062.....	153
Ilustración 34 -	Palmera hawaiana existente en el colegio N° 10226.....	162
Ilustración 35 -	Pino existente en el colegio N° 10062	162
Ilustración 36 -	Tesista evaluando si está activa la PTAR de Jayanca.....	177
Ilustración 37 -	PTAR de Jayanca, con un área aproximada de 3.5 ha.....	177
Ilustración 38 -	Grifos que usan los estudiantes del colegio N° 10127.....	178
Ilustración 39 -	Jardín representativo de las áreas verdes del colegio N° 10127.....	178
Ilustración 40 -	Grifos que usan los estudiantes del colegio N° 10226.....	179
Ilustración 41 -	Jardín representativo de las áreas verdes del colegio N° 10226.....	179
Ilustración 42 -	Medición de las áreas verdes del colegio N° 10226.....	180
Ilustración 43 -	Caños que usan los estudiantes del colegio N° 10084.....	180
Ilustración 44 -	Jardín representativo de las áreas verdes del colegio N° 10084.....	181
Ilustración 45 -	Visita presencial al colegio N° 10084	181

Ilustración 46 -	Grifos que usan los estudiantes del colegio N° 10062	182
Ilustración 47 -	Áreas verdes del colegio N° 10062	182
Ilustración 48 -	Plano en Autocad del cerco perimétrico del colegio N° 10062	183
Ilustración 49 -	Visita presencial al colegio N° 10062	183

Lista de tablas

Tabla 1 -	Clasificación para medir el estrés hídrico.....	29
Tabla 2 -	Cantidad de AV que se necesita para usuales productos.....	34
Tabla 3 -	Niveles para calcular la HH.....	43
Tabla 4 -	Modelos de componentes de HH en las empresas.....	56
Tabla 5 -	Rangos de caudal ecológico a nivel de cuenca según caudal promedio anual.....	65
Tabla 6 -	Conservación de la muestra de DBO.....	76
Tabla 7 -	Composición de agua residual doméstica bruta.....	77
Tabla 8 -	Ficha de datos de la institución educativa de Jayanca.....	81
Tabla 9 -	Población estudiantil en el colegio de Jayanca.....	81
Tabla 10 -	Acceso al centro educativo N° 10127.....	82
Tabla 11 -	Ficha de datos de la institución educativa de Túcume.....	83
Tabla 12 -	Población estudiantil en el colegio de Túcume.....	84
Tabla 13 -	Acceso al centro educativo N° 10226.....	84
Tabla 14 -	Ficha de datos de la institución educativa de Incahuasi.....	85
Tabla 15 -	Población estudiantil de primaria en el colegio de Incahuasi.....	86
Tabla 16 -	Población estudiantil de secundaria en el colegio de Incahuasi.....	86
Tabla 17 -	Acceso al centro educativo N° 10084.....	87
Tabla 18 -	Ficha de datos Primaria y Secundaria del colegio de Cañaris.....	88
Tabla 19 -	Población estudiantil de primaria en el colegio de Cañaris.....	89
Tabla 20 -	Población estudiantil de secundaria en el colegio de Cañaris.....	89
Tabla 21 -	Acceso al centro educativo N° 10062.....	90
Tabla 22 -	Variables que abarca la investigación.....	93
Tabla 23 -	HH verde por meses en el colegio 10127.....	107
Tabla 24 -	Dotación de agua para centros educativos.....	108
Tabla 25 -	Afluente en el centro educativo de Jayanca.....	109
Tabla 26 -	Fechas no escolares en la institución de Jayanca.....	110
Tabla 27 -	Días totales de clases escolares.....	110
Tabla 28 -	Promedio de respuestas sobre el consumo de agua.....	111
Tabla 29 -	Promedio de consumo por tipo de población.....	112
Tabla 30 -	Agua total consumida por tipo de población.....	112
Tabla 31 -	ETo calculada con CROPWAT en Jayanca.....	113
Tabla 32 -	Valores de Kc para el cultivo.....	114
Tabla 33 -	Volumen de agua que requieren las áreas verdes.....	114
Tabla 34 -	DBO promedio de los efluentes de algunas PTAR en Lambayeque.....	115
Tabla 35 -	PTAR que administra EPSEL en la región Lambayeque.....	116
Tabla 36 -	ECA de DBO seleccionados de la norma nacional.....	116
Tabla 37 -	Balance hídrico de la HH directa.....	117
Tabla 38 -	Equivalencias de HH con fuentes de energía.....	118
Tabla 39 -	HH de consumo de energía eléctrica.....	119
Tabla 40 -	HH de insumos escolares y sanitarios.....	120
Tabla 41 -	HH de consumo de papel de escritorio.....	120
Tabla 42 -	HH de consumo de útiles escolares.....	120
Tabla 43 -	HH de consumo de material de limpieza.....	121
Tabla 44 -	Características de la cuenca Chancay Lambayeque.....	122
Tabla 45 -	Caudales mensuales del río Chancay Lambayeque.....	122

Tabla 46 -	Disponibilidad del río Chancay Lambayeque	123
Tabla 47 -	Escasez de agua que produce la HH azul	123
Tabla 48 -	Rangos de escasez o índice de contaminación.....	124
Tabla 49 -	Comparación del rango de la OMS frente al uso en litros.....	125
Tabla 50 -	Nivel de contaminación produce la HH gris.....	125
Tabla 51 -	HH verde por meses en el colegio 10226	127
Tabla 52 -	Afluente en el centro educativo de Túcume	128
Tabla 53 -	Promedio de respuestas sobre el consumo en el colegio de Túcume	128
Tabla 54 -	Promedio de consumo por tipo de población.....	129
Tabla 55 -	Agua total consumida por tipo de población	129
Tabla 56 -	ETo calculada con CROPWAT en Túcume	130
Tabla 57 -	Volumen de agua que requieren las áreas verdes.....	130
Tabla 58 -	Balance hídrico de la HH directa de Túcume	131
Tabla 59 -	HH de consumo de energía eléctrica.....	132
Tabla 60 -	HH de consumo de papel.....	133
Tabla 61 -	HH de consumo de útiles escolares.....	133
Tabla 62 -	HH de consumo de papel higiénico.....	133
Tabla 63 -	Escasez de agua que produce la HH azul	134
Tabla 64 -	Comparación del rango de la OMS frente al uso en litros.....	135
Tabla 65 -	Nivel de contaminación que produce la HH gris	136
Tabla 66 -	HH verde por meses en el colegio N° 10084.....	137
Tabla 67 -	Afluente en el centro educativo de Incahuasi	138
Tabla 68 -	Respuestas promedio sobre el consumo de agua del colegio N° 10084.....	138
Tabla 69 -	Promedio de consumo por tipo de población.....	139
Tabla 70 -	Agua total consumida por tipo de población	139
Tabla 71 -	ETo calculada con CROPWAT en Incahuasi	140
Tabla 72 -	Volumen de agua que requieren las áreas verdes.....	141
Tabla 73 -	Balance hídrico de la HH directa del colegio de Incahuasi	142
Tabla 74 -	HH de consumo de energía eléctrica.....	143
Tabla 75 -	HH de consumo de papel.....	143
Tabla 76 -	HH de consumo de útiles escolares.....	143
Tabla 77 -	HH de consumo de papel higiénico.....	144
Tabla 78 -	Dotación de agua para habitantes por clima	144
Tabla 79 -	Disponibilidad del agua subterránea UckuYaku.....	145
Tabla 80 -	Índice de Escasez de agua en Incahuasi	145
Tabla 81 -	Comparación del rango de la OMS frente al uso en litros.....	146
Tabla 82 -	Nivel de contaminación produce la HH gris en Incahuasi	147
Tabla 83 -	HH verde por meses en Cañaris.....	148
Tabla 84 -	Afluente en el centro educativo de Cañaris	149
Tabla 85 -	Promedio de respuestas referente al consumo en el colegio de Cañaris	149
Tabla 86 -	Promedio de consumo por tipo de población.....	150
Tabla 87 -	Agua total consumida por tipo de población	150
Tabla 88 -	ETo calculada con CROPWAT en Cañaris	151
Tabla 89 -	Volumen de agua que requieren las áreas verdes.....	151
Tabla 90 -	Balance hídrico de la HH directa	152
Tabla 91 -	HH de consumo de energía eléctrica.....	153
Tabla 92 -	HH de consumo de papel.....	154

Tabla 93 -	HH de consumo de útiles escolares	154
Tabla 94 -	HH de consumo de papel higiénico.....	154
Tabla 95 -	Disponibilidad del agua subterránea administrada por la JASS	155
Tabla 96 -	Índice de Escasez de agua en Cañaris	156
Tabla 97 -	Comparación del rango de la OMS frente al uso en litros.....	157
Tabla 98 -	Nivel de contaminación produce la HH gris.....	157
Tabla 99 -	LMP permitidos para efluentes de PTAR.....	159
Tabla 100 -	HH por centro educativo según su población	167
Tabla 101 -	HH de los centros educativos.....	168
Tabla 102 -	HH de los materiales educativos	169

Lista de ecuaciones

Ecuación 1 -	Cálculo de huella verde	44
Ecuación 2 -	Precipitación efectiva según USDA SCS	45
Ecuación 3 -	Cálculo de huella azul.....	45
Ecuación 4 -	Cálculo de huella gris	46
Ecuación 5 -	HH de productos bajo enfoque simplificado	47
Ecuación 6 -	HH de productos con un enfoque general.....	49
Ecuación 7 -	HH de un consumidor.....	49
Ecuación 8 -	HH indirecta de un consumidor	49
Ecuación 9 -	HH de un área geográficamente limitada	50
Ecuación 10 -	HH de consumidores en un país	51
Ecuación 11 -	HH interna de consumidores en una nación.....	51
Ecuación 12 -	HH externa de consumidores en una nación	51
Ecuación 13 -	HH de agua virtual exportada.....	51
Ecuación 14 -	HH de agua virtual importada	52
Ecuación 15 -	HH de presupuesto de agua virtual nacional.....	52
Ecuación 16 -	HH de una nación bajo enfoque área delimitada.....	53
Ecuación 17 -	HH nacional “top-down”	53
Ecuación 18 -	HH nacional “bottom-up”	53
Ecuación 19 -	HH de una empresa.....	57
Ecuación 20 -	HH de componentes de unidades de negocio.....	57
Ecuación 21 -	Disponibilidad del agua verde.....	58
Ecuación 22 -	Factor de escasez de agua verde.....	59
Ecuación 23 -	Factor de escasez de agua azul.....	59
Ecuación 24 -	Grado de contaminación del recurso hídrico	60
Ecuación 25 -	HH de la disponibilidad azul en función del CME.....	63
Ecuación 26 -	Cálculo para el ETc o NAC	67
Ecuación 27 -	Fórmula inicial de Penman-Monteith.....	69
Ecuación 28 -	Fórmula completa para calcular la ETo.....	69

Lista de gráficos

Gráfico 1 -	Uso consuntivo del agua.....	28
Gráfico 2 -	Uso no consuntivo del agua.....	28
Gráfico 3 -	Distribución del agua según las vertientes peruanas.....	31
Gráfico 4 -	Distinción entre el uso y el consumo de agua.....	32
Gráfico 5 -	Variables que componen la HH.....	38
Gráfico 6 -	Ciclo hidrológico con sus procesos por bloques.....	40
Gráfico 7 -	Cuatro fases diferentes de la evaluación de la HH.....	42
Gráfico 8 -	Población de 206 personas frente al resto de colegios en Jayanca.....	91
Gráfico 9 -	Población de 885 personas frente al resto de colegios en Túcume.....	92
Gráfico 10 -	Población de 767 personas frente al resto de colegios en Incahuasi.....	92
Gráfico 11 -	Población de 274 personas frente al resto de colegios en Cañarís.....	92
Gráfico 12 -	Balance hídrico modelo de los centros educativos.....	96
Gráfico 13 -	HH verde en porcentaje del colegio N° 10127.....	107
Gráfico 14 -	Agua consumida por tipo de población del colegio N° 10127.....	112
Gráfico 15 -	Huella directa en m ³ del colegio N° 10127.....	117
Gráfico 16 -	Producción de electricidad en el Perú, durante el 2019.....	119
Gráfico 17 -	Huella indirecta en m ³ del colegio N° 10127.....	121
Gráfico 18 -	Disponibilidad de la HH azul versus el caudal ecológico en Jayanca.....	124
Gráfico 19 -	Disponibilidad de la HH gris versus el caudal ecológico en Jayanca.....	126
Gráfico 20 -	HH verde en porcentaje del colegio N° 10226.....	127
Gráfico 21 -	Agua consumida por tipo de población del colegio N° 10226.....	129
Gráfico 22 -	Huella directa en m ³ del colegio N° 10226.....	131
Gráfico 23 -	Huella indirecta en m ³ del colegio N° 10226.....	133
Gráfico 24 -	Disponibilidad de la HH azul versus el caudal ecológico en Túcume.....	135
Gráfico 25 -	Disponibilidad de la HH gris versus el caudal ecológico en Túcume.....	136
Gráfico 26 -	HH verde en porcentaje del colegio N° 10084.....	137
Gráfico 27 -	Agua consumida por tipo de población del colegio N° 10084.....	139
Gráfico 28 -	Huella directa en m ³ del colegio N° 10084.....	142
Gráfico 29 -	Huella indirecta en m ³ del colegio N° 10084.....	144
Gráfico 30 -	Disponibilidad de la HH azul versus el caudal ecológico en Incahuasi.....	146
Gráfico 31 -	Disponibilidad de la HH gris versus el caudal ecológico en Incahuasi.....	147
Gráfico 32 -	Huella verde en porcentaje del colegio N° 10062.....	148
Gráfico 33 -	Agua consumida por tipo de población del colegio N° 10062.....	150
Gráfico 34 -	Huella directa en m ³ del colegio N° 10062.....	152
Gráfico 35 -	Huella indirecta en m ³ del colegio N° 10062.....	154
Gráfico 36 -	Disponibilidad de la HH azul versus el caudal ecológico en Cañarís.....	156
Gráfico 37 -	Disponibilidad de la HH gris versus el caudal ecológico en Cañarís.....	158
Gráfico 38 -	Áreas verdes por centros educativos.....	160
Gráfico 39 -	Huella verde por centros educativos.....	161
Gráfico 40 -	Afluentes de los centros educativos.....	163
Gráfico 41 -	Efluentes de los centros educativos.....	163
Gráfico 42 -	Huella azul de los centros educativos.....	164
Gráfico 43 -	Huella gris de los centros educativos.....	165
Gráfico 44 -	HH directa y HH indirecta de los centros educativos.....	166
Gráfico 45 -	HH directa segregado por sus principales componentes.....	168

Gráfico 46 - Huella hídrica segregada de materiales usados en los colegios 169
Gráfico 47 - HH total de los materiales utilizados en los centros educativos 170
Gráfico 48 - Huella hídrica total de los centros educativos..... 171

Lista de siglas y acrónimos

- **ACV** Análisis de Ciclo de Vida
- **ANA** Autoridad Nacional del Agua
- **AV** Agua Virtual
- **CONAGUA** Comisión Nacional del Agua
- **COSUDE** Cooperación Suiza en Perú y los Andes o Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación
- **DBO** Demanda Bioquímica de Oxígeno
- **ECA** Estándares de Calidad Ambiental
- **EPSEL** Empresa Prestadora de Servicios de Saneamiento de Lambayeque
- **FAO** Food and Agriculture Organization (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura)
- **FINA** Fédération Internationale de Natation (Federación Internacional de Natación)
- **GEI** Gases de Efecto Invernadero
- **GWP** Global Water Partnership (Asociación Mundial para el Agua)
- **HH** Huella Hídrica
- **INEI** Instituto Nacional de Estadística e Informática
- **ISO** International Organization of Standardization (Organización Internacional de Normalización)
- **JASS** Juntas Administradoras de Servicios de Saneamiento
- **MINAGRI** Ministerio de Agricultura y Riego
- **MINAM** Ministerio del Ambiente
- **MINEM** Ministerio de Energía y Minas
- **MINSA** Ministerio de Salud
- **MMC** Millones de Metros Cúbicos
- **NAC** Necesidad de agua de cultivo, es igual a CWR, RAC (requerimiento de agua de cultivo)
- **NU, UN** United Nations (Naciones Unidas)

- **OMS** Organización Mundial de la Salud
- **RNE** Reglamento Nacional de Edificaciones
- **PTAR** Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
- **PUCP** Pontificia Universidad Católica del Perú
- **SEDAPAL** Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima
- **SENAMHI** Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
- **UAM** Universidad Autónoma de Madrid
- **UGEL** Unidad de Gestión Educativa Local
- **UNESCO** United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
(Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura)
- **UNI** Universidad Nacional de Ingeniería
- **UNICEF** United Nations International Children's Emergency Fund (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia)
- **UTEM** Universidad Tecnológica Metropolitana de Chile
- **WFN** Water Footprint Network (Red de la Huella Hídrica)
- **WWAP** World Water Assessment Programme (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos)
- **WWF** World Wildlife Fund (Fondo Mundial para la Naturaleza)

Resumen

Como bien sabemos, la humanidad no se ha independizado de la naturaleza; esto quiere decir que hemos hecho y seguiremos haciendo uso de los recursos que ella nos brinda, en el presente proyecto, nos enfocamos en el agua, un insumo tan necesario para la vida humana y las diversas actividades que realiza. Es por ello, muy importante tener cifras exactas, de qué tanto estamos usando de este recurso, para así tener una transparencia en todos los sectores y tomar propuestas íntegras en post de una sociedad mejor. En este informe académico se buscó evaluar cuánta agua es necesaria para que un grupo de personas realicen sus actividades, y el nivel de contaminación que generaron durante el año 2019, exactamente dentro de cuatro instituciones educativas ubicadas en la región Lambayeque, esto es lo que se conoce como huella hídrica (HH). Se busca que por cada centro de enseñanza se evalúe el consumo directo e indirecto del recurso hídrico, expresando los resultados en volúmenes de agua. En este proyecto se explica la metodología a usar, propuesta por la WFN. Se tuvo que ir hasta los lugares en cuestión, recopilar datos de primera mano, fórmulas propuestas en la literatura inglesa, así como datos de instituciones y organismos serios. Además, este trabajo es un proyecto innovador por lo que se exhorta a investigar más acerca de este tema que intenta explicar el gran problema hídrico, ya que en este mundo globalizado resulta ser, la HH, un instrumento importante de medición para lograr tener sociedades sostenibles.

Palabras clave: Huella hídrica, institución educativa, agua, consumo directo, consumo indirecto, sostenibilidad, WFN, Lambayeque.

Abstract

As we well know, humanity has not become independent from nature; This means that we have made and will continue to make use of the resources that it provides us. In this project, we focus on water, an input that is so necessary for human life and the various activities that it carries out. That is why it is very important to have exact figures, of how much we are using this resource, in order to have transparency in all sectors and take full proposals in post for a better society. This academic report seeks to assess how much water is necessary for a group of people to carry out their activities, and the level of pollution they generate during the year 2019, exactly within four educational institutions located in the Lambayeque region, this is what is known as the water footprint (WF). The aim is for each school to evaluate the direct and indirect consumption of water resources, expressing the results in volumes of water. This project explains the methodology to be used, proposed by the WFN. It was necessary to go to the places in question, collect first-hand data, formulas proposed in the English literature, as well as data from serious institutions and organizations. In addition, this work is an innovative project, so it is encouraged to investigate more about this topic that tries to explain the great water problem, since in this globalized world it turns out to be, the HH, an important instrument of measurement to achieve sustainable societies.

Keywords: Water footprint, educational institution, water, direct consumption, indirect consumption, sustainability, WFN, Lambayeque.

Introducción

Actualmente el cambio climático es un problema que urge atención por parte de toda la población mundial, ante ello las autoridades de cada país y los organismos internacionales han propuesto medidas a favor de la reducción de emisiones y protección de recursos no renovables. Sin embargo, a pesar de los grandes esfuerzos que se vienen realizando desde hace décadas, esta alarma ambiental no es la única emergencia de nuestro planeta. En otras zonas del planeta existen problemáticas incluso más graves que el cambio climático. Tal es el grave asunto relacionado con el agua, un recurso natural de vital importancia para el ser humano, razón por la que debe prestarse atención especial sobre él. [1]

El ser humano a lo largo de su vida consume y contamina una ingente cantidad de agua. Si evaluamos a escala global, la mayor parte del recurso hídrico es destinado a la agricultura (por la creciente demanda de alimentos para toda la población mundial), pero también hay una proporción considerable que se emplea en los sectores doméstico e industrial. [2]

Ahora tengamos presente también, que las urbes, muchas veces se ubican en lugares que poseen aridez o estrés hídrico, haciendo que resulte imposible cubrir una demanda que año a año sigue creciendo tanto demográfica como numéricamente. Es un problema que si bien, muchas veces, es producto de la pésima gestión del recurso, es preciso evocar que las barreras naturales hacen de muchas ciudades, espacios con carencia de este recurso, en contraste a los habitantes, bienes y servicios que se imparten, los cuales sí son abundantes. [3]

Sabemos que el 70% de la superficie del planeta está cubierto por agua, del cual el 97% es agua salada, pero solo un 3% es dulce. Además, alrededor del mundo más de 1 billón de personas no tienen acceso óptimo a este recurso hídrico, y se estima que en el futuro (si se mantiene el ritmo actual y la poca capacidad para cerrar brechas), esta cifra podría aumentar, afectando así a más habitantes. Más de 2 millones de personas, (siendo 1000 niños diarios, según UNICEF) fallecen anualmente, producto de las enfermedades relacionadas a la carencia de agua potable y/o no recibir el recurso con la calidad y cantidad adecuados. [4]

El Banco Mundial indica, basado en el GWP, que el Perú ocupa el 8vo lugar del ranking de los países con mayores fuentes de agua del mundo y el tercer lugar entre los países de Latinoamérica. [5]

Además, sabemos que uno de los países con mayor cantidad de agua dulce disponible geográficamente es el Perú, sin embargo, presenta regiones con escasez de agua o estrés hídrico, producto de su pobre distribución. [3]

Según la ANA y el MINAGRI, la distribución de los recursos hídricos renovables en el Perú es un gran desafío, puesto que la costa desértica peruana, cuenta solamente con el 2% de la disponibilidad de recursos hídricos del país, y que también alberga al 65% de la población nacional, y representa cerca del 80% de la economía del Perú. Es necesario agregar lo que señala el Jefe de ANA, quien menciona que entre un 14 – 17% de las aguas servidas que se producen en el Perú son tratadas, antes de ser devueltas a los ríos o al mar, lo que representa una gran pérdida del agua dulce. [6]

Si analizamos la realidad más acorde a los distritos a estudiar en este proyecto, tenemos el caso de los pobladores de Incahuasi, quienes (según INEI 2017) son cerca de 14 000 habitantes, se presenta una problemática de escasez de agua potable. Además, en un reportaje hecho por el diario la Industria, nos habla que el 90% de familias, consumen agua contaminada por los excrementos de animales y personas, que son arrojados a las quebradas secas o llegan a cultivos aparentemente abandonados, pero sin un debido control esto afecta a la salud de la población. [7]

De igual manera sucede con los distritos de Cañaris, Túcume y Jayanca, los cuales afrontan una evidente escasez de agua. Parte de este problema son las bajas cantidades de aguas pluviales que abastecen a los caudales locales. Además, debemos mencionar que los proyectos de agua y saneamiento, son muy pocos en los pueblos no céntricos de cada distrito [8].

Si nosotros conocemos con datos más precisos cuánto estamos consumiendo de agua en los centros educativos, podemos hacer un mejor uso de estos recursos y tomar mejores decisiones, cuando se generen proyectos que involucren la participación de personas, ya que somos los seres humanos quienes explotamos las fuentes disponibles de agua, con tal de satisfacer las diversas actividades que realizamos dentro de una instalación.

Tras lo explicado anteriormente es que surge un instrumento que ayuda a la gestión sostenible del recurso hídrico, el cual es la HH, una herramienta de medida del consumo directo e indirecto del agua. La HH mide el volumen de agua dulce usado para elaborar un producto (medido a lo largo de su cadena de suministro), para un proceso, para una empresa, para el uso de los consumidores, para determinar dentro de un área geográfica, etc.

Hace unos años, Colombia fue el piloto en Latinoamérica, en aplicar la HH. Luego, se ha sumado Perú, donde empresas del sector privado emplearon dicho instrumento. Sin embargo, el cálculo resulta aún un tema poco estudiado y poco aplicado en el ámbito nacional. El presente trabajo, pues, resulta ser un proyecto innovador porque aporta conocimientos para que en un futuro se logre implementar la HH dentro de los proyectos de ingeniería.

En el Perú, la HH del consumo nacional llega a ser de más de 30 mil millones de metros cúbicos (30×10^{10} de m^3) anuales en promedio, según un informe emitido por ANA. Esto resulta un volumen de 300 km^3 , si queremos tener una idea de la magnitud basta mencionar que el Lago Titicaca, posee aproximadamente un volumen de 893 km^3 de agua. [9]

En esta investigación se pretendió evaluar la HH que se genera dentro los centros educativos de gestión pública, tanto en la zona costera como en la zona andina, de esta manera se pudo analizar mucho mejor la sostenibilidad de una institución, la cual puede ayudar en la formulación de proyectos de ingeniería o de cualquier otro enfoque, ya que se evitarían tantos periodos de sequías o depredación de los recursos hídricos locales, los cuales tienden a abastecer solo a una población pequeña y no se analiza de manera sostenible si la fuente es capaz de albergar a un gran grupo de personas que gastan agua dentro de un periodo de horas, diariamente.

Al final, se pudo efectuar una comparación entre las HH de las instituciones educativa, a través de los diferentes componentes (huella verde, huella azul y huella gris), por lo que podremos tomar decisiones a futuro contribuyendo a la elección de materiales, y un mejor tratamiento de las aguas residuales que se vierten a los cuerpos de agua y en instancias mayores, un uso sostenible de los recursos, pues esto es lo que naturaleza puede darnos y no la que debería darnos.

Arjen Y. Hoekstra, quien es el creador del concepto de HH, indica que “El interés en la HH se origina en el reconocimiento de que los impactos humanos en los sistemas hídricos pueden estar

relacionados, en última instancia, al consumo humano, y que temas como la escasez o contaminación del agua pueden ser mejor entendidos y gestionados considerando la producción y cadenas de distribución en su totalidad". [4]

El cálculo de HH de las instituciones educativas, es un aporte a la investigación local y se convierte en un precedente general efectivo sobre la importancia de considerar un instrumento de medición dentro de la sostenibilidad de los recursos. Así también, colabora a generar un fenómeno de sensibilización en toda la comunidad, en lo que respecta al consumo de agua.

En este trabajo se consideró como objetivo principal: *Evaluar la huella hídrica de centros educativos localizados en los distritos de Incahuasi, Cañaris, Jayanca y Túcume, en el departamento de Lambayeque, 2020; con el fin de promover el uso sostenible del recurso hídrico.*

Y los objetivos secundarios fueron: *Cuantificar la Huella Directa y la Huella Indirecta, ambos con sus componentes Huellas Azul, Verde y Gris de los centros educativos; este sirvió como el componente fundamental del objetivo principal. Luego se tiene, Calcular la huella hídrica de los materiales utilizados en los centros educativos, así como también identificar cuáles son los que priman; con este objetivo se enfocó todo el cálculo y organización de la huella hídrica, además se aportó una evaluación del agua que no se ve, al tener actividades escolares. El siguiente objetivo, se enfocó en un contexto ambiental: Determinar si la huella hídrica calculada genera un impacto positivo o negativo en el medio ambiente de los centros educativos, con ello se buscará plantear una propuesta de reducción de huella hídrica. Para terminar, se tuvo como objetivo final: Analizar los resultados obtenidos del cálculo de la huella hídrica de los centros educativos y consolidarlos, para con ello comparar la huella hídrica entre las escuelas públicas y emitir juicios.*

En el Perú, existen pocos estudios sobre el cálculo de la HH, en su mayoría asociados al sector agrícola, sin embargo, las instituciones educativas representan un gran consumo en sus actividades, esto impulsará a crear responsabilidad ambiental en los usuarios tanto productores como consumidores del agua. Por ello surge la necesidad de determinar el consumo de agua y sus efectos ambientales sobre este recurso que se genera, por medio del indicador de la HH.

Revisión de literatura

Antecedentes del problema

Antecedentes al nivel internacional

Informe: Fundación de la Universidad Autónoma de Madrid - 2019

Estimación de la huella hídrica de una promoción residencial.

Este informe investigativo, resulta ser un pionero en la literatura española relacionada a la HH en la construcción, vinculado a las edificaciones residenciales. Tiene como puntos de interés identificar las metodologías que brindan las investigaciones científicas de la materia, y con ello llevarlas a la práctica tomando como base de datos las edificaciones construidas por la empresa inmobiliaria Vía Célere; buscando al final ser un documento referencial y guía para investigaciones análogas. [10]

Para cuantificar la HH de los conjuntos residenciales se utilizó dos caminos, el primero fue de “valor” y el segundo de “peso”, todo esto resultó de la recopilación y evaluación de cerca de 6 000 boletas de compra y venta (donde se registra la mercancía expedida a otras empresas) y más de 3 000 boletas de negocio con sus proveedores [Ídem].

En el primer enfoque se analiza de tal manera que cada uno de los procesos que intervienen en la economía para adquirir bienes y servicios, que nacen en la inmobiliaria, poder ser aplicados mediante la relación matemática de volumen de agua consumida por unidad elaborada. En el segundo enfoque, vemos una ruta más comprensible, pues se mezcla y aplica la metodología para evaluar la HH: la WFA (Water Footprint Assessment) la cual es la propuesta por la WFN, y la metodología que toma como base el Tiempo de Vida Útil de algunos insumos, LCA (Life Cycle Assesment). Este enfoque determina la masa de agua que integra cada insumo constructivo.

Como conclusión, arroja al final que el proyecto residencial, por el enfoque de valor, llega a consumir 88 500 m³, si se considera que el área construida fue de 15 428.85 m², resulta 5.7m³ por cada m². Y analizando por el siguiente enfoque se obtiene por cada huella, 4.6m³ de HH azul por m² construido, 18.1m³ de HH verde y 203.9m³ de HH gris.

Trabajo de titulación: Débora Guamán Peña y Francisco Illares Muñoz - 2019**Análisis de la Huella Hídrica en el campus de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca mediante el uso de redes de Telemetría.**

Es el resultado de la cooperación entre dos ramas de Ingeniería (Ambiental y Electrónica), ambas buscan hallar la HH de la universidad mencionada en Ecuador, recopila los datos del consumo de agua mediante encuestas virtuales, exactamente con Formularios de Google; para las áreas verdes recoge la cantidad total que hay dentro del campus y también obtiene los parámetros del clima al que pertenece la casa de estudios.

Al igual que la tesis nacional de Castillo (mencionada en la página siguiente), su guía metodológica es la sugerida por la WFN. En esta investigación ecuatoriana, se incluye también una red de telemetría (tecnología que consta de equipos que miden aspectos físicos y químicos de un entorno, generalmente lejano) para medir la calidad del agua en su forma de afluente y efluente.

Tas presentar sus resultados, elabora una serie de pautas enfocadas en la sostenibilidad del recurso dentro del campus, esto enfocado en la fuente de agua que abastece al campus. [11]

Tesis doctoral: María Sotelo Pérez - 2018**Aspectos económicos, sociales y territoriales de la huella hídrica española**

Este informe investigativo cuyo nivel es doctoral, y pertenece a la Universidad Complutense de Madrid, en él se aborda la HH como instrumento para entender la escasez de agua. Su punto de partida es avizorar la actualidad española, relacionado a la HH durante el año 2015. [12]

Se realiza trabajos cartográficos mediante ensayos en campo (limitaciones de cuencas hidrográficas, topografía, etc.), además de fórmulas matemáticas (con toma de datos de estaciones meteorológicas) para conocer de forma más clara y palpable el cálculo hídrico.

Huella hídrica en México en el contexto de Norteamérica - 2012

Muestra la contabilidad de la HH en las diversas actividades que realiza México, tanto en exportación como en importación, la compara con la HH de Estados Unidos, Canadá y el mundo, mediante gráficos y datos recopilados de su investigación.

Además, nos da la metodología usada, la cual es la que recomienda la WFN, así como consejos y conclusiones, por ejemplo, afirma que México es la 11° nación con una gran HH en el sector productivo, además del 8° lugar de consumo hídrico frente al resto del mundo. [13]

Es importante mencionar que en esta investigación se usaron las fórmulas para hallar la HH de una nación, la HH de consumo per cápita y la HH de Producción Nacional.

Antecedentes al nivel nacional

Tesis de pregrado: Mariana Castillo Valencia - 2014

Huella Hídrica del campus de la Pontificia Universidad Católica del Perú en el 2014.

Dentro del territorio peruano, artículos o informes relacionados a la HH son escasos; este documento resulta una gran guía, aquí se busca encontrar la HH que consume el campus de la PUCP como centro educativo, tomando como base de datos todos los consumos ligados al agua durante el año 2014.

La metodología que emplea la licenciada en Geografía, es la que propone la WFN, la cual hoy en día ha aprobado otras metodologías, pero todas ellas con el fin de reducir las problemáticas que aquejan al agua.

La tesis sigue las cuatro fases que propone la metodología planteada, por ejemplo, su objetivo principal de calcular la HH en cada una de sus tres tipos de agua, es encontrado de forma entendible y prolija; aquí toma datos del consumo de agua que toma de SEDAPAL y de su pozo dentro de sus límites territoriales; así como encuestas virtuales con preguntas clave para medir el consumo poblacional y hace uso del software CROPWAT para encontrar la HH verde.

Sus otros objetivos los centra en la evaluación de sostenibilidad proponiendo medidas para reducir las grandes cantidades de agua que se requieren al final (HH gris) para que los contaminantes que se llevan las aguas residuales, sean inofensivos. [3]

Informe: Alejandro Mendoza y Alejandro Conza - 2016

Análisis de huella hídrica en la Facultad de Ingeniería Ambiental (FIA)

El presente informe busca hallar la HH de la mencionada facultad en la UNI, el tipo de investigación desarrollado es de corte transversal, puesto que plantea analizar los datos durante un año en particular, el 2014.

La metodología que se tomó es la propone la ISO 14046 (NTP-ISO 14046:2017, en Perú), la cual integra dentro de sus textos la cuantificación del agua de procesos, además clasificar los impactos ambientales que se presente. También, evalúa el ACV llevado al uso de agua, así como encontrar el consumo y los contaminantes ligados al servicio educativo.

Sus resultados evidencian que el principal consumo es el que se da en la HH indirecta, siendo la electricidad el componente que prima, en la FIA UNI, con 13m³ de agua por alumno. [14]

En contraste a la HH directa, la cual parte de un pozo, donde la cadena de suministros son los que priman en este lado.

Antecedentes al nivel local

Informe: WWF Perú – 2013

Huella Hídrica del Sector Agropecuario del Perú

Habla sobre el sector agropecuario en las regiones del territorio nacional, entre ellos se menciona a la región Lambayeque con sus cultivos de arroz y azúcar, dicho informe es elaborado en conjunto por ANA, COSUDE y WWF Perú. [15] y [9]

Tesis de pregrado: Juan Delgado Mansilla - 2019

Análisis de la infraestructura hidráulica del sistema Chancay-Lambayeque y su impacto en la ecoeficiencia y la huella hídrica de la producción agrícola

Es un estudio realizado en la PUCP que evalúa la infraestructura menor dentro de la cuenca citada, y su impacto en una HH teórica y ecoeficiencia del sector agrícola. Presenta el consumo de agua necesario para el arroz, caña de azúcar y maíz y realiza simulaciones en los softwares CROPWAT 8.0 y CLIMWAT 2.0. Además, presenta tecnologías usadas en el riego, su metodología sigue la proporcionada por la WFN, se basa en los valores ingresados a estos programas de los cultivos y concluye evocando enunciados para mejorar la producción local. [16]

Bases legales

Reglamento nacional de edificaciones (RNE)

Es el documento más revisado por los profesionales de ingeniería, arquitectura, electricidad, saneamiento y afines, además sus artículos deben ser cumplidos con obligatoriedad puesto que recopila los conceptos y requisitos mínimos para un óptimo diseño y construcción segura de proyectos. Además, alega algunas pautas para los profesionales y sus colaboradores, quienes intervienen en todos los procesos que dan vida a los proyectos dentro del territorio nacional. Por ello, es de gran importancia regirse a él, teniendo en cuenta que los colegios han sido concebidos bajo esta norma.

Decretos Supremos y diversa documentación oficial afín

La legislación nacional y otras entidades oficiales ofrecen diversas publicaciones, ya sea elaboradas por el MINAM, MINEM, ANA, entre muchas otras, cuyos parámetros rigen los estudios, proyectos e investigaciones de cualquier otra índole, las cuales son citadas debidamente.

Bases teórico – científicas

Uso consuntivo y uso no consuntivo de agua

El uso consuntivo se da cuando desde el momento en que el agua parte de una fuente natural de agua y no vuelve con el mismo registro de calidad o cantidad a su punto de origen, un ejemplo típico sería en el rubro de la agricultura, al momento de usarse en el riego. [13]

Otro concepto que se maneja, es el que menciona la FAO, donde señala que uso consuntivo es aquella masa de agua que se toma de una fuente de origen para ser destinado a un sector económico (tal es el caso de las industrias, consumo doméstico y fundamentalmente agricultura), y que por dicho uso no regresa, ya que se genera una salida producto de la evaporación, su inclusión de los productos, su camino directo al mar, transpiración, etc. Agrega que una fracción del agua que se toma, pero que no se llega a consumir en los procesos se conoce como caudal de retorno. [17] El concepto de caudal de retorno, se describe en el apartado de *Caudal natural y caudal de retorno*.

Hablar de uso consuntivo abarca a su vez el abastecimiento humano, y las actividades relacionadas con la industria, minería, pecuaria, turismo y recreación. Pero estos últimos son ínfimos en contraste al sector dedicado a la agricultura. [6]

Gráfico 1 - Uso consuntivo del agua



Fuente: Usos del Agua, ANA 2014. Ver [6]

Por otro lado, decimos uso no consuntivo de agua, cuando tras usarse el volumen total del recurso hídrico retorna su fuente original, con los mismos parámetros cualitativos y en las mismas dimensiones cuantitativas, en síntesis: no contaminada. [13]

Actividades ilustrativas de este concepto, tenemos en primera instancia a la producción de la energía eléctrica. Además, hay unas formas de transporte acuático, como por ejemplo en el uso recreativo, ya que se mantiene el recurso hídrico en el lago o río, mientras se puede hacer paseos a canoa, bote y demás. [6]

Gráfico 2 - Uso no consuntivo del agua



Fuente: Usos del Agua, ANA 2014. Ver [6]

Escasez de agua y estrés hídrico

Escasez de agua, es un concepto que envuelve a la brecha existente entre la demanda de agua dulce y el suministro, dentro de un espacio geográfico (nación, provincia, cuenca hidrográfica, punto de origen de la captación, etc.), teniendo en cuenta el contexto propio de cada entidad o institución (coste del recurso hídrico para su potabilización y los precios finales que recibe el consumidor) y las tecnologías de sus instalaciones. Esto se agrava si el volumen de agua disponible para ser extraído representa un costo elevado. [17]

La agricultura es el rubro donde la escasez de agua tiene un gran impacto. Actualmente, este sector, toma del agua dulce un 70% y según algunos estudios es el responsable del 90% del uso consuntivo, producto de la demanda alimenticia a causa del crecimiento demográfico mundial. [Ídem].

Actualmente, para medir la escasez de agua, por recomendación de la FAO, se usan valores para cuantificar el agua renovable per cápita, aquellas naciones que poseen dentro de sus cuencas con un volumen de entre 500 a 1000 m³/hab de agua anualmente se ubican en el parámetro de absoluta escasez de agua, y los que están dentro de 1000 - 1700 m³/hab de agua padecen de forma indiscutible de estrés hídrico [Ídem].

Tabla 1 - Clasificación para medir el estrés hídrico

Agua dulce renovable anual (m³ / pers. año)	Nivel de estrés hídrico
< 500	Absoluta escasez de agua
500 – 1 000	Escasez crónica de agua
1 000 – 1 7000	Estrés hídrico
> 1 700	Estrés hídrico local o esporádica

Fuente: Tomado de FAO, 2013. Ver [17]

Según lo señalado en el párrafo anterior, podemos señalar que la costa peruana se ubica en el primer rango, es decir en es un país con escasez de agua. No obstante, hay regiones dentro del territorio nacional que presentan una situación de estrés hídrico y otras donde transitan en los límites inferiores de este nivel. Las tres razones fundamentales por las que se considera que hay presencia de carestía de agua son:

1. La desaparición física de agua, siendo incapaz de cubrir la demanda.

2. Las tecnologías poco desarrolladas de las instalaciones que se enfocan en su captación, acumulación, distribución urbana.
3. La disponibilidad para los usuarios; agregando la deficiente pericia de las entidades competentes de distribuir el servicio de agua potable. [Ídem]

En el mundo académico a veces se confunden los conceptos, pues se tiene la idea de que hacen referencia a lo mismo. Sin embargo, veamos el sentido de otro concepto que proporciona la FAO, se denomina estrés hídrico a cada una de las consecuencias que trae consigo carestía de agua, tal como severas limitaciones constantes en su utilización, un incremento en la competitividad y problemas que enfrentan a los usuarios (cabe aclarar que estas tensiones siempre tienden a aumentar conforme el tiempo pase y no se presente una solución definitiva), una baja calidad y confiabilidad del abastecimiento; en el sector agrícola aparecen pérdidas de los cultivos generando así una desestabilización alimentaria. En general, se puede decir que estrés hídrico se usa para englobar un vasto grupo de condiciones.

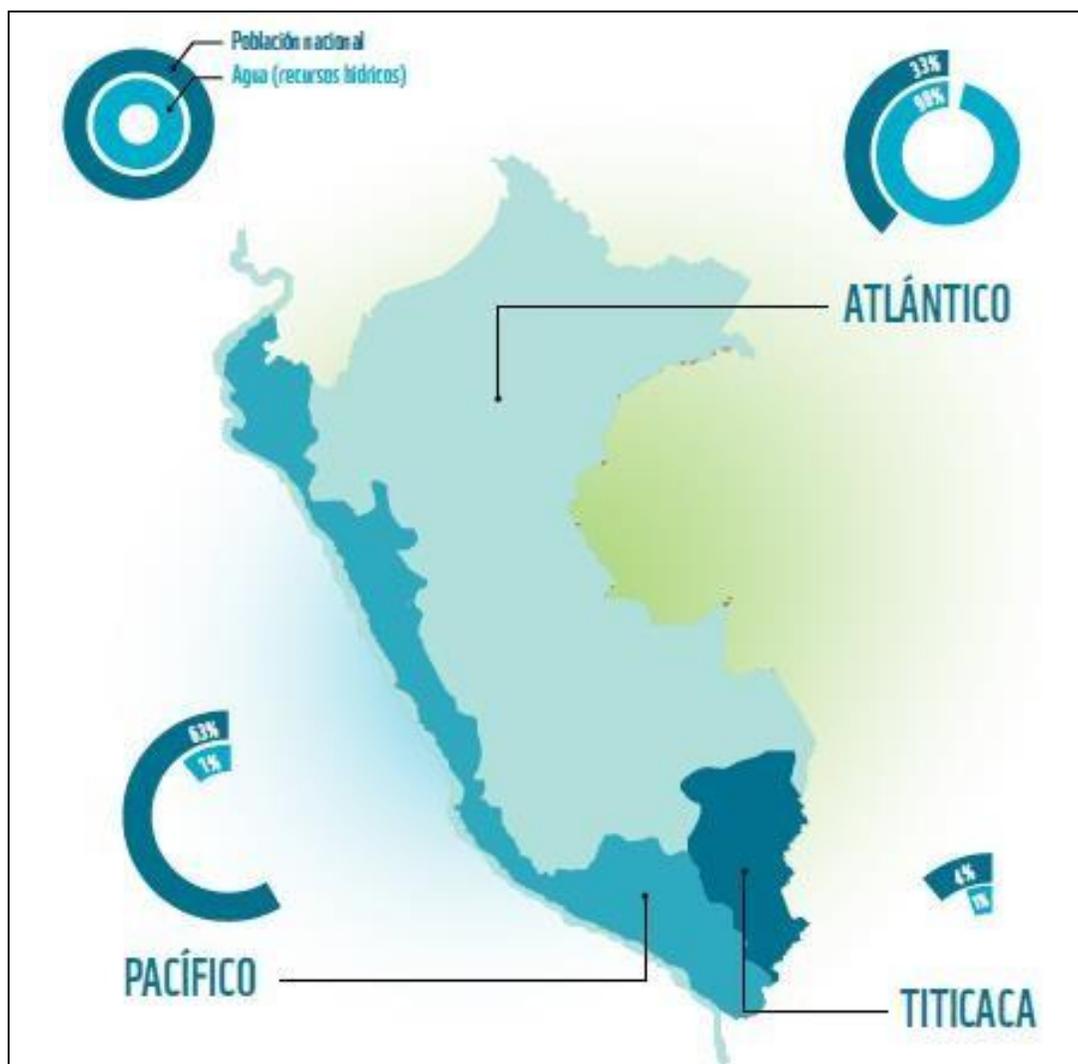
Estas causas que se mencionan, pueden ser el detrimento del recurso hídrico en ámbitos cuantitativos (explotación descontrolada de mantos acuíferos, la desaparición de los ríos) y cualitativos (eutrofización, contaminación, intromisión salina, etc.) [13]

Podemos ahora afirmar, que cuando la HH supera a la resta resultante de *caudal natural* y *caudal ecológico* (los conceptos de estos términos se presentan posteriormente en un apartado), la región estudiada sufre de estrés hídrico. Este punto ocurre discontinuamente, por efecto de las cambiantes cantidades de volúmenes de agua que llegan en cada periodo del año. Por consiguiente, aparecen los denominados *hot spots*, los cuales son puntos críticos donde es necesario cortar la utilización del agua en algunas temporadas producto a que se superan los límites. Estos hot spots pueden presentarse con base a 2 juicios:

- Cuando la HH, sea de importancia en el espacio y tiempo de su evaluación.
- Hayan evidencias de escasez de agua o contaminación del lugar, en el tiempo de su evaluación.

En conclusión, podemos decir que hay provincias en el territorio nacional, como la zona andina que sufre estrés hídrico, mientras que la costa peruana mantiene una escasez de agua que se evidencia por la sobrepoblación que alberga actividades de gran impacto en las fuentes de agua que no llegan a ser suficientes.

Gráfico 3 - Distribución del agua según las vertientes peruanas



Fuente: WWF Perú y ANA 2013. Ver [9]

Uso y consumo de agua

El término uso se debe entender como la masa completa de agua que hace el recorrido partiendo del punto de agua (abrir el grifo) hasta que se corta (cerrar el grifo) el suministro del recurso hídrico. A comparación de consumo, el cual debe entenderse como la disminución de volumen de agua superficial existente, en un área determinada de donde se toma el recurso hídrico. Esta disminución, es consecuencia de la evaporación del agua, también en casos donde una cantidad de agua pasa de una cuenca a otra o cuando se incluye dentro de un producto. [1].

Estos términos no indican que el agua se desvanece, lo cual no es cierto puesto que en la naturaleza se mantiene dentro del ciclo hidrológico, es un hecho que ni se crea ni se destruye, se encuentra en un constante cambio de estado y puede estar en cualquiera de los tres (líquido, gaseoso o sólido). [17] Para mayor explicación, ver el apartado de *Ciclo Hidrológico*.

En este informe investigativo, consumo se relaciona con la evaporación del agua utilizada (esto es agua despilfarrada o detenida en algunos seres vivos, como en los cuerpos de las plantas, manos y cabello de los seres vivos, u en objetos, como en pisos, productos, bienes, entre otros) o que se debe incluir dentro de los productos como parte de su proceso de fabricación.

El consumo de agua es el principal punto de análisis para la HH. Como ya vimos, el consumo nace en el instante que se genera su uso. A modo de mayor explicación gráfica, se presenta el gráfico 4, donde se indica que el agua se utiliza o usa, después surge la distinción si dicho uso llega a ser un consumo o una salida.

Gráfico 4 - Distinción entre el uso y el consumo de agua



Fuente: Huella hídrica del campus PUCP. Ver [3]

Huella Hídrica Directa e Indirecta

Dentro del concepto de consumo de agua se aprecia dos divisiones muy marcadas: por un lado, la HH Directa la cual viene a ser el consumo de agua que se puede apreciar a simple vista y la HH Indirecta. La Directa, se hace evidente al ver el agua que sale del grifo y que generalmente se emplea en el aseo personal, limpieza de ambientes, regar, lavar, cocinar o sencillamente beberla. El agua que se descarga tras usar los servicios higiénicos o la que se emplea en el riego de jardines, también forma parte de HH directa.

Un concepto que nos proporciona Lázaro [18] es que la HH directa viene a ser aquella masa de agua empleada durante cada uno de los procesos de fabricación de un insumo o la que se contamina producto de estos mismos procesos.

Veamos ahora el concepto de la HH Indirecta, la cual llega a ser de forma evidente mucho mayor que su contraparte dentro del plano de consumo de agua, y no se es consciente de ello porque no es visible como la HH Directa. Este concepto, aparece cuando se adquiere un alimento o vestimenta, por ejemplo, puesto que para su elaboración y/o producción fue requisito incluir una cantidad ingente de agua. [3] En el 2012, se pudo indicar en México que la HH Directa abarca un 4% del consumo de agua de toda la población mundial, frente a la abrupta cantidad del 96% que representa la HH Indirecta. [13]

Agua virtual y Huella Hídrica

Se define al AV como aquel volumen que se requiere, para elaborar un producto determinado, en cada uno de sus procesos que intervienen en su fabricación. [13]

Por otro lado, la HH es un instrumento usado para cuantificar toda el agua que empleamos (de forma directa e indirecta) las personas en cada una de nuestras actividades cotidianas; a manera de ejemplo tenemos el agua que empleamos para lavar y cocinar nuestros alimentos, en cada una de las etapas de fabricación de productos y en la producción de energía (usualmente la eléctrica), de igual forma el agua residual, y por último el agua limpia que se contamina como producto de los procesos de las empresas. La HH permite evaluar de forma cuantitativa el volumen de agua (ya sea en litros o en m³) que utilizan las personas, una población, una nación o toda la humanidad del globo terráqueo. [Ídem]

Tabla 2 - Cantidad de AV que se necesita para usuales productos

Producto	Mililitros o Gramos	Agua Virtual (litros)
Playera de algodón	250 g	2,000
Hoja de papel A4	80g/m ²	10
Microchip	2g	32
Par de zapatos	piel bovina	8,000
Taza de café	125 ml	140
Vaso de jugo de naranja	200 ml	170
Vaso de leche	200 ml	200
Huevo	40 g	135
Copa de vino	125 ml	120
Vaso de cerveza	250 ml	75
Jitomate	70 g	13
Hamburguesa	150 g	2,400

Fuente: Hoekstra, A. y Chapagain, 2006.

Fuente: Adaptado por AgroDer. Ver [13]

Componentes de huella hídrica

La HH mide de forma casi exacta el volumen de agua necesario, como ya se vio indirecta y directamente, que se requiere para dar un servicio (energía eléctrica) o para elaborar un insumo (alimentos o productos industriales). El término fue acuñado por Arjen Hoekstra en el año 2002 y generó un efecto dominó en círculos académicos llegando a generarse investigaciones relacionadas al tema, y ser recopilados y promocionados por la WFN. La HH, de acuerdo a la WFN, resulta ser un parámetro multidimensional que se construye de acuerdo a 3 conceptos complementarios pero diferentes entre sí [19]:

Huella Hídrica Verde: es aquella masa de agua de precipitaciones que se utiliza en un proceso productivo [1]. Es la precipitación que cae en la parte continental la cual no forma parte de la escorrentía, ni se adhiere a las aguas subterráneas, pues bien llega a almacenarse en el terreno o se mantiene de forma eventual sobre la vegetación; aunque luego esta agua pasa a convertirse en evaporación y/o transpiración de las áreas verdes. Esta agua, ayuda al desarrollo vital de los cultivos. Es importante indicar que el agua verde absorbida no será eterna dentro de los cultivos, es decir que va a sufrir evaporación, y que esta agua tampoco debe ser en exceso o defecto puesto

que cada cultivo necesita una determinada cantidad. Además, el agua verde es variable en el tiempo ya que no todos los meses del año traen consigo la misma intensidad de precipitaciones. [20]

Se debe tener en claro que es diferente a la interceptación, la cual es un proceso del balance hidrológico, el cual se refiere al agua que no llega al suelo, sino que se queda de forma temporal en las copas de los árboles o techos de viviendas.

Huella Hídrica Azul: cuantifica el volumen de agua que llega, generalmente de forma visible, desde un punto de captación superficial (lagos, lagunas, ríos, etc.) o subterránea (acuíferos, pozos, etc.). Dentro de este componente aparece la evaporación, también cuando se extrae agua de un subcuenca y es llevada a otra o desemboca en el mar. Muchas veces representa una disminución del volumen de agua disponible para los consumidores de esa cuenca. Si no se respeta un caudal ecológico o su sostenibilidad ambiental se llega a correr el riesgo de depredar la fuente inicial. [18]

Cuando se busca analizar el agua azul, y si el alcance de la investigación es de una escala mayúscula, (se recomienda ver los niveles para calcular la HH, cuya representación está en la tabla 3) es posible clasificar el origen del agua extraída. La división tradicional, es entre agua superficial, subterránea que tiene movimiento (renovable) y la subterránea fósil. O también, podemos hacerlo en colores, siendo azul claro, azul oscuro o negro. En la práctica resulta complejo esta distinción, por la insuficiencia de datos. [1]

El agua recolectada de las lluvias, puede ser confundido de tomar como verde o azul, pero la WFN, recomienda cuantificarla como azul, ya que se hará un uso consuntivo captado de una futura esorrentía. Ahora si el destino o fin de la recolección es aumentar la productividad de un cultivo, se trabaja como HH verde. [Ídem]

Huella Hídrica Gris: no es un volumen exacto como sus homólogos, sino un teórico, que ayuda a medir la masa de agua necesaria para que los contaminantes resultantes de toda la actividad antrópica (doméstica, industrial, etc.) sean disueltos a un límite permitido (o superior) normados por los ECA. Cuando el volumen de agua gris supera al volumen del caudal natural de un río u otro cuerpo de agua, significa que la capacidad natural de asimilar es insuficiente para toda la carga contaminante, trayendo como consecuencia la rápida disminución de la calidad del recurso hídrico y afectando a los ecosistemas. [18]

La HH gris, parte de una idea antigua, que consistía en introducir un volumen de agua para diluir la masa contaminante. Falkenmark y Lindh en 1974, proponen una ratio de dilución, de 10-50 veces el caudal de las aguas residuales. Postel, en 1996, con otros autores, proponen que sea 28 l/s por cada millar de personas. El inventor de la HH, Hoekstra, propone en 2008 el término de HH gris, donde demuestra que es más exacto calcular la carga contaminada entre la resta de la concentración normada ambientalmente menos la natural (ver ecuación 4). Debemos entender que el fin del agua gris, no es diluir contaminantes sino reducir su emisión, por lo que mientras más se acerque a 0, será mejor. [1]

La concentración natural en una zona de captación sin intervención antrópica, se estima que $C_{nat} = 0$, sin embargo, esto no es real, porque nunca el contaminante estará nulo. Es importante diferenciar la concentración natural de la real, y es que la segunda presenta una capacidad de asimilación restante, ya que aguas arriba recibe algún efluente contaminado, esto significa que la capacidad de asimilación siempre será variable en el tiempo. [Ídem]

Los ECA pueden evaluar el agua potable, la calidad de agua para riego o normar los efluentes. Para un contaminante en específico, pueden variar los parámetros entre una región de otra, y esto depende muchas veces de la concentración natural de esa zona. En aguas subterráneas las normas son orientadas a su potabilización, mientras que aguas superficiales se busca el equilibrio ecológico. [Ídem]

Si el agua gris, resulta un valor mayor a 0, no siempre significa una contaminación que atenta contra las normas ambientales, sino también que la asimilación del cuerpo de agua ya se comenzó a reducir. Si el agua gris, resulta igual al caudal ecológico, significa que estamos igualando a lo que indica la norma. Es importante mencionar que este concepto se relaciona con la *carga crítica*, la cual viene a aparecer cuando la función de sumidero del cuerpo receptor ya fue agotada. [Ídem]

Puntos exactos de contaminación

Para calcular la concentración de un contaminante dentro de un efluente, es necesario hacer su medición mediante análisis de laboratorio, para así conocer la carga del agua residual que se vierte. En la ecuación 4, siempre resulta mayor la cantidad contaminada $E_{fl} \times C_{efl}$ frente a la cantidad

extraída $Extr \times C_{real}$, como se mencionó puede resultar positiva la resta, pero de resultar un valor menor a 0, no significa que sea un impacto positivo. [1]

Tratamiento de aguas residuales

Muchas veces es necesario un tratamiento de los efluentes antes de ser vertidas en un cuerpo de agua. Siendo más analíticos, el proceso de depuración, en espacios abiertos tendrá una pequeña HH azul, porque hay evaporación de las aguas. [1]

Puede también presentarse una contaminación térmica, aquí el enfoque deja de ser la concentración de contaminantes sino la temperatura de afluente, efluente, normada y natural. Un agua puede aumentar como máximo un valor de 3°C, para ser aceptable. [Ídem]

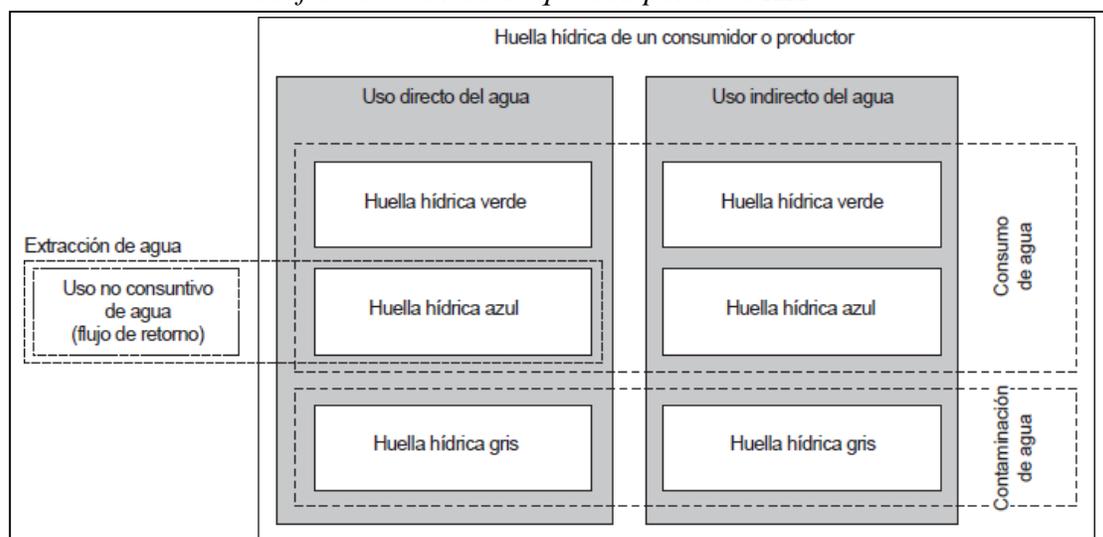
Perspectiva temporal y contaminantes múltiples

En la realidad, no existe un único contaminante en los afluentes, por ello la HH gris, se evalúa con el contaminante más crítico, esto se traduce numéricamente en un volumen más grande capaz de diluir; aunque se puede evaluar considerado cada uno de los contaminantes. Pero para una visión general basta con el más crítico o importante. [1]

Es importante mencionar que el agua gris, se mide cuando hay intervención antrópica, y no en las cargas existentes o reales dentro de un río, y es que esta calidad cambia constantemente y se autorregula con los procesos naturales. Como se ha podido constatar la HH gris, necesita de los parámetros ambientales normados, esto es favorable porque estas normas ambientales han sido estudiadas evaluando los efectos de los contaminantes en los medios naturales como su posible influencia con otros contaminantes. [Ídem]

La HH resulta pues, la adición de los tres componentes vistos (HH verde, HH azul y HH gris) que se necesita para elaborar un producto. [13].

Gráfico 5 - Variables que componen la HH



Fuente: Manual de HH. Ver [1]

Relación entre HH azul y HH gris

En el apartado *Componentes de la HH*, mencionamos que la HH azul es el agua visible que nace de una zona de captación. Pues, también podemos agregar que la HH azul es el uso consuntivo de la escorrentía, en otras palabras, es tomar una parte del agua, que no regresa a su cuenca fluvial de origen en forma de caudal de retorno. [1]

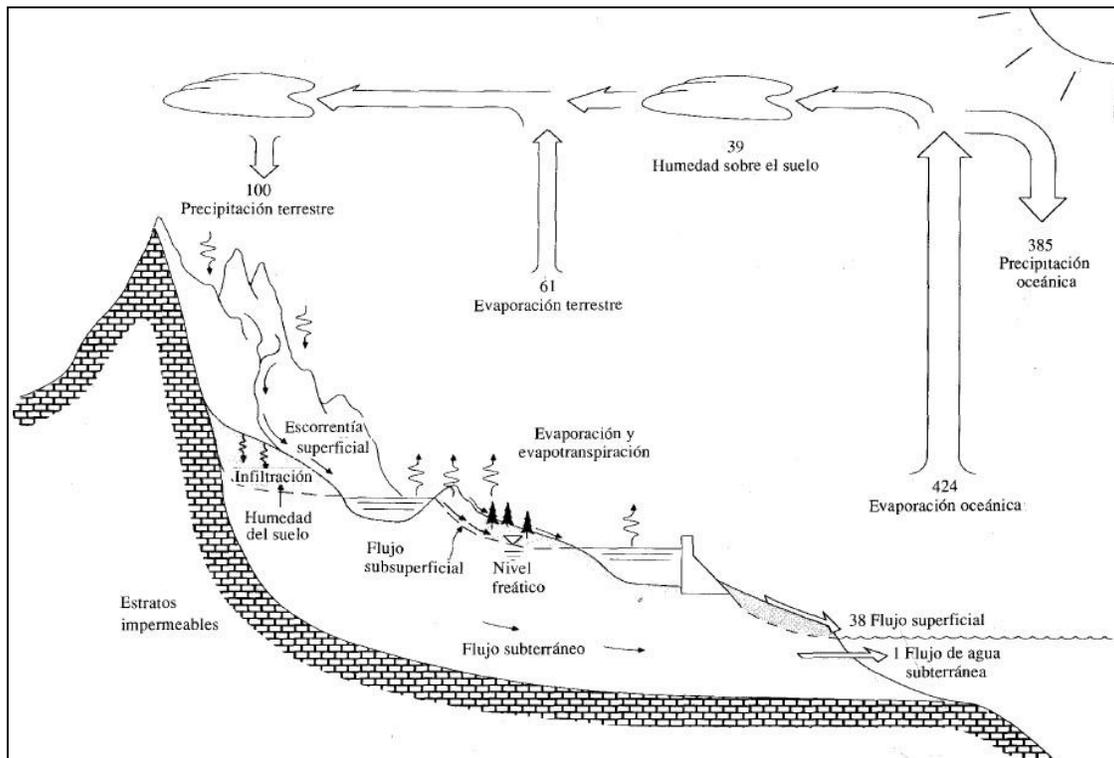
Desde la antigüedad, la humanidad le ha dado un uso dual a la escorrentía de agua dulce, primero como fuente aprovechable, y como desagüe para almacenar sus contaminantes. Hoy en día, existen parámetros máximos (ECA), que limitan el uso de los caudales de escorrentía como suministro (con su límite de extracción) o como desagüe (con varios límites para la capacidad de albergar los contaminantes). [Ídem]

En el apartado citado, también definimos la HH gris, siendo un volumen ideal requerido capaz de salvaguardar que la calidad del recurso hídrico supere a los parámetros normados. Al final, podemos decir que, al tener como factor común al volumen cuando nos referimos al consumo de agua, se puede hacer una comparación entre el uso de la escorrentía como suministro (HH azul) versus el uso como desagüe (HH gris). [Ídem]

Ciclo Hidrológico e importancia de la HH

El ciclo hidrológico es un concepto fundamental estudiado por la Hidrología, es muy irregular, por ello se han buscado maneras de calcular volúmenes de agua, mediante métodos que se han ido perfeccionando a través de los años, desde 1800 hasta hoy en día, con el fin de evaluar si el suministro disponible podía satisfacer las diversas actividades y también para predecir desastres naturales anómalos, por ejemplo, el fenómeno del niño.

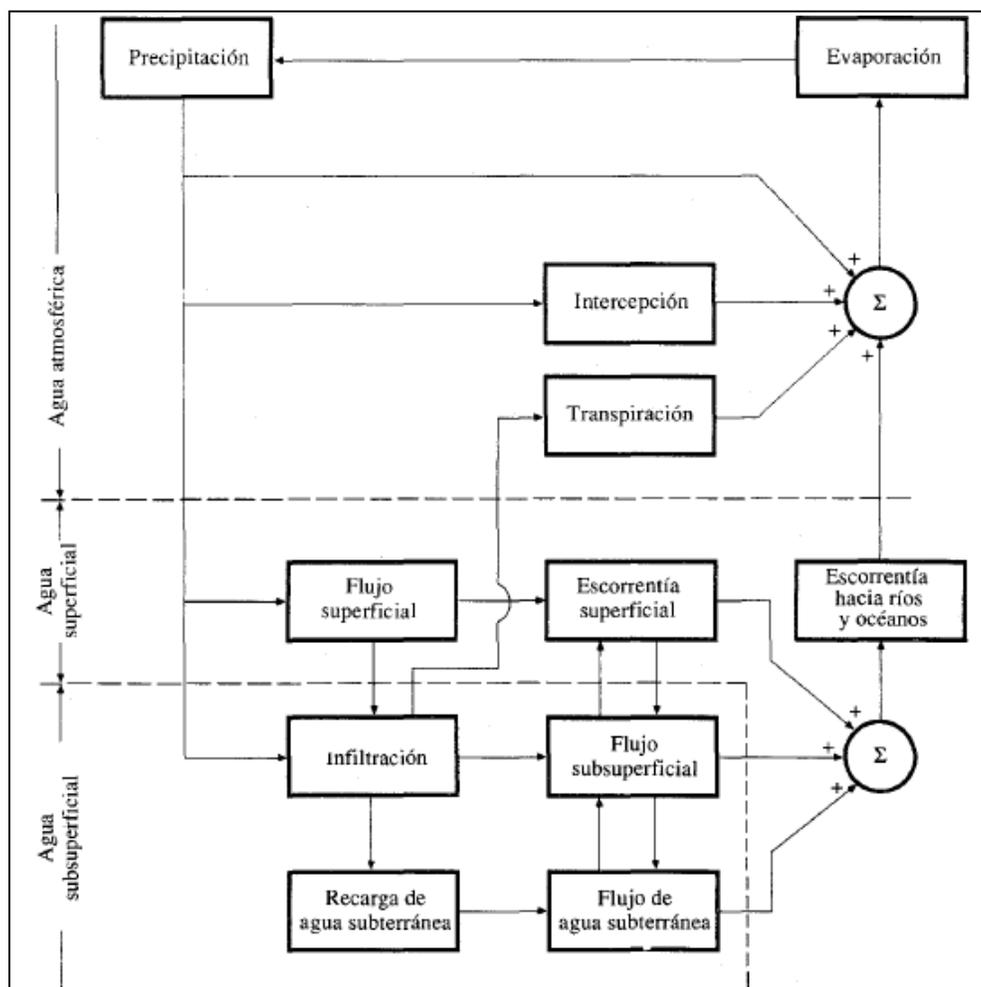
Ilustración 1 - Ciclo hidrológico en la naturaleza



Fuente: Hidrología Aplicada. Ven te Chow. Ver [21]

En la ilustración 1, se representa cómo las reservas hídricas del planeta siempre se encuentran en constante flujo y circulación. Se puede decir que inicia cuando la energía solar y la eólica tocan las aguas superficiales y producen su *evaporación*. También, las áreas verdes toman agua del terreno, luego por medio de sus estomas (células que se encuentran en las hojas), realizan un proceso conocido como *transpiración* y así liberan vapor de agua a la atmósfera. En la literatura la suma de estos términos se denomina como *evapotranspiración*, [1] puesto que ocurren al mismo y no es fácil distinguirlos. [22]

Gráfico 6 - Ciclo hidrológico con sus procesos por bloques



Fuente: Hidrología Aplicada. Ven te Chow. Ver [21]

El volumen en un cuerpo de agua crece con las precipitaciones, pero disminuye con la evapotranspiración, y el agua presente en la atmósfera, como vapor, crece con la evapotranspiración. El vapor de agua, es trasladado por complejas corrientes eólicas para luego formar parte de la hidrosfera. Esto significa que el agua evaporada de una cuenca no retorna, al 100% a su cuenca de origen, sino retorna en forma pluvial a otros sitios. [Ídem]

Está comprobado que el volumen producto de la evapotranspiración es menor al volumen de las precipitaciones (estas diferencias se notan en mediciones anuales), por ello en las fuentes continentales el agua forma ríos que desembocan en los océanos, este proceso se conoce como *escorrentía superficial*. Esta escorrentía puede ser mayormente por flujo superficial (afluentes) y en un menor porcentaje por flujo subterráneo. Podemos concluir que “en la tierra hay exceso de

precipitación, y en el océano tiene exceso de evaporación”, logrando así que el agua en el planeta se renueve y esté más o menos equilibrado.

El agua dulce es vital para el hombre, por su vasta cantidad de actividades no se puede sustituir por el agua del mar. Aunque actualmente existen métodos para desalinizar, esto conlleva una gran inversión económica y energética, haciendo que su inviabilidad sea muy alta. Es necesario agregar que muchas veces el agua debe ser llevado a lugares con cotas altas, por ende, su transporte agrega una complejidad extra. [Ídem]

Podemos evidenciar que dependemos enteramente del agua dulce, pero la oferta de agua es limitada. Aquí, es donde encontramos que la cantidad de agua que requiere toda la población no puede sobrepasar al flujo anual de agua que se reponen. Bajo este contexto, nos preguntamos qué cantidad de este recurso hídrico es aprovechable, dentro de un lapso de tiempo en el año y, de ese volumen, cuál es lo que el ser humano emplea a lo largo de ese mismo lapso de tiempo. La HH, nos ayuda a entender la cantidad de agua que el hombre hace suyo en unidades volumétricas. [Ídem]

Por ende, la HH tiene una gran importancia, y es que comparar la HH de la humanidad con respecto al agua dulce disponible en el planeta, representa un gran análisis de sostenibilidad de la HH.

Evaluación de la huella hídrica

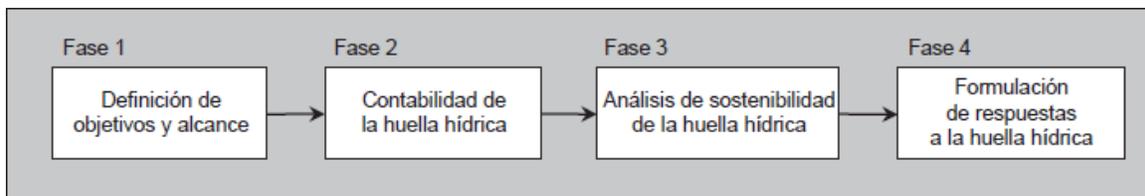
Evaluar la HH, tiene como objetivo conocer y cuantificar el impacto (directo e indirecto) en el agua de las actividades antrópicas, esto conlleva a estudiar las principales problemáticas actuales como la contaminación y los inconvenientes hídricos mencionados en el apartado *Escasez de agua y estrés hídrico*, con el fin de generar propuestas que hagan que todos estos procesos sean cada vez más sostenibles desde una perspectiva hídrica (ver apartado *Sostenibilidad de la HH*). [1]

El centro de interés dependerá del área que se desee analizar. Por ejemplo, podría ser la HH de un proceso específico, a lo largo de toda una cadena productiva, o también la HH de un insumo final. También la HH de un individuo o conjunto de ellos.

También se busca con la evaluación de la HH, que toda intervención humana favorezca a la utilización sostenible del recurso hídrico. En conclusión, la HH “no dice lo que hay que hacer, más bien ayuda a entender lo que se puede hacer”. [Ídem]

Una vez aclarados los puntos a evaluar, este apartado entra a formar parte de la fase 01 de la HH. Para evaluar la HH, se requiere seguir estas cuatro diferentes etapas:

Gráfico 7 - Cuatro fases diferentes de la evaluación de la HH



Fuente: Manual de HH. Ver [1]

Cuantificación de la huella hídrica

Existen tres niveles de clasificación para medir la HH, lo cual sirve para ver los alcances que tendrá la evaluación y como una guía a tomar en cuenta antes de empezar con el registro de datos y la consulta de literatura.

En esta investigación de pregrado, nos ubicamos en el Nivel C, puesto que se requieren datos más rigurosos y complejos de obtener para un solo estudiante de pregrado, y conseguir escalar a los siguientes niveles de contabilidad de la HH. Según las 04 fases de la evaluación de la HH, este punto constituye la fase 02.

Tabla 3 - Niveles para calcular la HH

	Resolución espacial	Resolución temporal	Fuente de los datos necesarios sobre el uso del agua	Uso típico de la contabilidad
Nivel A	Media global	Anual	Literatura científica disponible sobre el consumo y la contaminación típicos del agua por producto o proceso	Concienciación; identificación aproximada de los componentes que más contribuyen a la huella hídrica total; desarrollo de proyecciones globales sobre el consumo de agua
Nivel B	Nacional, regional o de la zona de captación	Anual o mensual	Igual que la anterior, pero usando datos específicos a nivel nacional, regional o de la zona de captación	Identificación aproximada de la dispersión y la variabilidad espacial; la base de conocimiento para la identificación de puntos críticos y decisiones sobre la asignación del agua
Nivel C	Pequeña zona de captación o terreno específico	Mensual o diario	Datos empíricos o (si no se pudieran medir directamente) las mejores estimaciones sobre consumo y contaminación de agua especificados por lugar geográfico y durante el año	Base de conocimiento para llevar a cabo un análisis de sostenibilidad de la huella hídrica; formulación de una estrategia para reducir las huellas hídricas y sus impactos locales asociados.

Nota: los tres niveles se pueden diferenciar para todas las formas de contabilidad de la huella hídrica (por ejemplo, la contabilidad de producto, nacional, corporativa).

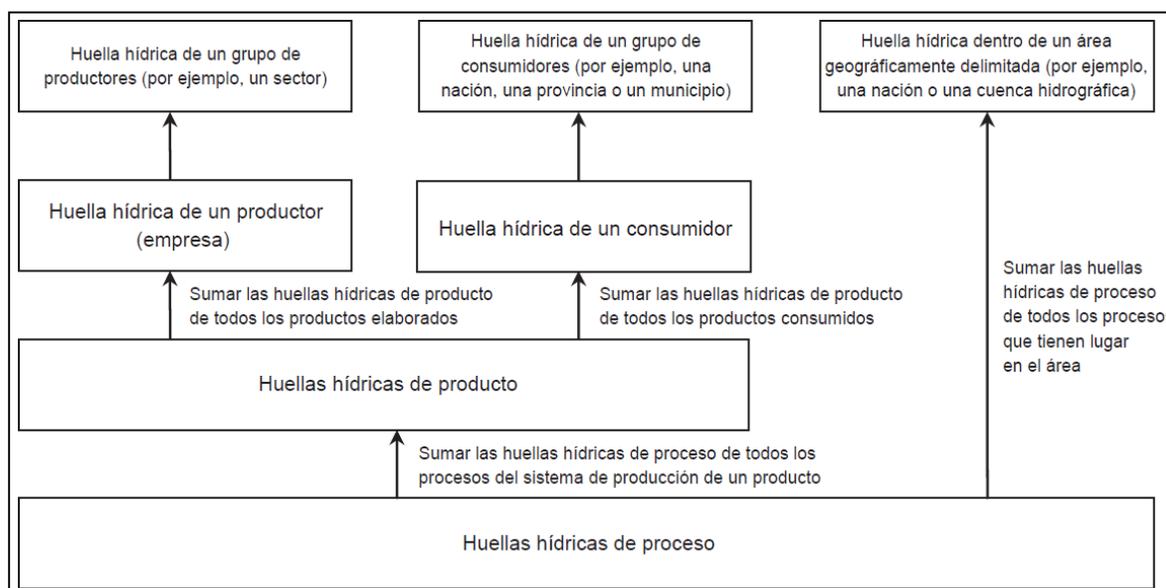
Fuente: Manual de HH. Ver [1]

No resulta complejo si tenemos un punto de partida para calcular la HH, la cual resulta ser evaluar un proceso aislado. Partiendo así con las siguientes relaciones:

- La HH de un producto = sumatoria de las HH de todos los procesos que se requirieron para fabricar un bien o servicio.
- La HH de un consumidor = sumatoria de las HH de todos los insumos utilizados por un individuo.
- La HH de una provincia o región = sumatoria de las HH de todos los habitantes de dicho municipio.
- La HH de una empresa o productor = sumatoria de las HH de todos los insumos que elabora o los servicios que oferta.

- La HH de un área geográfica, nación o cuenca = sumatoria de las HH de todos los procesos que se realizan en dicha área.
- La HH de la humanidad = sumatoria de las HH de todos los bienes y servicios que emplean los seres humanos, más la sumatoria de las HH de todos los volúmenes de agua capaces de asimilar los contaminantes.

Ilustración 2 -Relación de las HH, teniendo a un proceso como base



Fuente: Manual de HH. Ver [1]

El Manual de Evaluación de HH, ver [20], hace mención de que es posible cuantificar la:

A. HH de un proceso.

Huella Verde

Ecuación 1 - Cálculo de huella verde

$$HH_{proc, verde} = \text{evaporación de agua verde} + \text{incorporación de agua verde} \quad [\text{volumen/tiempo}]$$

Fuente: Tomado del Manual de HH. Ver [1]

La WFN hace uso del método de *Precipitación Efectiva* del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA: United States Department of Agriculture). Donde se indica que con los valores recolectados se halla la precipitación efectiva

(el cual es el eje del agua verde), haciendo uso de 2 fórmulas, aplicadas según la precipitación de cada zona de estudio:

Ecuación 2 - Precipitación efectiva según USDA SCS

$$Pe = Pt (125 - 0.2 Pt / 125) \text{ para } Pt < 250 \text{ mm}$$

$$Pe = 125 + 0.1 Pt \text{ para } Pt > 250 \text{ mm}$$

Fuente: Tomado de Cálculo de la Precipitación efectiva. Ver [23]

Donde:

Pe = precipitación efectiva calculada, en mm (agua absorbida)

Pt = precipitación, en mm (recolectada de una estación del SENAMHI)

La precipitación efectiva es un concepto referido al agua útil, que absorbe una planta para su crecimiento. La precipitación no siempre coincidirá con el NAC (necesidad de agua de cultivo), puede presentarse por defecto o exceso en algún período del año.

Huella Azul

Ecuación 3 - Cálculo de huella azul

La huella hídrica azul en una etapa del proceso se calcula de la siguiente manera:

$$HH_{proc, azul} = \text{evaporación de agua azul} + \text{incorporación de agua azul} + \text{flujo de retorno perdido} \quad [\text{volumen/tiempo}]$$

Fuente: Tomado del Manual de HH. Ver [1]

Se debe calcular la ET en condiciones ideales (*ETc*), lo cual es similar a las necesidades de agua del cultivo (NAC), como se verá más adelante en el apartado de *Evapotranspiración*, otros autores lo conocen como el Requerimiento de Agua de Cultivo, CWR, por sus siglas en inglés: Crop Water Requirements, sirve para hallar el volumen de agua que requiere una planta para su desarrollo, considerando su clima y cualidades propias. La fórmula usada es la “Fórmula completa para calcular la ETo” (ecuación 28). La Incorporación de agua, se refiere al volumen dentro de un producto, un ejemplo serían las bebidas.

Huella Gris

Ecuación 4 - Cálculo de huella gris

$$HH_{proc,gris} = \frac{L}{c_{m\acute{a}x} - c_{nat}} = \frac{E_{efl} \times c_{efl} - E_{extr} \times c_{real}}{c_{m\acute{a}x} - c_{nat}}$$

Fuente: Tomado del Manual de HH. Ver [1]

De donde se desprende:

- **Efl** = es el volumen del efluente. Se encuentra tras sumar todos los efluentes obtenidos dentro de la HH azul. Este caudal se vierte directamente a la red pública la cual, siempre se recomienda pasar un proceso de dilución de sus contaminantes antes de verterse a un cuerpo receptor.
- **C_{efl}** = es la concentración del contaminante elegido (DBO) dentro del efluente, antes de ser descargado en algún volumen de agua. El efluente resultante siempre es muy peligroso para las fuentes de agua, por ello tras pasar por todo el proceso, debe ser lo más inocuo posible, surgiendo la necesidad de un tratamiento, es así que el contaminante se debe tomar posterior a las PTAR.
- **Extr** = es el volumen del afluente. El cual se encuentra dentro de la HH azul. Usualmente en el consumo humano, se extrae aguas potabilizadas.
- **C_{real}** = es la concentración real del contaminante elegido (DBO) dentro del afluente. Como se describió es la capacidad restante tras la intervención antrópica. Este parámetro proviene de una Planta de Tratamiento de Agua o de la Empresa competente que abastece el servicio.
- **C_{máx}** = este valor está indicado dentro de la norma nacional de cada país para el contaminante considerado (DBO). En Perú, lo regula el MINAM.
- **C_{nat}** = es la concentración natural en la zona de captación, del parámetro estudiado. Aguas arriba de alguna intervención humana. En Perú, lo regula el MINSA.

B. HH de un producto.

La HH de un insumo se expresa en unidades de volumen de agua por unidad del insumo, usualmente es m³/t o l/kg. En insumos finales producidos también se contabiliza la HH como m³/\$ americanos. Si nos referimos a alimentos con intervención química puede ser m³/kcal, o en el caso de energía eléctrica o combustibles m³/julios. [1]

Evaluar la HH de un insumo, requiere entender todo su proceso de producción, los cuales contienen etapas que pueden ser secuenciales o trabajarse a la par. Es necesario conocer las entradas que forman parte del producto, es decir su origen tanto en el tiempo (insumos cuya producción fue hace años) como en lugar (insumos traídos de otros países). Es recomendable calcular la HH de los insumos más elementales (donde inicia la producción), luego las etapas intermedias, y al final evaluar la de los productos finales. [Ídem]

Enfoque de suma de cadenas

Su aplicación es limitada a casos muy específicos. Esto no resulta ser real, porque los procesos de fabricación, no siempre tienen un producto final como resultado, por lo que se recomienda el siguiente esquema para calcular las etapas realizadas para elaborar más productos finales sin repetir una HH ya contabilizada. [1]

Ecuación 5 - HH de productos bajo enfoque simplificado

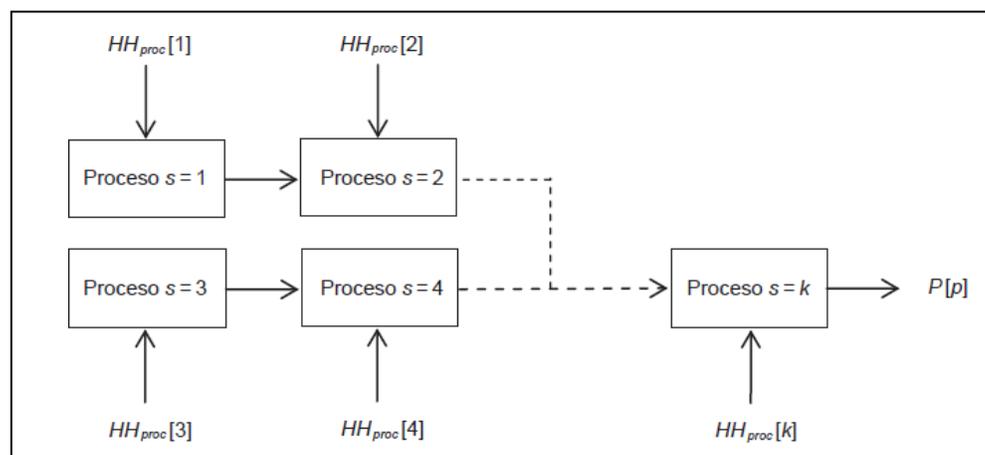
$$HH_{prod}[p] = \frac{\sum_{s=1}^k HH_{proc}[s]}{P[p]} \quad [\text{volumen/masa}]$$

donde:

$HH_{proc}[s]$ huella hídrica la etapa s del proceso (volumen/tiempo).
 $P[p]$ cantidad producida del producto p (masa/tiempo).

Fuente: Tomado del Manual de HH. Ver [1]

Ilustración 3 -Ejemplo de producción de un insumo “p” en “k” etapas



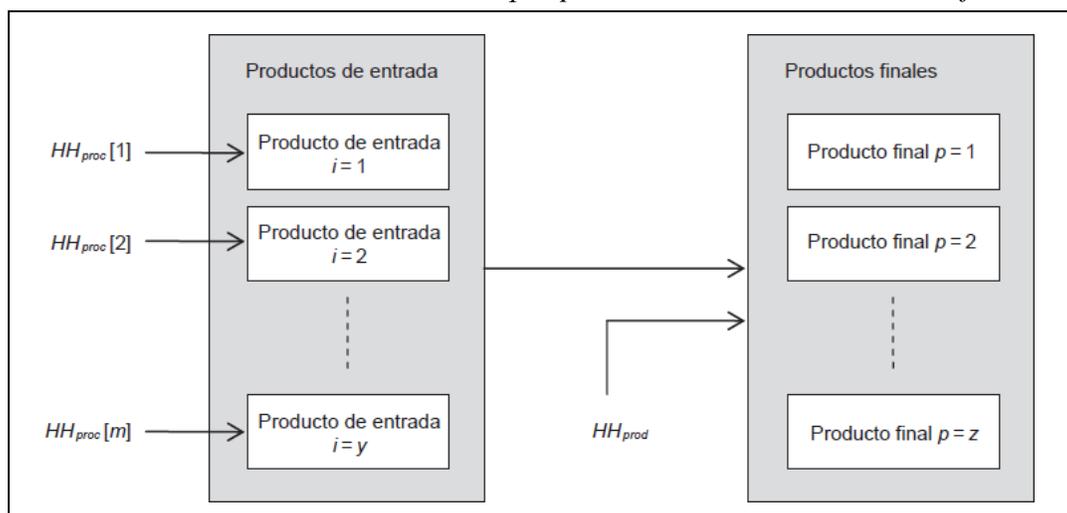
Fuente: Manual de HH. Ver [1]

Se observa que algunas fases se ejecutan a la par, y alguna continuación de otras. La HH del insumo final “p” resulta sumando todas las HH de las etapas detrás suyo.

Enfoque secuencial acumulativo

Es una forma más genérica. La ilustración 4, muestra un producto p , que se fabrica tras otros productos input, los cuales llevan un orden numérico desde 1 a y , se supone, además, su procesamiento en z insumos finales, contados de $p = 1$ a z . [1]

Ilustración 4 -Producción de un insumo “p”, productos de entrada e insumo final



Fuente: Manual de HH. Ver [1]

Durante el proceso de producción, puede haber agua, que interviene y se añade a las HH de los insumos input sumando su aporte hídrico. Se calcula mediante la fórmula: [1]

Ecuación 6 - HH de productos con un enfoque general

$$HH_{prod}[p] = (HH_{proc}[p] + \sum_{i=1}^y \frac{HH_{prod}[i]}{f_p[p, i]}) \times f_v[p] \quad [\text{volumen/masa}]$$

donde:

$HH_{prod}[p]$ huella hídrica (volumen/masa) del producto final p .

$HH_{prod}[i]$ huella hídrica del producto de entrada i .

$HH_{proc}[p]$ huella hídrica de proceso de la etapa del proceso que transforma los productos de entrada y en los productos finales z , expresados en uso de agua por unidad de producto procesado p (volumen/masa).

$f_p[p, i]$ fracción de producto.

$f_v[p]$ fracción de valor.

Fuente: Tomado del Manual de HH. Ver [1]

C. HH de un consumidor o grupo de consumidores.

Su HH se expresa en unidades de volumen de agua por tiempo (por ejemplo, m³/año), y resulta de la adición de la huella directa (consumo, cuidado de áreas verdes y agua contaminada, que es igual al que se produce en una vivienda) y la huella indirecta (uso del agua para obtener productos o servicios empleados por el consumidor):

Ecuación 7 - HH de un consumidor

$$HH_{cons} = HH_{cons.dir} + HH_{cons.indir} \quad [\text{volumen/masa}]$$

Fuente: Tomado del Manual de HH. Ver [1]

La huella indirecta se calcula multiplicando cada uno de los insumos empleados por el consumidor, por la HH de los mismos respectivamente:

Ecuación 8 - HH indirecta de un consumidor

$$HH_{cons.indir} = \sum_p (C[p] \times HH_{prod}^*[p]) \quad [\text{volumen/tiempo}]$$

$C[p]$ consumo de un producto p (unidades de producto/tiempo).

$HH_{prod}^*[p]$ huella hídrica de este producto (volumen de agua/unidad de producto).

Fuente: Tomado del Manual de HH. Ver [1]

En la presente tesis se hizo uso de este punto, para estudiar la HH que se genera en cada uno de los centros educativos, la metodología a usar se explica más adelante. Por ejemplo, en la indirecta se calcula multiplicando el número de productos consumidos por su equivalencia hídrica de ese mismo producto, usualmente no es fácil conseguir esta información.

D. HH dentro de un área geográficamente limitada.

La HH dentro de un área geográficamente delimitada se calcula como la suma de las HH de todos los procesos que requieren agua en la zona:

Ecuación 9 - HH de un área geográficamente limitada

$$HH_{\text{área}} = \sum_q HH_{\text{proc}} [q] \quad [\text{volumen/tiempo}]$$

$HH_{\text{proc}} [q]$ huella hídrica de un proceso q dentro de un área geográficamente delimitada.

Fuente: Tomado del Manual de HH. Ver [1]

En secciones anteriores se explica sobre el AV. Aquí para hacer un balance de AV de un área territorialmente delimitada, se consideran las importaciones netas de AV durante ese tiempo ($V_{i,net}$), lo cual se calcula restando las importaciones brutas de AV (V_i), menos la exportación bruta (V_e): $V_{i,net} = V_i - V_e$ [1]

Si la ecuación tiene por resultado un valor mayor a 0, significa que hay un ingreso de AV proveniente de áreas adyacentes, por el contrario, si el valor es menor que 0, estamos en un caso donde hay una pérdida de AV. El primer caso resulta provechoso en el sentido de que se ahorra agua en esa área; y el segundo caso es interesante analizar, porque ayuda a conocer la HH de las personas que viven fuera del área inicial. [Ídem]

E. HH de una nación.

Usualmente en la literatura, vemos que el consumo hídrico dentro de un país se enfoca a la extracción de agua, es decir la cantidad que se requiere de los cuerpos de agua para abastecer a su población, es decir el agua azul, sin evaluar el agua verde ni la gris. Sin embargo, es menester

indicar el agua utilizada en actividades domésticas y la empleada para exportar productos [1]. La HH de consumidores en una nación ($HH_{cons, nac}$), resulta pues así:

Ecuación 10 - HH de consumidores en un país

$$HH_{cons, nac} = HH_{cons, nac, int} + HH_{cons, nac, ext} \quad [\text{volumen/tiempo}]$$

Fuente: Tomado del Manual de HH. Ver [1]

La HH interna del consumo nacional ($HH_{cons, nac, int}$), abarca toda el agua utilizada para la producción de bienes y servicios consumidor por sus habitantes. Es la sumatoria de todas las HH dentro de una nación ($HH_{\acute{a}rea, nac}$) menos el AV exportada, esto se encuentra en los insumos producidos (donde se requirió agua) para uso doméstico ($V_{e, d}$): [Ídem]

Ecuación 11 - HH interna de consumidores en una nación

$$HH_{cons, nac, int} = HH_{\acute{a}rea, nac} - V_{e, d} \quad [\text{volumen/tiempo}]$$

Fuente: Tomado del Manual de HH. Ver [1]

La HH externa del consumo nacional ($HH_{cons, nac, ext}$), abarca toda el agua utilizada por los habitantes de otra nación para producir sus bienes y servicios. Resulta de la importación de AV del país (V_i), menos las exportaciones de AV a otros países, producto de la reexportación (exportación de bienes extranjeros en una nación, los cuales primero fueron importados) de productos importados ($V_{e, r}$): [Ídem]

Ecuación 12 - HH externa de consumidores en una nación

$$HH_{cons, nac, ext} = V_i - V_{e, r} \quad [\text{volumen/tiempo}]$$

Fuente: Tomado del Manual de HH. Ver [1]

El AV exportada (V_e) de un país, se refiere al agua nativa de una nación ($V_{e, d}$) más el agua reexportada de origen extranjero ($V_{e, r}$): [Ídem]

Ecuación 13 - HH de agua virtual exportada

$$V_e = V_{e, d} + V_{e, r} \quad [\text{volumen/tiempo}]$$

Fuente: Tomado del Manual de HH. Ver [1]

El AV importada (V_i) de un país, por un lado, es consumida y forma parte de la HH externa ($HH_{cons, nac, ext}$), y la parte restante se reexportará ($V_{e,r}$): [Ídem]

Ecuación 14 - HH de agua virtual importada

$$V_i = HH_{cons, nac, ext} + V_{e,r} \quad [\text{volumen/tiempo}]$$

Fuente: Tomado del Manual de HH. Ver [1]

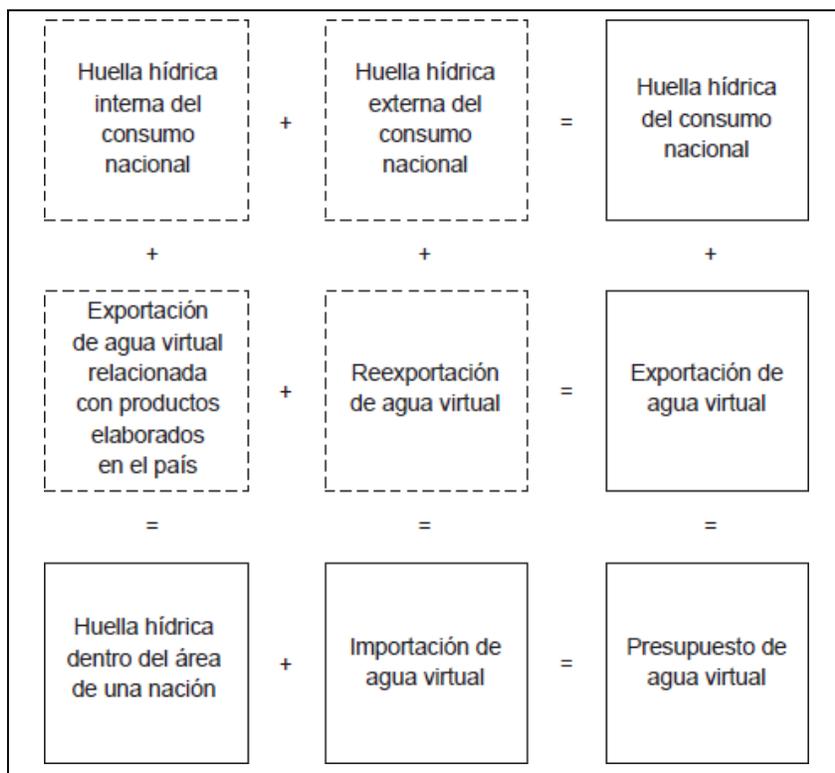
El presupuesto de AV (V_p) en un país, es la suma de V_i más la $HH_{área, nac}$ o lo que resulta ser igual a la suma de V_e más la $HH_{cons, nac}$: [Ídem]

Ecuación 15 - HH de presupuesto de agua virtual nacional

$$V_p = V_i + HH_{área, nac} = V_e + HH_{cons, nac}$$

Fuente: Tomado del Manual de HH. Ver [1]

Ilustración 5 - Cuantificación de la HH nacional



Fuente: Manual de HH. Ver [1]

Bajo un enfoque territorial, podemos decir que la HH nacional, $HH_{\text{área, nac}}$, es la suma de todos los procesos q realizados, que consumen o contaminan agua: [Ídem]

Ecuación 16 - HH de una nación bajo enfoque área delimitada

$$HH_{\text{área, nac}} = \sum_q HH_{\text{proc}} [q] \quad [\text{volumen/tiempo}]$$

Fuente: Tomado del Manual de HH. Ver [1]

En un enfoque de **arriba hacia abajo**, la HH del consumo nacional ($HH_{\text{cons, nac}}$), se halla como la HH dentro de un área delimitada ($HH_{\text{área, nac}}$) más el AV importada (V_i) menos el AV exportada (V_e) de un país. El método mejora con la calidad de los valores de comercio extranjero: [Ídem]

Ecuación 17 - HH nacional “top-down”

$$HH_{\text{cons, nac}} = HH_{\text{área, nac}} + V_i - V_e \quad [\text{volumen/tiempo}]$$

Fuente: Tomado del Manual de HH. Ver [1]

En un enfoque de **abajo hacia arriba**, se estudia a los consumidores nacionales, la cual se asemeja bastante a la ecuación 10. La calidad de los datos de consumo mejora este método, por lo que resulta propenso a errores minúsculos: [Ídem]

Ecuación 18 - HH nacional “bottom-up”

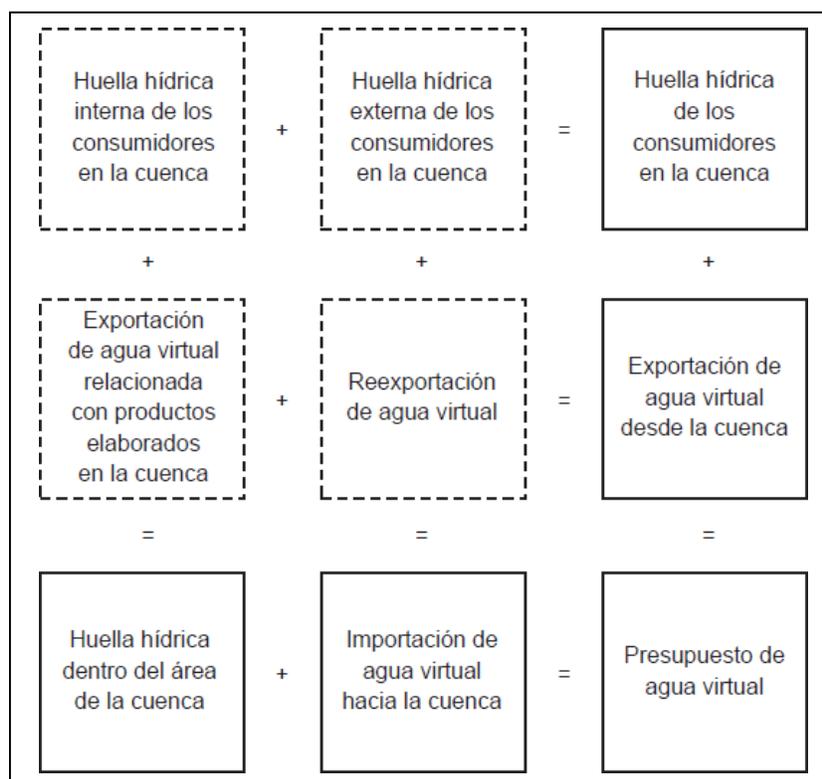
$$HH_{\text{cons, nac}} = HH_{\text{cons, nac, dir}} + HH_{\text{cons, nac, indir}}$$

Fuente: Tomado del Manual de HH. Ver [1]

F. HH de cuencas hidrográficas y captación.

Se asemeja mucho a la sección “E”: *HH de una nación*, su diferencia radica en que la HH anterior explica el consumo de sus habitantes dentro de esa nación, en una cuenca se enfoca en los usuarios que abastece. La WFN recomienda seguir el modelo planteado. Las autoridades de una cuenca, seguramente se enfocan en la HH de sus límites, y no en la HH externa a la cuenca. [1]

Ilustración 6 - HH de una cuenca, bajo un esquema de balances



Fuente: Manual de HH. Ver [1]

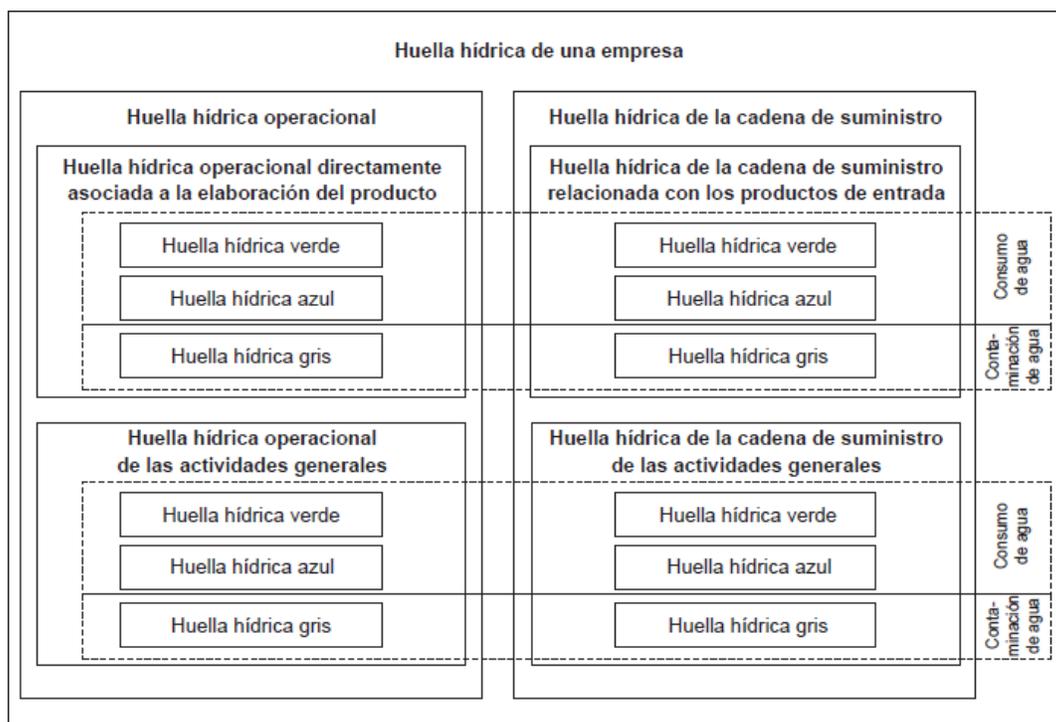
G. HH de municipios, provincias y otras unidades administrativas

El esquema guía también es la *HH de una nación*. Los estudios con un eje administrativo son muy pocos, pues en la práctica los municipios tienden a tener actividades variadas. [1]

H. HH de una empresa.

El concepto de “empresa”, se puede englobar como un consorcio o una sociedad de compañías. También puede estar ligado a un proyecto o actividad. La HH en una empresa se refiere a la cantidad de agua empleada de forma directa e indirecta para realizar sus funciones. Se puede considerar dos elementos: la HH operacional (directa), que es la cantidad de agua empleada en todas las actividades empresariales, y la HH de la cadena de suministro (indirecta), que resulta ser el agua consumida o contaminada para los insumos o servicios que conforman los inputs de una empresa. Se conoce también como “HH corporativa” o “HH organizacional”. [1]

Ilustración 7 -Esquema resumen de la HH dentro de una organización empresarial



Fuente: Manual de HH. Ver [1]

Desde la perspectiva de gestión empresarial, es importante distinguir las HH, porque hay un control directo sobre su HH operacional y una influencia indirecta sobre su HH en la cadena de suministro. [Ídem]

Es factible también, hacer la distinción de HH asociada a la producción y HH relacionada a las actividades generales (ejecución empresarial y bienes o servicios utilizados por la empresa). La HH operacional es la que está ligada al uso consuntivo y contaminación del recurso hídrico y la HH de actividades generales, se asocia con el proceso de fabricación. En la tabla 4, se aprecia un ejemplo considerando esta distinción. [Ídem]

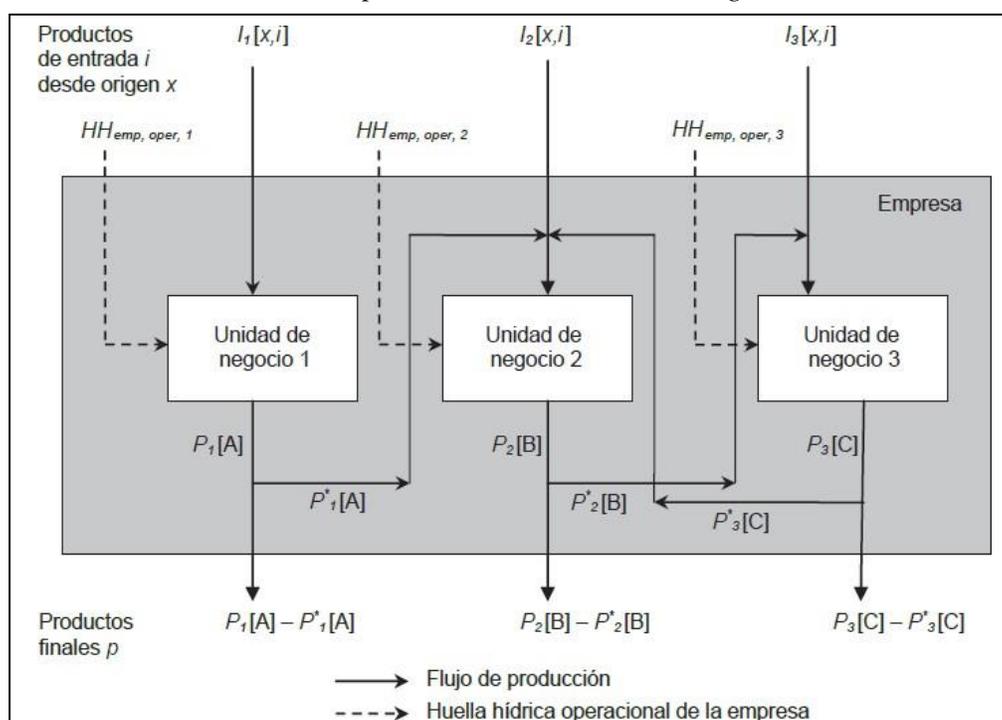
Tabla 4 - Modelos de componentes de HH en las empresas

Huella hídrica operacional		Huella hídrica de la cadena de suministro	
Huella hídrica directamente asociada a la elaboración de producto(s) de la empresa	Huella hídrica de las actividades generales	Huella hídrica directamente asociada a la elaboración de producto(s) de la empresa	Huella hídrica de las actividades generales
<ul style="list-style-type: none"> • Agua incorporada al producto. • Agua consumida o contaminada por un proceso de lavado. • Agua contaminada de forma térmica por el uso de refrigeración. 	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo o contaminación de agua relacionados con el uso de agua en cocinas, baños, limpieza, jardinería o el lavado de prendas de trabajo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Huella hídrica de los ingredientes de un producto comprados por la empresa. • Huella hídrica de otros artículos comprados por la empresa para la elaboración de su producto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Huella hídrica de infraestructura (materiales de construcción, etc.). • Huella hídrica de materiales y energía para uso general (material de oficina, coches y camiones, combustible, electricidad, etc.).

Fuente: Tomado del Manual de HH. Ver [1]

En la ilustración 8, se ejemplifica una empresa que produce insumos finales A, B y C, está separada en tres unidades de negocio (parte de la empresa que produce un insumo definido en un lugar indicado). La 1ra unidad elabora A, pero parte de A se manda a la segunda unidad, pero gran parte se vende a otras empresas. La 2da unidad elabora B, que gran parte también vende a otras empresas y lo restante pasa a la tercera unidad. Y la 3ra unidad, elabora C, mandando una fracción a la unidad 2 y el resto la vende externamente. [Ídem]

Ilustración 8 - Empresa con 03 unidades de negocio



Fuente: Manual de HH. Ver [1]

Cálculo mediante fórmulas

La HH de una unidad de negocio (HH_{emp}), resulta de sumar la HH operativa más la HH de la cadena de suministro: [1]

Ecuación 19 - HH de una empresa

$$HH_{emp} = HH_{emp, oper} + HH_{emp, sum} \quad [\text{volumen/tiempo}]$$

Fuente: Tomado del Manual de HH. Ver [1]

Ambos elementos se pueden dividir en la fabricación de insumo y en actividades generales:

Ecuación 20 - HH de componentes de unidades de negocio

$$HH_{emp, oper} = HH_{emp, oper, insumos} + HH_{emp, oper, act. gen} \quad [\text{volumen/tiempo}]$$

$$HH_{emp, sum} = HH_{emp, sum, insumos} + HH_{emp, sum, act. gen} \quad [\text{volumen/tiempo}]$$

Fuente: Tomado del Manual de HH. Ver [1]

Sostenibilidad de la huella hídrica

La UNESCO define a la sostenibilidad como un paradigma de reflexión necesario en décadas próximas, pues se busca que las tres condiciones (sociales, económicas y ambientales) estudiadas por este concepto, estén en sincronía con el objetivo de conseguir una mejora cualitativa en la vida de los seres humanos; por ejemplo, si se tiene un espacio capaz de proveer alimentos y recursos (agua y aire limpios) para su población, entonces habremos construido un mundo más sostenible. Este concepto se basa en que la sociedad tiene el deber de asegurar sus recursos a futuro, para el funcionamiento idóneo de cada una de las actividades antrópicas y preservar la biodiversidad. [3]

Según las 04 fases mencionados en *Evaluación de la HH*, este punto constituye la fase 03 en la evaluación de HH. Si se le da un enfoque de sostenibilidad ligado al concepto de HH, tendremos 3 diversos puntos de aplicación:

Sostenibilidad ambiental: los ríos, lagos, aguas subterráneas y demás espacios de almacenamiento natural de agua, tienen que mantener el recurso hídrico dentro de límites relacionados a la escorrentía natural, con el propósito de mantener los hábitats y la vida que se desarrolla sin alteraciones. Este punto incluye tener en cuenta el concepto de caudal ecológico, el cual se aborda más adelante. [20]

Cuando el hombre interviene en los ecosistemas se genera un punto crítico, evaluar la gravedad de ello, es mediante la escasez de agua o el grado de contaminación. Un punto crítico ambiental es cuando estos parámetros sobrepasan el 100% de la disponibilidad. [1]

Sostenibilidad ambiental de la HH verde

La disponibilidad de agua verde (DA_{verde}) resulta de la suma de ET del agua de lluvia almacenada en el suelo (ET_{verde}) menos la ET agua del suelo, usado por las plantas naturales (ET_{veg}) menos la ET de las superficies improductivas (ET_{improd}): [Ídem]

Ecuación 21 - Disponibilidad del agua verde

$$DA_{verde} [x, t] = ET_{verde} [x, t] - ET_{veg} [x, t] - ET_{improd} [x, t]$$

Fuente: Tomado del Manual de HH. Ver [1]

Esta ecuación trabaja en volumen/tiempo, la variable ET_{veg} se refiere a las necesidades de los ecosistemas contiguos al punto de captación que debe dejarse para mantener la biodiversidad, este punto resulta un gran debate investigativo, pues algunos autores mencionan mantener un 12%, algunos 15%, otros un 50%, de la superficie cercana a la cuenca reservada para la naturaleza. La WFN, recomienda un 30% para la vida ecológica. La variable ET_{improd} , es aquella agua que cae en zonas montañosas con gran pendiente, áreas urbanas o en períodos fríos, todo esto resulta inadecuado para los cultivos, suele ser un valor bajo. [Ídem]

Ecuación 22 - Factor de escasez de agua verde

$$EA_{verde} [x, t] = \frac{\sum HH_{verde} [x, t]}{DA_{verde} [x, t]}$$

Fuente: Tomado del Manual de HH. Ver [1]

Hablar de escasez de agua, usualmente es al agua azul, pero la disponibilidad de agua verde es también reducida. El nivel de escasez de agua verde, se mide con la ecuación 22. Analizar este factor, resulta aún en proceso de investigación, pues persiste la ausencia de valores para preservar los ecosistemas. La WFN, recomienda prescindir de esta evaluación cuantitativa, pues puede surgir confusiones, además de que el efecto es pequeño y despreciable. [Ídem]

Sostenibilidad ambiental de la HH azul

Se recomienda revisar el apartado que trata de caudal ecológico. Podemos indicar que el flujo natural es la suma del flujo real más la HH azul en ese punto de extracción. Si la HH azul supera la disponibilidad del río, es evidente que ya se superó el CME (caudal mínimo ecológico), pero su impacto también se aprecia en las aguas subterráneas y lagos. [1]

La escasez de agua en una cuenca (EA_{azul}) es el cociente que resulta de dividir la sumatoria de las HH azules en esa cuenca ($\sum HH_{azul}$) y la disponibilidad de agua azul (DA_{azul}):

Ecuación 23 - Factor de escasez de agua azul

$$EA_{azul} [x, t] = \frac{\sum HH_{azul} [x, t]}{DA_{azul} [x, t]}$$

Fuente: Tomado del Manual de HH. Ver [1]

El resultado se puede expresar en porcentaje, por lo que ante un 100%, se traduce en que la disponibilidad del río ya fue utilizada. Si supera el 100%, es que se está depredando la fuente. La escasez es dependiente del tiempo, pues los ríos sufren de períodos en el año con mayores y menores volúmenes de agua. Se debe tener en cuenta que el concepto de escasez tiene implicaciones físicas (compara volúmenes disponibles con los extraídos) y ambientales (el CME es considerado), pero no económicas (no interfieren datos pecuniarios). [Ídem]

Sostenibilidad ambiental de la HH gris

También toma el concepto de caudal ecológico, por lo que se calcula el volumen disponible para recibir la carga contaminante. El NCA (nivel de contaminación de agua), es el cociente que resulta de dividir la sumatoria de las HH grises en esa cuenca ($\sum HH_{gris}$) y la escorrentía real en ese punto de captación (E_{real}): [Ídem]

Ecuación 24 - Grado de contaminación del recurso hídrico

$$NCA [x, t] = \frac{\sum HH_{gris} [x, t]}{E_{real} [x, t]}$$

Fuente: Tomado del Manual de HH. Ver [1]

Al igual que en lo anterior, si el valor supera el 100%, la disponibilidad del río ya fue utilizada y se está violando los parámetros normados, es decir los ECA.

Sostenibilidad social: guarda relación con el hombre, evalúa la masa de agua dulce necesaria para las actividades básicas y tener una vida de calidad. Y la fracción restante de agua dulce disponible tras cubrir esos puntos básicos, se denomina actividades destinadas a bienes de lujo. [20]

Sostenibilidad económica: los beneficios que proporciona el conjunto de huella azul, verde y gris como resultado de utilizar agua en una actividad en específico, tienen que ser superiores que la inversión total que resulta acceder al uso de este recurso hídrico. De no cumplirse lo mencionado, la HH se declara como no sostenible económicamente. [20]

Caudal natural, caudal de retorno y caudal ecológico

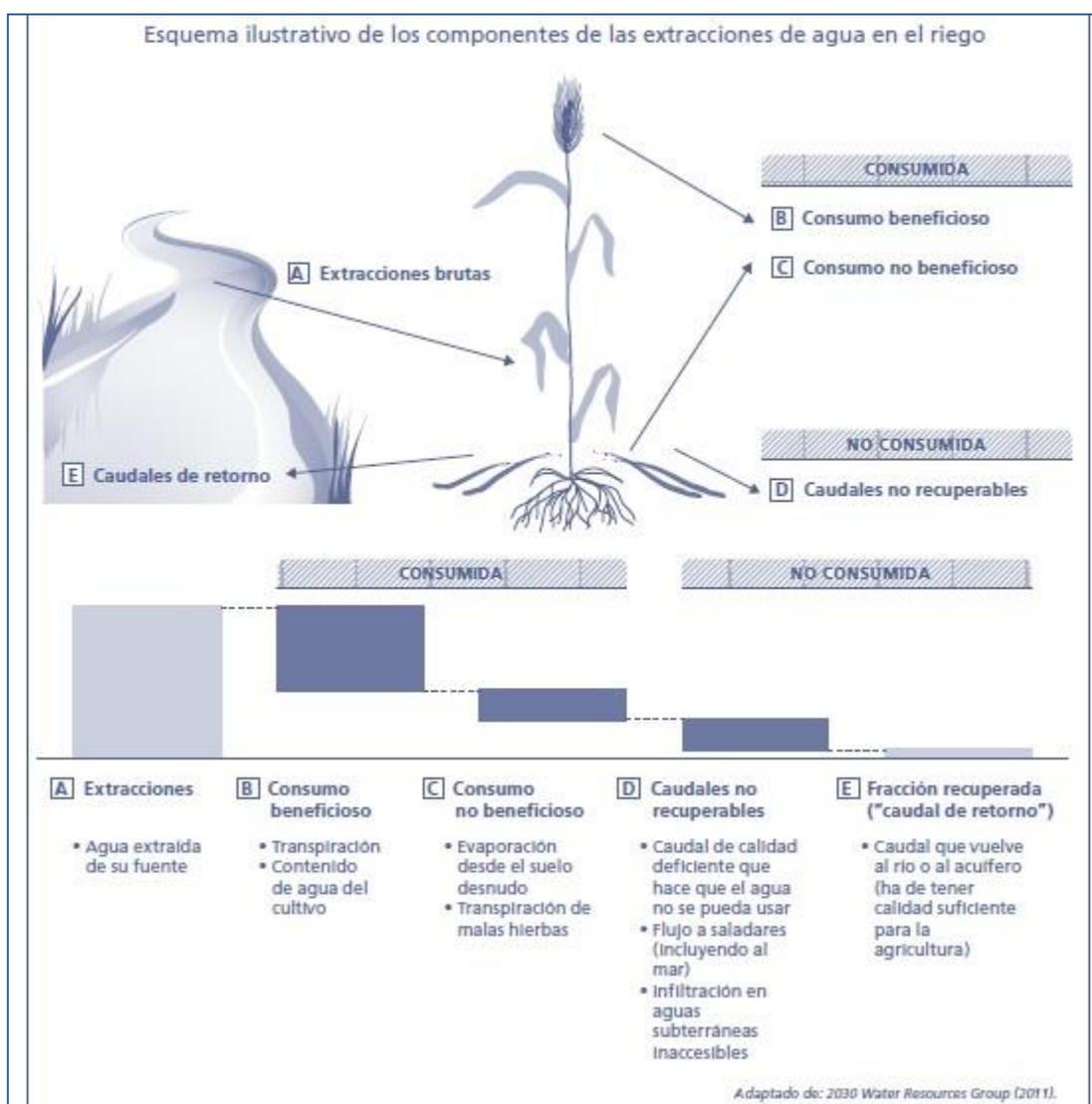
El escurrimiento natural o caudal natural, es una cantidad de agua que fluye por un río. Se ve alimentado por el agua existente dentro del nivel freático, por la escorrentía superficial y

principalmente por las precipitaciones (las cuales varían dependiendo las estaciones del año y la zona geográfica, la cual se ve influenciada por el clima).

Se denomina caudal de retorno (o flujo de retorno) a aquella cantidad de agua que se extrae y no se llega a consumir y vuelve a la fuente original o a otro cuerpo de agua el cual puede ser superficial (escorrentía) o en el subsuelo (percolación). De este término parten dos nuevos conceptos:

- *Caudal recuperable*, nos referimos así cuando el caudal natural de cada río pasa a satisfacer los acuíferos y demás cuerpos de agua dentro del subsuelo, o la misma zona de captación, en el mismo período de tiempo.
- *Caudal no recuperable*, es aquel caudal que llega a cuerpos con agua salada, acuíferos inaccesibles para su uso humano o cuando su calidad es precaria. También cuando regresa en un período diferente a cuando se extrajo el volumen. [17]

Ilustración 9 -Ejemplo práctico sobre caudal de retorno



Fuente: Escasez de agua, según FAO. Ver [17]

Por otro lado, podemos definir al caudal ecológico (para otros "caudal ambiental", aunque este es más extenso), como aquel volumen de agua requerido por los ecosistemas para preservar las condiciones vitales de cada uno de los seres vivos, así como las funciones y procesos propios de cada hábitat. Además, aporta bienes y servicios a las personas. Mantener este volumen asegura un balance hidrológico dentro de la cuenca y asegura un suministro óptimo a largo plazo. [13]

Como se mencionó en el punto de la *Sostenibilidad de HH*, Arthington en conjunto con otros autores, sostienen que se debe dar gran importancia a este término, y es que debemos proteger la

biodiversidad de los seres vivos dependientes del agua dulce y con más razón las autoridades administrativas y científicas en temas hídricos [24].

No hay regla o ley absoluta que dictamine el volumen de agua necesario que cumpla con las condiciones ambientales hídricas en un ecosistema. Dentro de la literatura (en idioma inglés), existen investigaciones con variadas fórmulas y procedimientos que recomiendan un porcentaje del caudal natural que debe dejarse en un río para mantener el requerimiento hídrico de una cuenca fluvial, algunas de estas pautas se relacionan con las temporadas de avenidas y sequías que ocurren en un año.

Yang junto con otros autores chinos, mencionan que para el río Amarillo (conocido en el país oriental como Huang He) es necesario conservar un mínimo del 54.76% ($317.62 \times 10^8 \text{ m}^3$) del caudal natural ambiental anual y un máximo de 93.64%, para mantener los requerimientos ambientales que necesita la cuenca que lleva el mismo nombre. [25]

Para otros autores, recolectados en la investigación de Jowett en 1997, se menciona que, en 1994 R. G. Forlong tras evaluar en los ríos neozelandeses los caudales mínimos, durante 5 años, es posible conservar el ecosistema con valores de entre 30% al 75%. Donald L. Tennat, demostró en 1976, que la calidad ambiental de los caudales se basa en las dimensiones físicas del río, es así que al 10% del caudal promedio, la profundidad es de 0.3m con una velocidad de 0.25m/s, y consideró que este era el límite inferior para conservar la biota acuática. Luego, observó que al 30% del caudal promedio, la profundidad variaba entre 0.45m y 0,60m y la velocidad entre 0.45m/s y 0.60m/s, considerando a este como un caudal óptimo para mantener las condiciones ambientales acuáticas. [26]

En esta investigación se usó lo que recomienda el Manual publicado por la WFN, donde la “disponibilidad de agua azul (DA_{azul}) en una zona de captación “x” dentro de un período determinado “t” se define como la escorrentía natural de la zona de captación (E_{nat}) menos el caudal mínimo ecológico (CME)”, el cual se expresa así: [1]

Ecuación 25 - HH de la disponibilidad azul en función del CME

$$DA_{\text{azul}}[x; t] = E_{\text{nat}}[x; t] - CME[x; t] \text{ en unidades de volumen / tiempo}$$

Fuente: Tomado del Manual de HH. Ver [1]

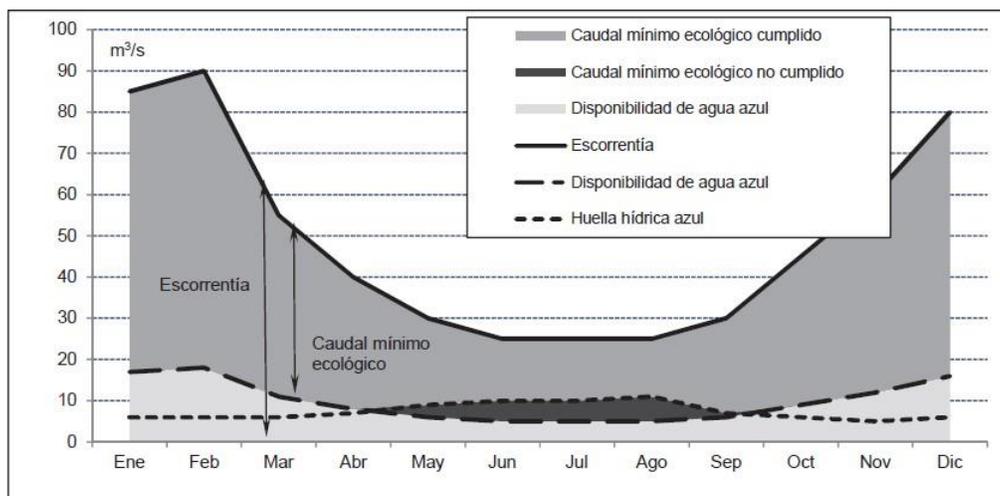
Cuando la HH azul (uso consuntivo de escorrentía) sobrepasa a la DA_{azul} , lo cual representa al caudal máximo aprovechable de un río, estamos en un caso donde se ha excedido al caudal mínimo ecológico, lo cual supone una gran preocupación. Para evaluar este punto, se debe conocer numéricamente los valores de escorrentía en puntos de captación, lo cual puede ser a través de modelamientos hidrológicos. Estos valores, deben ser obtenidos de preferencia de forma mensual, ya que es ahí donde se compara el impacto durante un año. El CME, se calcula a partir del flujo natural, no de la real, pues la que se observa ya ha sufrido extracción en “aguas arriba”. [Ídem]

El manual de la WFA, ver [1], recomienda el modelo propuesto en el 2004 por Smakhtin y otros autores, pero conserva una carencia evidente ya que no posee valores mensuales para el CME, sino anuales. También al proponerlo se prepara a recibir críticas, pero menciona que se debe considerar el eje de interés. Por ejemplo, en [24] se menciona que este método propone un porcentaje que minimiza mucho el CME, además hace mención que algunas guías simplistas carecen de base científica o empírica, y representan un peligro a la biodiversidad al proponer “un tercio” como caudal para extracción.

Este método no busca ser absoluto, sino que propone ser cambiado cuando se encuentren estimaciones mejores o más avanzadas. Lo que se recomienda es disponer del $\pm 20\%$ del caudal promedio mensual, esto es aplicable a un punto de zona de captación, no de cuenca hidrográfica. Además, recomienda que es preferible contabilizar la HH empleando sistemas de información geográfica, SIG. Se debe aclarar que el CME, se mide considerando la escorrentía natural, no la escorrentía real, porque la que se ve en un punto del río puede haber sido afectado por otras extracciones anteriores [1]. Autores como Richter, sugieren también este parámetro del 20% para preservar la fauna y flora pluvial. [27]

La ilustración 10, nos muestra el volumen disponible de un río a lo largo de un año, cómo este valor varía mensualmente dependiendo de los valores de escorrentía, en contraste a la curva casi constante de la HH azul. En [28], se menciona que el requerimiento ambiental vendría a ser el 80% del volumen existente en cada mes. En la ilustración llega, durante los meses de mayo a agosto, a ser insuficiente para satisfacer la demanda que exige la HH azul. Bajo el enfoque de la tercera fase de la evaluación, esta HH sería ambientalmente insostenible.

Ilustración 10 - HH azul durante un año comparado con su disponibilidad



Fuente: Manual de HH. Ver [1]

Como dato adicional, la literatura propone diversas maneras de hallar el valor de caudal ecológico, el cual debe ser medido en función de cada cuenca, ya que el universo de ecosistemas del planeta impide uniformizar un valor, ante ello, ANA, propone usar un valor referencial del 10%. [29]

En el 2012, en un informe del ANA, [30] se propuso valores referenciales con respecto a su caudal, aunque estas recomendaciones han sido mejor sustentadas hoy en día, por la literatura anglosajona.

Tabla 5 - Rangos de caudal ecológico a nivel de cuenca según caudal promedio anual

Caudales promedio anuales		Menores a 20 m ³ /s	Entre 20 m ³ /s y 50 m ³ /s	Mayores a 50 m ³ /s
Caudal ecológico como porcentaje del caudal medio mensual	Avenidas	10%	10%	10%
	Estiaje	15%	15%	

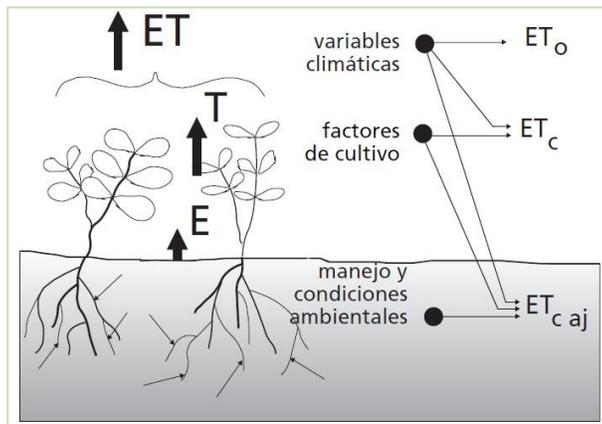
Fuente: Adaptado de ANA. 2015. Ver [30]

Evapotranspiración

Como se mencionó en el apartado del ciclo hidrológico del agua, la evapotranspiración (ET), es la unión de los conceptos de evaporación (E) y (T). Esto se debe a que la evaporación del agua que existe en un suelo agrícola se debe a la cantidad de horas expuestas al sol. Esto va decreciendo conforme se desarrolle y crezca la planta, porque sus hojas y demás partes obstaculizan la radiación

solar, creando sombra en la superficie del suelo. En etapas tempranas del cultivo, prima la evaporación, pero conforme la planta gana altura, pasa a ser la transpiración la que abunda. [22] En la ilustración 11, se representa estos dos conceptos y las variables que influyen al calcular la evapotranspiración.

Ilustración 11 - Parámetros que afectan la idealización de la ET



Fuente: Evapotranspiración de Cultivo. FAO. [22]

- ET_o , es la evapotranspiración de un cultivo de referencia.
- ET_c , cultivo en condiciones estándar (ideales)
- $ET_{c aj}$, modelo con condiciones no estándar

La ET_o , es una variable que relaciona al clima con la fuerza evaporativa de la atmósfera midiendo la ET de un cultivo de referencia. Este cultivo hipotético se refiere a un pasto bajo condiciones puntuales. Esta idealización se propone para evaluar la ET de cualquier planta del mundo sin prestar atención especial al tipo y altura de la misma, ni a sus condiciones de riego. Las complejas variables climáticas influyen en el cálculo de la ET_o , por ende, depende enteramente de datos meteorológicos. [22]

El cultivo ideal que se trabaja es pasto verde, con un tamaño de 0.12m, con una resistencia superficial de 70 s.m^{-1} (suelo regularmente seco que es regado semanalmente) y un albedo de 0.23 (este concepto se refiere a la cantidad de radiación solar que una superficie refleja, su valor varía de 0 a 1). [Ídem]

La ET_c , es la cantidad necesaria de evaporación en cultivos que crecen en condiciones ideales, es decir climas óptimos y cuidados ambientales (libre de enfermedades, suelos altamente fértiles y abundantes reservas hídricas), logrando el aprovechamiento máximo del cultivo. La ET del cultivo, como vimos se calcula con datos meteorológicos, pero se le integra factores de resistencia del cultivo. La relación ET_c/ET_0 se halla en laboratorios para diversas plantas y se denomina Coeficiente del Cultivo (K_c) y se utiliza para tener la ecuación:

Ecuación 26 - Cálculo para el ET_c o NAC

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad [\text{duración/tiempo}]$$

Fuente: Tomado del Manual de HH. Ver [1]

El coeficiente K_c , tiene una división en K_{cb} (coeficiente basal del cultivo) y K_e (evaporación del suelo). Más adelante se hará uso de factores de K_c , los cuales varían de acuerdo al desarrollo del cultivo: al principio ($K_{c\text{ ini}}$), a mitad de su crecimiento ($K_{c\text{ med}}$) y su etapa de cosecha ($K_{c\text{ fin}}$). [Ídem]

Ilustración 12 - Etapas en que se divide el factor de K_c

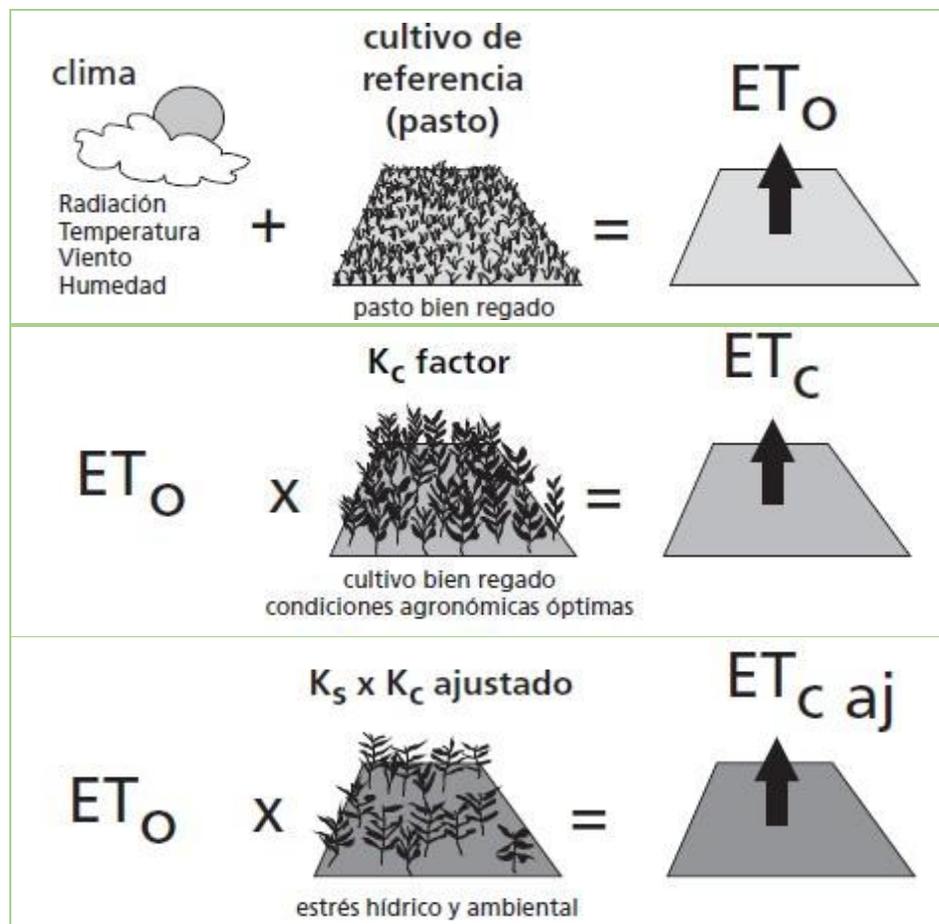


Fuente: Evapotranspiración de Cultivo. FAO. [22]

La $ET_{c\text{ aj}}$, se refiere a la ET en condiciones contrarias a las de ET_c , tales como plagas, suelo pobre o salino y con presencia de escasez de agua. Esto se traduce en una disminución de la calidad y

cantidad del cultivo, y por supuesto menor ET. Se calcula usando un coeficiente de estrés hídrico K_s , o modificando K_c . [Ídem]

Ilustración 13 - Idealización matemática de la evapotranspiración



Fuente: Evapotranspiración de Cultivo. FAO. [22]

Ecuación FAO Penman-Monteith

La ET_0 de un cultivo, resulta difícil de contabilizar, es necesario hacer uso de artefactos muy precisos y costosos, los cuales trabajan con varios parámetros físico, tales como los lisímetros. Además, estas mediciones requieren ser efectuadas por un equipo investigativo muy competente, por los que usualmente se recurre a métodos indirectos. [22]

Es bien sabido que el agua posee un gran calor específico, por lo que lograr su evaporación requiere el uso de una gran cantidad de energía. Por ello, se puede medir la ET_0 en la superficie de las plantas, haciendo uso de la ley de conservación de la energía, es decir “la energía que llega a la

superficie debe ser igual a la energía que sale de la superficie en el mismo período de tiempo.” La ecuación de Penman-Monteith, considera en sus cálculos estos intercambios energéticos en vastas cubiertas vegetales. [Ídem]

La FAO recomienda el método de Penman-Monteith, como el único modelo capaz de calcular en función de variables climáticas, se seleccionó este método pues los resultados que obtiene tras aplicar sus fórmulas son muy cercanos a la ETo de cultivos con localidades previamente encontradas, además incluye conceptos aerodinámicos y de fisiología.

Ecuación 27 - Fórmula inicial de Penman-Monteith

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)}$$

Fuente: Tomado de “Evapotranspiración de Cultivo” FAO. [22]

Esta fórmula, contiene parámetros que son explicados en la guía FAO, en este trabajo es preferible conocer la ecuación modificada, denominada FAO Penman-Monteith:

Ecuación 28 - Fórmula completa para calcular la ETo

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$$

ET _o	evapotranspiración de referencia (mm día ⁻¹)
R _n	radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m ⁻² día ⁻¹)
R _a	radiación extraterrestre (MJ m ⁻² día ⁻¹)
G	flujo del calor de suelo (MJ m ⁻² día ⁻¹)
T	temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)
u ₂	velocidad del viento a 2 m de altura (m s ⁻¹)
e _s	presión de vapor de saturación (kPa)
e _a	presión real de vapor (kPa)
e _s - e _a	déficit de presión de vapor (kPa)
Δ	pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C ⁻¹)
γ	constante psicrométrica (kPa °C ⁻¹)

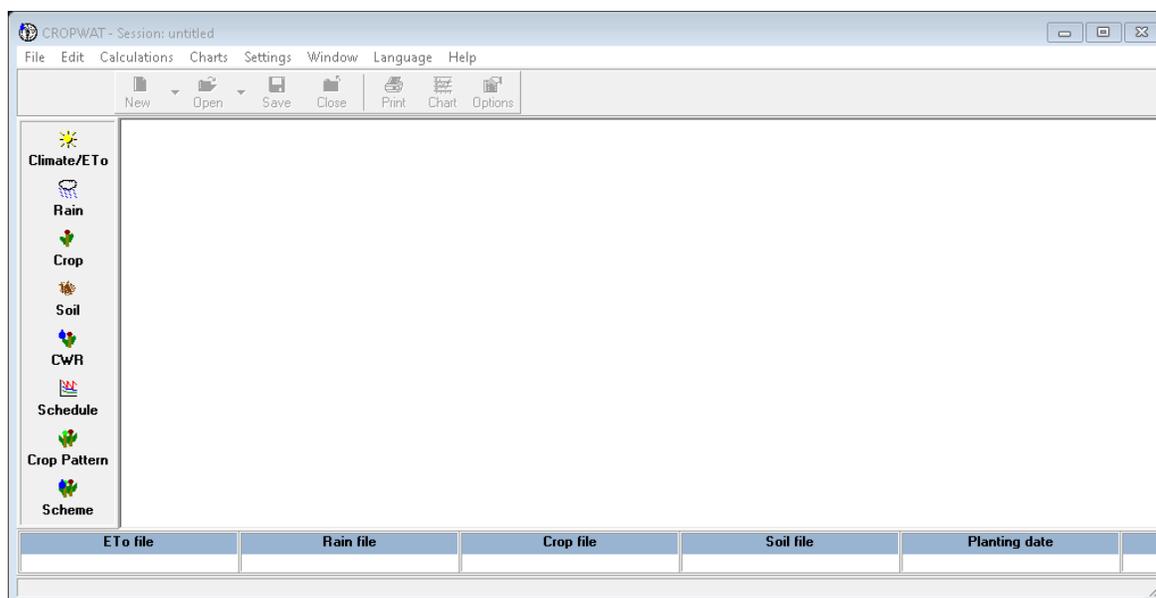
Fuente: Tomado de “Evapotranspiración de Cultivo” FAO. [22]

Modelos matemáticos

Cropwat

Para calcular la ETo, el cual interviene en la cantidad de agua azul necesaria para los cultivos, se consideró necesario hacer uso del software CROPWAT 8.0, el cual ha sido desarrollado y recomendado por la División de Desarrollo de Tierras y Aguas de la FAO, el cual trabaja con la ecuación FAO Penman-Monteith (descrito en el apartado anterior), este software es gratuito y se puede conseguir accediendo al siguiente enlace: <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/es/> .

Ilustración 14 - Ventana de trabajo del Software CROPWAT 8.0



Fuente: Desarrollado por FAO

Es un programa informático para el cálculo de riego y agua en los cultivos en función de los datos del suelo, el clima y el tipo de cultivo. Ayuda también a medir el agua que pasa a ser evapotranspiración, en diversos cultivos de lugares con condiciones climáticas propias de todos los países. Por ello, es empleado y recomendado por la WFN, en cada una de sus investigaciones para el cálculo de la HH verde.

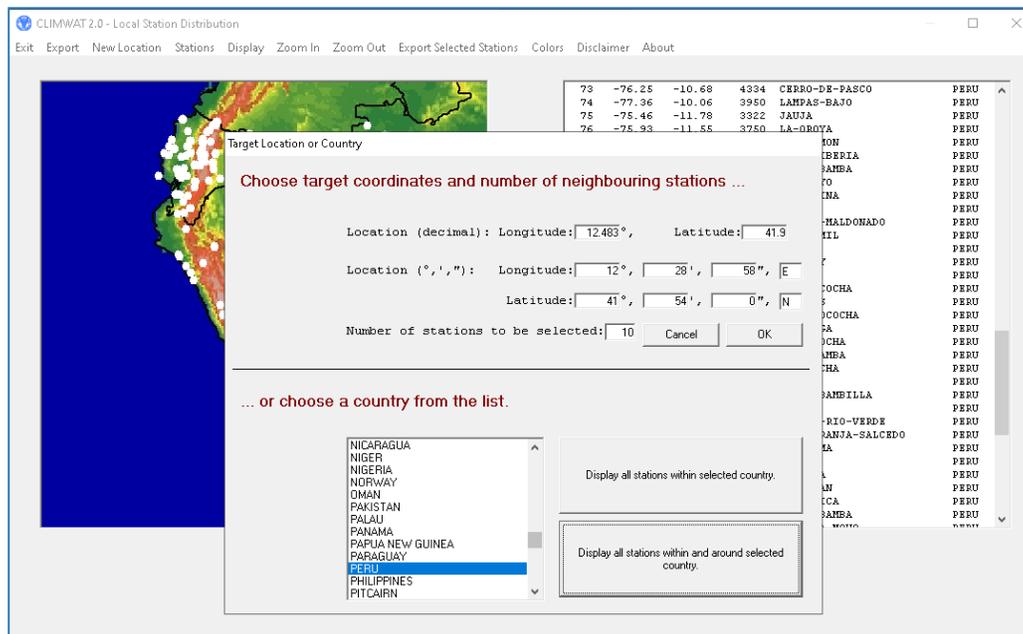
Climwat

También para complementar algunos datos faltantes requeridos por el programa CROPWAT 8.0, se recurrió al uso de otra herramienta tecnológica de apoyo, llamada CLIMWAT 2.0, es también

un software de uso gratuito y se pudo conseguir ingresando en el siguiente enlace:

<https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/climwat-for-cropwat/es/> .

Ilustración 15 - Ventana de trabajo del Software CLIMWAT 2.0



Fuente: Desarrollado por FAO

Esta herramienta tecnológica posee valores climáticos de cada mes. Además, proporciona las temperaturas superiores e inferiores, velocidad eólica, humedad en porcentaje, horas de luz solar y también tiene el enfoque de FAO Penman-Monteith. [22]

Los datos climáticos que toma, siempre se recomienda de las estaciones próximas a la posición geográfica del cultivo en estudio. Este software, ayuda con ello, aunque sus valores no resultan ser anuales sino un promedio de los valores desde hace 30 años. [1]

Medidas para reducir la huella hídrica

Según las 04 fases mencionados en *Evaluación de la HH*, este punto constituye la fase 04. Sin embargo, la WFN menciona que no es una regla que deban estar todas las fases, se puede concluir la investigación en la fase anterior e incluso al definir el alcance (fase 01) se puede establecer la atención solo en los cálculos. Las respuestas o medidas que se formulen depende del tipo de HH que se evalúa. [1]

En un estudio orientado a los consumidores, se puede establecer medidas de lo que pueden hacer, pero también incluir a las empresas que les suministran productos y a las autoridades. Pues los consumidores, productores, inversores y gobiernos comparten la responsabilidad. [Ídem]

La HH azul y la HH verde de las empresas y domésticas se puede llegar a anular reciclando toda el agua, puesto que en un círculo cerrado no existen pérdidas por evaporación ni contaminación de efluentes. La HH azul, no puede reducirse al 100% en un proceso, debido a que una parte del agua se incorpora en el insumo, pero estos volúmenes son mínimos. Incluso la contaminación térmica, en la HH gris, puede ser disipada reutilizando el agua antes de verterse al medio ambiente. La HH gris, en la agricultura sí puede ser 0, dejando los métodos tradicionales (uso de sustancias químicas en el suelo, que luego llegan mediante escorrentía o lixiviación a las aguas) por una agricultura orgánica, y también una cultura de riego con mejores técnicas y tecnologías, aunque esto a la larga, requiere bastante tiempo para aplicarse. [Ídem]

Algunos ejemplos de mejora son sustituir el riego de aspersión por riego por goteo, o sustituir la refrigeración abierta por una cerrada. Reducir previniendo (reformulación del consumo y producción en sí) es preferible que reducir mejorando la producción (se hace lo mismo, pero más eficiente y sostenible). Cuando se disminuye 1m^3 de HH en un área con abundante agua, se disminuye también en una zona con escasez, esto es debido a que cualquier ahorro hídrico contribuye a disminuir la demanda global de insumos, ya que, si hay más insumos aprovechables, el área con escasez puede disminuir su producción. Sin embargo, disminuir la HH por unidad producida, no debe compensarse por incrementar la producción, al mismo tiempo. [Ídem]

Consumidores

Es posible disminuir su HH mediante inodoros o duchas (alcachofas) que ahorren agua, no tirando medicinas, pinturas u otros contaminantes al desagüe. En la HH de un consumidor, usualmente es más grande su HH indirecta, es decir los insumos que adquiere, por ello, se debe cambiar los hábitos de consumo [1]. Por ejemplo, alimentarse menos con carne de res, la cual representa el 22% de la HH mundial [13], en Estados Unidos, su dieta es principalmente carne. También es preferible llevar menos prendas de algodón, (en [13], se indica que producir 1kg de algodón requiere 11 000 litros de agua), en resumen, se debe adquirir productos con menor HH.

Sin embargo, cambiar esos patrones debe ser acompañado de la transparencia de los productos que adquieren para tener una elección informada, esto se debe requerir a las empresas productoras. Además, Hoekstra indica que ahorrar con cerrar el grifo no basta, y es que el sector agrícola es el que más agua requiere, por ende, enfocarse en los consumidores es ver el problema menor. [31]

Empresas

Es posible que se disminuya su HH a 0, reduciendo el agua en sus actividades y buscando en sus proveedores insumos sostenibles. Se busca evitar (cualquier evaporación), reducir (la generación de aguas contaminadas) y reciclar (los efluentes mediante tratamiento). [1]

Agricultores

Técnicamente, también es un negocio, por lo que se busca lo mismo que en las empresas. Como se mencionó anteriormente las técnicas ayudan, como surcos. Además, se debe buscar la máxima productividad del agua en el cultivo (t/m^3) y no el rendimiento mayor (t/ha). [1]

Inversores

Se presentan diversos riesgos si no se considera la reducción de la HH. Primero, si surge escasez de agua afecta la adquisición de insumos para su producción. Segundo, su imagen se perjudica si se evidencia públicamente un despilfarro de agua. Tercero, tras el deseo de mejorar en un manejo sostenible del recurso, surge una oportunidad de una mejor normativa del gobierno. [1]

Gobiernos

No basta tener leyes o normas sobre el agua, debe haber también una coherencia entre ellas en su aplicación de los sectores, por ejemplo, restringir en el comercio, pero impulsar su uso en la agricultura. También debe conocerse el consumo internacional, esto sucede porque muchos países importan insumos sin considerar la contaminación o escasez en los países exportadores. [1]

El agua no representa un costo para el comercio, es gratis y es depredada, si se pusiera un coste, la exportación en países con estrés hídrico sería más difícil, y es que países con pocas reservas, sobreexplotan su agua, por ello es que en la economía no se considera este recurso. [31]

Correspondencia entre las tres huellas: Hídrica, Ecológica y Carbono

Todos los países alrededor del mundo producto de la globalización y del desarrollo tecnológico han tenido crecimiento económico y también demográfico, sin embargo, esto ha sido a expensas de los recursos que proporciona el planeta, dejando en la “cuerda floja” a la capacidad de la Tierra para preservar la vida en los ecosistemas.

Tras comprender el estado de los recursos surgen de manera automática parámetros y/o instrumentos capaces de realizar un conocimiento palpable a la demanda que ejerce sobre el planeta las actividades humanas. Estos parámetros arrojan valores medibles sobre los cuales se pueden discutir objetivamente y junto con los ECA, establecer límites para la explotación de los recursos globales que son destinados a cubrir las necesidades básicas humanas. [3]

Existen tres grandes sectores en los que estudiosos dividen la Tierra, los cuales son medios capaces de albergar vida: la Atmósfera (Huella de Carbono), la Litósfera (Huella Ecológica) y la que estamos evaluando, la Hidrósfera (HH). [Ídem]

La HH entonces pertenece a este grupo de huellas. La definición más añeja que se conoce es la Huella Ecológica, propuesto por William Rees y Mathi Wackernagel en la última década del milenio pasado (1990); este parámetro ayuda a calcular el uso de terreno bioproductivo aprovechable y su unidad de medida son las hectáreas. [1]

Por otro lado, la Huella de Carbono nace a partir del concepto referido a la Litósfera, y llega a ser citado de forma más común en 2005. Se enfoca en el total de emisiones producto de GEI, causadas por algún producto, organización o evento, y se expresa en unidades equivalentes de CO₂, (1 tonelada de CO₂ ocupa 510 m³). Podemos ver que el concepto de Huella de Carbono es contemporáneo, pero la contabilidad de GEI es antigua. [Ídem]

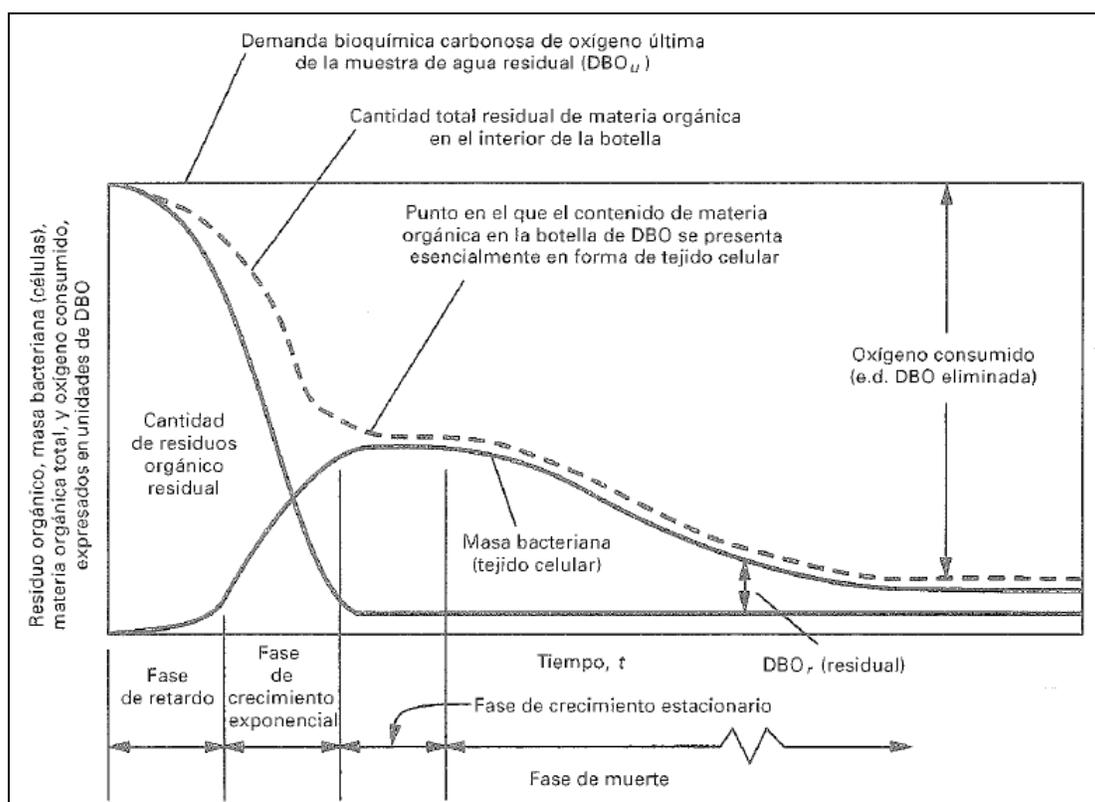
La HH se instauró siguiendo el concepto de huella ecológica, pero ambos tienen diferentes orígenes, y se conoce las similitudes y diferencias, así como que la ecológica se calcula tomando en cuenta la productividad media global; por su parte la HH se halla evaluando a la productividad local, y como menciona la WFN, la primera no es espacialmente explícita, mientras que la que se enfoca en el agua, sí lo es. [Ídem]

Es de suma importancia mencionar que los parámetros son insustituibles, no se pueden reemplazar uno a otro, ya que cada uno aporta datos que distan de uno y otro instrumento. Es negligente enfocarse solo en las demandas energéticas o ecológicas, también se debe evaluar los recursos hídricos. Ante ello, es imperativo realizar en conjunto esta familia de huellas al estudiar un terreno o espacio, esto representa un reto para los próximos años. [Ídem]

Demanda Bioquímica de Oxígeno - DBO

Se refiere a la medida del oxígeno consumido por algunos microorganismos en su metabolización, durante la descomposición bioquímica de la materia orgánica (proteínas 40%-60%, carbohidratos 25%-50% y grasas y aceites 10%) presente en el agua. [32] Hay una relación directamente proporcional entre la velocidad de crecimiento de las bacterias y la velocidad de oxígeno consumido. En un sistema cerrado se estudian tres parámetros: concentración de materia orgánica, número de bacterias y oxígeno disuelto consumido. [33]

Ilustración 16 - Representación de las 3 variables de la DBO



Fuente: Metcalf & Eddy, Inc. Ver [32]

En la ilustración 16, se observan 4 fases:

- La 1° fase, aquí las bacterias necesitarán unas horas para cambiar de la metabolización de las materias orgánicas almacenadas en su interior a la materia exterior.
- La 2° fase, el crecimiento y el consumo de sustrato y oxígeno es más veloz; y ocurre hasta que el sustrato u otro factor del crecimiento sea un limitante y el crecimiento disminuya.
- La 3° fase, el valor del DBO variará lentamente y tiende a la curva asintótica de DBO_u (curva teórica si solo existiera el sustrato), esto es porque las bacterias entran a fase endógena.
- La 4° fase, ya todas las reservas fueron agotadas, inicia la lisis de las bacterias consumiendo oxígeno en el proceso. [33]

La materia orgánica que aparece en los procesos de tratamiento de las aguas tiene oxidación tanto carbonosa como no carbonosa, debido a su amplia mezcla de especies químicas. Por ello, la DBO, encargada de la oxidación carbonosa, da como principales productos finales al dióxido de carbono (CO_2), amoníaco (NH_3) y agua. Usualmente es representado con DBO_5 . [Ídem]

Ensayo de la DBO

El ensayo evalúa el oxígeno consumido por los microorganismos durante 20 días a $20^\circ C$. Usualmente se calcula la DBO_5 , esto es debido a que la materia orgánica se oxida en un 60%-70% a los 5 días, sin embargo, no basta ello, pues el proceso es lento y toma más tiempo, incluso a los 20 días, la oxidación está en un 95%-99%. [32]

Su evaluación en laboratorio resulta ser delicada y muy delicado de transportar si la distancia entre el laboratorio y la zona de la muestra, es grande. Incluso el ANA, recomienda transportar la muestra refrigerada a $4^\circ C$, y en un plazo de 6h, siendo lo máximo de espera 24h. [34]

Tabla 6 - Conservación de la muestra de DBO

PARÁMETRO	TIPO DE RECIPIENTE	CONDICIONES DE PRESERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO	TIEMPO MÁXIMO DE ALMACENAMIENTO
Químico-Físicos			
Demanda bioquímica de oxígeno en cinco días	Plástico o vidrio	Llenar recipiente y sellar sin burbujas. Almacenar a oscuras o usar botellas oscuras.	24 horas
	Plástico	Congelar por debajo de $-18^\circ C$. Almacenar a oscuras o usar botellas oscuras.	1 mes (6 meses si >50 mg/L)

Fuente: Adaptado de ANA. Ver [34]

En la tabla 7, se aprecia las concentraciones usuales encontradas en una red pública.

Tabla 7 - Composición de agua residual doméstica bruta

Contaminantes	Unidades	Concentración		
		Débil	Media	Fuerte
Sólidos totales (ST)	mg/l	350	720	1.200
Disueltos, totales (SDT)	mg/l	250	500	850
Fijos	mg/l	145	300	525
Volátiles	mg/l	105	200	325
Sólidos en suspensión (SS)	mg/l	100	220	350
Fijos	mg/l	20	55	75
Volátiles	mg/l	80	165	275
Sólidos sedimentables	ml/l	5	10	20
Demanda bioquímica de oxígeno, mg/l: 5 días, 20 °C (DBO ₅ , 20 °C)	mg/l	110	220	400
Carbono orgánico total (COT)	mg/l	80	160	290
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l	250	500	1.000
Nitrógeno (total en la forma N)	mg/l	20	40	85
Orgánico	mg/l	8	15	35
Amoníaco libre	mg/l	12	25	50
Nitritos	mg/l	0	0	0
Nitratos	mg/l	0	0	0
Fósforo (total en la forma P)	mg/l	4	8	15
Orgánico	mg/l	1	3	5
Inorgánico	mg/l	3	5	10
Cloruros ^a	mg/l	30	50	100
Sulfato ^a	mg/l	20	30	50
Alcalinidad (como CaCO ₃)	mg/l	50	100	200
Grasa	mg/l	50	100	150
Coliformes totales ^b	n.º/100 ml	10 ⁶ -10 ⁷	10 ⁷ -10 ⁸	10 ⁷ -10 ⁹
Compuestos orgánicos volátiles (COVs)	µg/l	<100	100-400	>400

Fuente: Metcalf & Eddy, Inc. Ver [32]

Definición de términos básicos

- **Contaminación:** Se entiende por contaminación la introducción directa o indirecta en el medio ambiente, de cualquier de residuo peligroso que pueda resultar nocivo para la salud humana, la vida vegetal o animal, dañe los recursos vivos o los ecosistemas, impida el disfrute de lugares de esparcimiento u obstaculice otros usos legítimos del medio ambiente. [35]

- **Cuenca hidrológica:** es aquel territorio donde las aguas fluyen al mar a través de una red de cauces que convergen en uno principal, o bien, el territorio en donde las aguas forman una unidad autónoma o diferenciada de otras, aún sin que se desemboquen en el mar. La cuenca, conjuntamente con los acuíferos, constituye la unidad de gestión de recurso hídrico. [13] Otros términos con los que nos referimos a cuencas son “zona de captación”, “cuenca de drenaje” y “cuenca fluvial”. [1]
- **Eutrofización:** es la proliferación excesiva de algas (fitoplancton) provocada por una disminución en la limitación de sus factores de crecimiento, como temperatura, intensidad luminosa o concentración de nutrientes principales. Se debe al aumento de nitrógeno y fósforo, generalmente, afectando a la calidad del agua y a la biodiversidad. [33]

Materiales y métodos

Tipo y nivel de investigación

Tipo de investigación

Según su finalidad, la tesis es del tipo aplicativa, y es que los resultados hallados resultaron de tomar las fórmulas (que recomienda la metodología de la WFN) y desarrollarlas en la realidad local, no se encontraron valores nuevos producto ensayos de laboratorio, por lo que resulta ser una tesis no experimental, sino que se recopilaban datos directamente en campo.

También se puede considerar al diseño de tipo cuantitativo, ya que se obtuvieron valores numéricos de acuerdo al cálculo empleado dentro de la obtención de HH.

Nivel de investigación

La presente tesis es *transversal*, porque se tomaron datos de forma observacional en un lapso de tiempo, sin alterar sus características naturales, esto significa que no se consideró su evolución en el tiempo. Además, resultó ser más económico.

Dentro de las investigaciones transversales está el tipo *descriptiva*, pues se llegó a conocer y cuantificar la HH consumida dentro de los centros educativos estatales, tomando en cuenta cada uno de los requisitos para llegar a cálculos fiables y concisos.

Diseño de la investigación

El tipo de diseño que se emplea resulta ser *cuantitativo*, porque hubo datos recolectados, en base a números, estadísticas y otras cantidades que se procesaron para obtener resultados, pero también, se explican los significados de estos valores para indicar conceptos tales como el impacto que generó la HH dentro de cada centro educativo.

Todo esto significará una gran guía y base para investigaciones futuras, puesto el cálculo de la HH a nivel nacional es un tema poco tocado por los estudiantes de pregrado.

Población y muestra

Población

La población propiamente dicha a estudiar fue el número de alumnos, docentes y otras personas que impartan actividades en cada centro educativo, la investigación no considera o busca representar a la población total de cada distrito, pues el objetivo se enfoca en los consumidores que existen en los colegios no en la ciudad ni otras entidades.

En este punto se ve características generales de los distritos de Jayanca, Túcume, Incahuasi y Cañaris, todos dentro de la región de Lambayeque; donde están ubicados los centros educativos, tanto en la zona urbana como en zona rural.

- **Jayanca:** distrito perteneciente a la provincia de Lambayeque. Hasta el año 2017 cuenta con 17204 habitantes según INEI. Posee una superficie de 680.96 km². La temperatura promedio al año es 22 °C, la cual puede variar desde los 27 °C hasta los 17 °C (el pico más alto en el clima es de 35 °C en verano mientras que en invierno se alcanzan los 10.5 °C). Las lluvias aparecen en los meses de febrero, marzo y abril; julio y agosto, son épocas con escasas lluvias.
- **Túcume:** distrito perteneciente a la provincia de Lambayeque. Hasta el año 2017 cuenta con 20951 habitantes según INEI. Posee una superficie de 67 km². Su clima es seco, con ecosistemas secos, por lo que las precipitaciones son escasas.
- **Incahuasi:** distrito perteneciente a la provincia de Ferreñafe. Hasta el año 2017 cuenta con 14484 habitantes según INEI. Posee una superficie de 443.91 km². A través de este distrito cruza el Río La Leche.

- **Cañaris:** distrito perteneciente a la provincia de Ferreñafe. Hasta el año 2017 cuenta con 13038 habitantes según INEI. Posee una superficie de 284.88 km². A través de este distrito cruza el río Kañaryaku, el río Nivintos y el río Chotano.

Muestra

Se abordó la HH de los siguientes 04 centros educativos:

1. I.E. N° 10127 – Nuestra Señora de la Asunción, ubicado en Jayanca.

Ilustración 17 - Centro educativo N° 10127



Fuente: Sitio web de Facebook de la institución educativa N° 10127

Tabla 8 - Ficha de datos de la institución educativa de Jayanca

10127 NUESTRA SEÑORA DE LA ASUNCION			
Código modular	0346049	Dirección	Avenida Elias Aguirre 1002
Anexo	0	Localidad	PUEBLO NUEVO
Código de local	284249	Centro Poblado	PUEBLO NUEVO
Nivel/Modalidad	Primaria	Área geográfica	Urbana
Forma	Escolarizado	Distrito	Jayanca
Género	Mixto	Provincia	Lambayeque
Tipo de Gestión	Pública de gestión directa	Departamento	Lambayeque
Gestión / Dependencia	Sector Educación	Código de DRE o UGEL que supervisa el S. E.	140003
Director(a)	Quiroz Ojeda Julio Moises	Nombre de la DRE o UGEL que supervisa el S.E.	UGEL Lambayeque
Teléfono		Característica (Censo Educativo 2021)	Polidocente completo
Correo electrónico		Latitud	-6.38581
Página web		Longitud	-79.82091
Turno	Continuo sólo en la mañana		
Tipo de programa	No aplica		
Estado	Activo		

Fuente: Tomado de ESCALE. Ver [36]

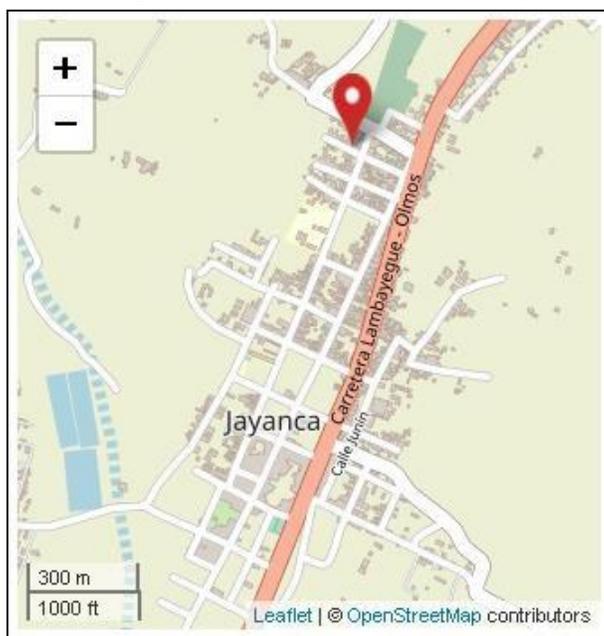
Tabla 9 - Población estudiantil en el colegio de Jayanca

Matrícula por periodo según grado, 2004-2021																		
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Total	186	186	200	196	182	175	168	155	146	150	132	142	144	139	126	122	188	198
1° Grado	30	30	31	19	30	27	26	25	24	23	18	20	21	22	16	18	36	34
2° Grado	35	35	35	38	25	28	28	32	27	21	25	28	26	24	18	24	42	34
3° Grado	30	30	31	31	30	17	29	23	34	29	20	23	29	24	26	16	28	38
4° Grado	35	35	30	40	30	34	21	27	19	33	21	16	26	28	16	22	26	32
5° Grado	31	31	41	30	40	37	32	17	27	16	31	21	19	22	28	20	32	30
6° Grado	25	25	32	38	27	32	32	31	15	28	17	34	23	19	22	22	24	30

Docentes, 2004-2021																		
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Total	8	8	8	8	7	8	7	7	8	7	7	6	6	6	6	7	7	8

Fuente: Tomado de ESCALE. Ver [36]

Ilustración 18 - *Mapa de ubicación local del colegio en Jayanca*



Fuente: Tomado de ESCALE. Ver [36]

Tabla 10 - *Acceso al centro educativo N° 10127*

Inicio - Fin	Distancia	Tiempo	Tipo de vía	Medio de transporte
Chiclayo – Paradero de los Pueblos	2 km	10 min	Asfaltada	Automóvil
Paradero de los Pueblos - Jayanca	47 km	1h 5 min	Asfaltada	Automóvil

Fuente: Adaptación propia de Google Earth

2. I.E. N° 10226 – Nuestra Señora de la Merced, ubicado en Túcume

Ilustración 19 - Centro educativo N° 10226

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11 - Ficha de datos de la institución educativa de Túcume

10226 NUESTRA SEÑORA DE LA MERCED			
Código modular	0347039	Dirección	San Pedro Tucume
Anexo	0	Localidad	SAN PEDRO TUCUME
Código de local	277324	Centro Poblado	TUCUME
Nivel/Modalidad	Primaria	Área geográfica	Urbana
Forma	Escolarizado	Distrito	Tucume
Género	Mixto	Provincia	Lambayeque
Tipo de Gestión	Pública de gestión directa	Departamento	Lambayeque
Gestión / Dependencia	Sector Educación	Código de DRE o UGEL que supervisa el S. E.	140003
Director(a)	Díaz Perez Wilmer	Nombre de la DRE o UGEL que supervisa el S.E.	UGEL Lambayeque
Teléfono		Característica (Censo Educativo 2021)	Polidocente completo
Correo electrónico		Latitud	-6.51319
Página web		Longitud	-79.86155
Turno	Continuo mañana y tarde		
Tipo de programa	No aplica		
Estado	Activo		

Fuente: Tomado de ESCALE. Ver [36]

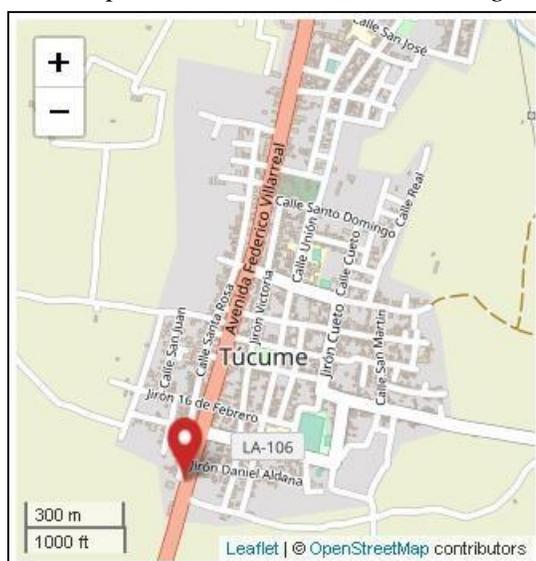
Tabla 12 - Población estudiantil en el colegio de Túcume

Matrícula por periodo según grado, 2004-2021																		
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Total	825	831	847	833	724	737	774	800	808	763	760	781	797	830	830	841	880	858
1° Grado	110	128	110	149	106	134	122	137	130	110	112	144	141	140	149	142	145	132
2° Grado	148	120	143	116	138	121	146	138	115	134	117	119	148	142	141	151	149	144
3° Grado	181	157	120	143	108	127	138	143	147	107	132	125	133	156	135	142	150	148
4° Grado	145	174	149	111	126	122	128	135	150	139	115	131	135	127	149	141	143	151
5° Grado	107	149	177	139	104	126	114	129	134	144	135	118	127	141	118	147	145	140
6° Grado	134	103	148	175	142	107	126	118	132	129	149	144	113	124	138	118	148	143

Docentes, 2004-2021																		
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Total	24	28	25	24	21	25	25	25	24	25	25	25	25	28	28	30	28	27

Fuente: Tomado de ESCALE. Ver [36]

Ilustración 20 - Mapa de ubicación local del colegio en Túcume



Fuente: Tomado de ESCALE. Ver [36]

Tabla 13 - Acceso al centro educativo N° 10226

Inicio - Fin	Distancia	Tiempo	Tipo de vía	Medio de transporte
Chiclayo – Paradero de los Pueblos	2 km	10 min	Asfaltada	Automóvil
Paradero de los Pueblos - Tucume	32 km	45 min	Asfaltada	Automóvil

Fuente: Adaptación propia de Google Earth

3. I.E. N° 10084 – Virgen de las Mercedes, ubicado en Incahuasi

Ilustración 21 - Centro educativo N° 10084

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14 - Ficha de datos de la institución educativa de Incahuasi

10084			
Código modular	0345629	Dirección	24 De Junio
Anexo	0	Localidad	CANCHACHALA
Código de local	282504	Centro Poblado	INCAHUASI
Nivel/Modalidad	Primaria	Área geográfica	Rural
Forma	Escolarizado	Distrito	Incahuasi
Género	Mixto	Provincia	Ferreñafe
Tipo de Gestión	Pública de gestión directa	Departamento	Lambayeque
Gestión / Dependencia	Sector Educación	Código de DRE o UGEL que supervisa el S. E.	140002
Director(a)	Calderón Manayay Maria Cristina	Nombre de la DRE o UGEL que supervisa el S.E.	UGEL Ferreñafe
Teléfono		Característica (Censo Educativo 2021)	Polidocente completo
Correo electrónico		Latitud	-6.23647
Página web		Longitud	-79.31639
Turno	Continuo sólo en la mañana		
Tipo de programa	No aplica		
Estado	Activo		

Fuente: Tomado de ESCALE. Ver [36]

Tabla 15 - Población estudiantil de primaria en el colegio de Incahuasi

Matrícula por periodo según grado, 2004-2021																		
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Total	314	343	343	324	319	307	298	308	311	315	336	337	354	383	380	378	370	340
1° Grado	47	49	42	52	34	50	32	56	55	45	60	60	61	61	51	54	46	38
2° Grado	71	67	65	56	72	60	71	59	60	73	59	73	76	84	86	64	62	48
3° Grado	56	69	62	49	60	61	44	55	60	57	67	65	69	68	67	91	70	61
4° Grado	60	60	61	46	56	53	61	40	47	53	49	52	67	62	67	53	81	67
5° Grado	45	58	68	69	41	52	46	58	48	55	48	42	46	62	50	63	49	79
6° Grado	35	40	45	52	56	31	44	40	41	32	53	45	35	46	59	53	62	47

Docentes, 2004-2021																		
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Total	8	10	11	11	9	11	11	15	12	13	13	13	12	12	14	17	16	17

Fuente: Tomado de ESCALE. Ver [36]

Tabla 16 - Población estudiantil de secundaria en el colegio de Incahuasi

Matrícula por periodo según grado, 2004-2021																		
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Total	259	286	295	272	284	342	341	335	348	361	333	337	341	352	344	370	393	393
1° Grado	70	80	95	81	85	141	96	89	86	94	98	100	94	104	96	107	142	60
2° Grado	66	63	52	63	60	65	107	81	88	90	66	81	78	76	75	92	76	138
3° Grado	63	52	59	44	54	56	60	91	65	61	72	53	64	65	65	59	60	74
4° Grado	36	56	35	51	44	45	37	41	73	55	48	61	50	64	55	61	63	61
5° Grado	24	35	54	33	41	35	41	33	36	61	49	42	55	43	53	51	52	60

Docentes, 2004-2021																		
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Total	13	12	13	14	13	15	16	19	15	17	16	14	18	18	17	18	17	17

Fuente: Tomado de ESCALE. Ver [36]

Ilustración 22 - Mapa de ubicación local del colegio en Incahuasi



Fuente: Tomado de Google Earth

Tabla 17 - Acceso al centro educativo N° 10084

Inicio - Fin	Distancia	Tiempo	Tipo de vía	Medio de transporte
Chiclayo – Terminal Epsel	3.5 km	15 min	Asfaltada	Automóvil
Terminal Epsel - Ferreñafe	19 km	30 min	Asfaltada	Automóvil
Ferreñafe - Batán Grande	30 km	40 min	Asfaltada	Automóvil
Batán Grande - Incahuasi	72 km	3h 30 min	Trocha	Automóvil

Fuente: Adaptación propia de Google Earth

4. I.E. N° 10062 – San Juan, ubicado en Cañaris.

Ilustración 23 - Centro educativo N° 10062

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18 - Ficha de datos Primaria y Secundaria del colegio de Cañaris

10062 SAN JUAN DE CAÑARIS			
Código modular	0345413	Dirección	Kañaris
Anexo	0	Localidad	
Código de local	281929	Centro Poblado	CAÑARES
Nivel/Modalidad	Primaria	Área geográfica	Rural
Forma	Escolarizado	Distrito	Cañaris
Género	Mixto	Provincia	Ferreñafe
Tipo de Gestión	Pública de gestión directa	Departamento	Lambayeque
Gestión / Dependencia	Sector Educación	Código de DRE o UGEL que supervisa el S. E.	140002
Director(a)	Huamán Sanchez Santos Marcial	Nombre de la DRE o UGEL que supervisa el S.E.	UGEL Ferreñafe
Teléfono		Característica (Censo Educativo 2021)	Polidocente completo
Correo electrónico		Latitud	-6.04434
Página web		Longitud	-79.26495
Turno	Continuo sólo en la mañana		
Tipo de programa	No aplica		
Estado	Activo		

Fuente: Tomado de ESCALE. Ver [36]

Tabla 19 - Población estudiantil de primaria en el colegio de Cañarís

Matrícula por periodo según grado, 2004-2021																		
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Total	133	140		135	155	156	159	158	164	160	156	140	145	144	134	129	125	117
1° Grado	18	21		32	28	34	23	26	25	21	22	19	22	24	16	17	20	16
2° Grado	30	21		25	31	26	37	29	31	32	27	28	24	25	28	16	22	20
3° Grado	33	39		20	27	31	25	32	34	31	28	24	29	28	22	34	19	23
4° Grado	21	22		23	23	24	27	21	25	25	35	25	19	23	24	17	24	18
5° Grado	21	21		21	23	25	27	25	25	29	17	28	22	21	24	27	18	23
6° Grado	10	16		14	23	16	20	25	24	22	27	16	29	23	20	18	22	17

Docentes, 2004-2021																		
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Total	3	4		4	4	6	5	7	6	6	6	6	7	6	6	6	7	7

Fuente: Tomado de ESCALE. Ver [36]

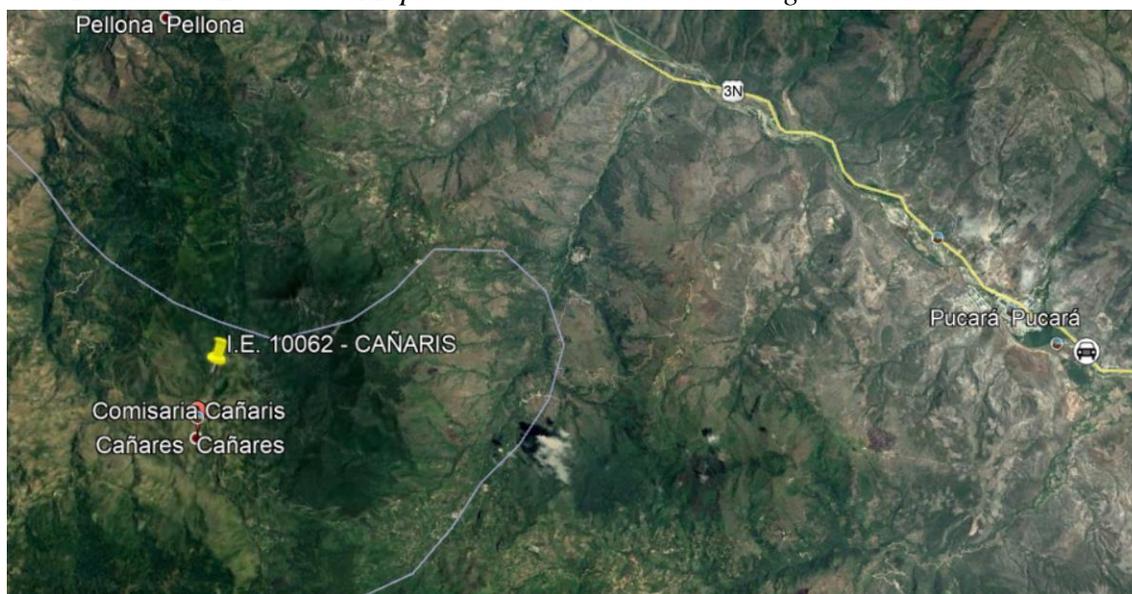
Tabla 20 - Población estudiantil de secundaria en el colegio de Cañarís

Matrícula por periodo según grado, 2004-2021																		
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Total	49	66		77	77	82	79	78	89	93	93	115	133	125	129	131	120	141
1° Grado	21	20		15	16	21	20	24	30	30	21	36	39	38	38	25	27	37
2° Grado	15	16		18	15	20	18	16	21	24	25	19	31	31	36	41	18	27
3° Grado	13	15		16	18	14	16	13	14	19	21	26	22	22	20	31	35	18
4° Grado	0	15		14	14	12	13	13	11	12	16	21	23	16	20	18	24	36
5° Grado	0	0		14	14	15	12	12	13	8	10	13	18	18	15	16	16	23

Docentes, 2004-2021																		
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Total	4	6		8	4	9	10	9	9	9	9	10	9	9	9	9	9	9

Fuente: Tomado de ESCALE. Ver [36]

Ilustración 24 - Mapa de ubicación local del colegio en Cañaris



Fuente: Tomado de Google Earth.

Tabla 21 - Acceso al centro educativo N° 10062

Inicio - Fin	Distancia	Tiempo	Tipo de vía	Medio de transporte
Chiclayo – Agencia Bus interprovincial	3.5 km	16 min	Asfaltada	Automóvil
Agencia Bus interprovincial - Puente San Lorenzo (Pucará)	209 km	6h 00 min	Asfaltada	Bus
Puente San Lorenzo - Cañaris (Distrito)	55 km	3h 00 min	Trocha	Camión/ camioneta

Fuente: Adaptación propia de Google Earth

Criterios de selección

En el apartado *Población* se mencionó que no se busca representar a todos los habitantes, aquí igualmente se indica que no se busca indicar que el colegio estudiado por distrito, sea representativo del resto de instituciones educativas, pues el objetivo de la investigación es evaluar la HH de cada centro educativo independientemente de dónde se encuentre localizado. Cada uno de los criterios fueron propiamente decididos por el autor de la investigación, ya que la HH no discrimina edificaciones educativas, oficinas, etc. No obstante, se consideraron requisitos previos al momento de seleccionar un colegio:

1. Que tengan agua y desagüe, la HH no tendría sentido si no hay agua dentro de las instalaciones académicas de educación básica.
2. Que posean áreas verdes, pues no se encontraría la HH verde, lo cual es parte de los objetivos específicos mencionados al inicio de la investigación.
3. Que sean de gestión pública, pues no resultó el fácil acceso en colegios particulares en las instituciones urbanas, y en las zonas rurales no existe la gestión privada.

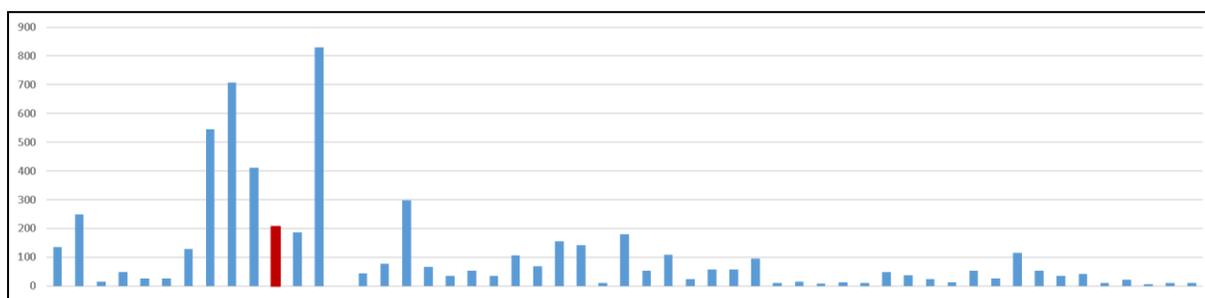
Estos centros educativos se seleccionaron teniendo en cuenta:

- El *nivel de enseñanza impartida*, es decir, hay PRIMARIA y SECUNDARIA.
- Además del *turno de enseñanza*, es decir hay MAÑANA Y TARDE.
- Y el no menos importante, *el clima*, hay COSTA Y SIERRA.

Como se mencionó, no se busca decir que estos colegios sean un ejemplo de lo que suceda en otros similares, pero ello no significa que se ha elegido al azar y que no sean importantes dentro de cada zona, sino que se ha podido elegir los colegios con mayor población estudiantil de cada distrito.

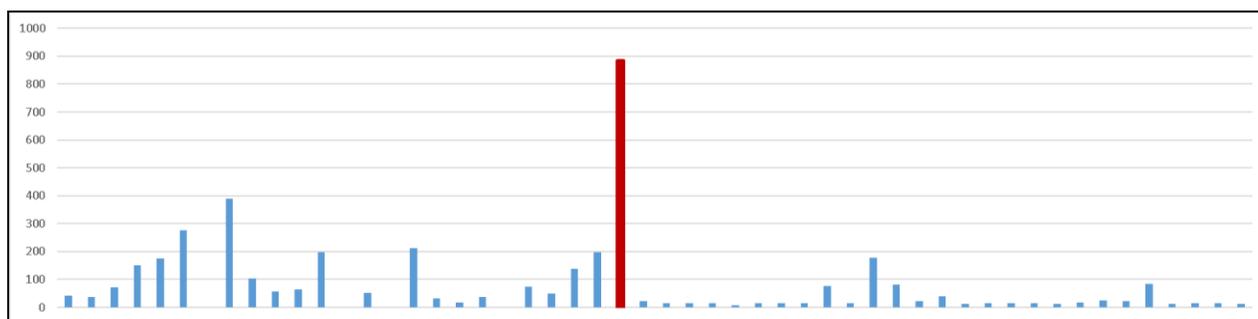
En los gráficos siguientes, se representa mediante barras el resultado de sumar estudiantes y profesores, representando la población de cada colegio y se compara con el resto de escuelas existentes en cada distrito, estos valores fueron obtenidos de ESCALE, y se seleccionó según el número de personas hasta el 2021, porque el 2022 aún no había culminado durante la realización de esta investigación. El colegio seleccionado, con mayor población, se cumple en todos los distritos a excepción de Jayanca pues ahí algunos colegios no tenían el número de suministro eléctrico, ni áreas verdes o eran alejados de la zona urbana, sin embargo, se encuentra dentro de los 10 colegios más grandes del distrito.

Gráfico 8 - Población de 206 personas frente al resto de colegios en Jayanca



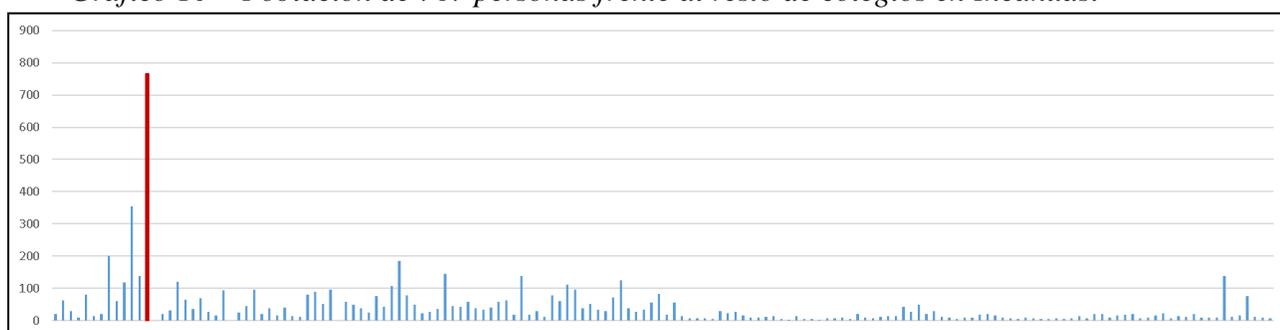
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 9 - Población de 885 personas frente al resto de colegios en Túcume



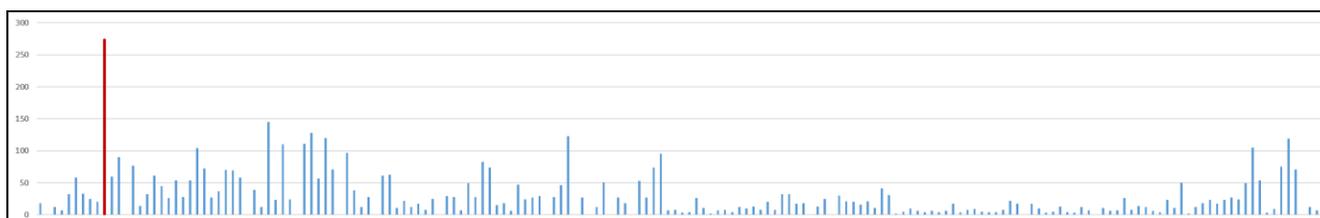
Fuente: Elaboración propia

Gráfico 10 - Población de 767 personas frente al resto de colegios en Incahuasi



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 11 - Población de 274 personas frente al resto de colegios en Cañaris



Fuente: Elaboración propia

Operacionalización de variables

Tabla 22 - Variables que abarca la investigación

Variables	Dimensión	Indicador	Instrumento
Independiente	Agua en áreas verdes	Precipitaciones Área total	SENAMHI Medición en campo
	Agua empleada en los centros educativos	Agua de materiales educativos	Agua virtual que poseen los útiles Equivalencias hídricas
		Hábitos de consumo	Volumen usado por la comunidad escolar Consultas personales aleatorias en campo
		Huella directa	Afluente tomado de una zona de captación Fórmulas proporcionadas por la WFN
Dependiente		Equivalencias hídricas de los insumos utilizados	
	Huella Hídrica	Escasez de agua	Disponibilidad real del río (zona de captación) que alimenta a los centros educativos
		Sostenibilidad	Nivel de contaminación del agua Juicios en base a los datos finales
			Propuestas de reducción de HH

Fuente: Elaboración Propia

Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos

Métodos

Metodología de la WFN

La guía que se tomó en cuenta es la WFA (Water Footprint Assessment), el cual es el método propuesto y divulgado por la WFN, no es tan arcaico como otros modelos que evalúan los recursos del planeta. Esta metodología es muy aplicada en la comunidad internacional académica, pues busca hacer el uso sostenible del agua dulce. Tiene como su principal creador el inventor del concepto de la HH, el dr. Arjen Hoekstra, quien murió el 18 de noviembre de 2019, en los Países Bajos, bajo circunstancias fortuitas; sin embargo, sus investigaciones y aportes han llevado a que 130 organizaciones (hasta el 16 de octubre de 2010), sean socias científicas de la WFN. [1]

Se eligió esta metodología por la facilidad que resultó su aplicación, frente a otros métodos tales como el del ciclo de vida que propone la ISO 14046: “Gestión Ambiental- Huella de agua- Principios, requisitos y directrices” publicada en el 2014; además que la WFN incluye la sostenibilidad dentro de la evaluación como una fase obligatoria (estas fases ya fueron mencionadas en el apartado *Evaluación de la huella hídrica*).

La presente investigación pudo realizar las cuatro fases que comprende la evaluación de la HH. La primera fase abordó los objetivos y el punto de interés de la HH, los cuales para la tesis son los mismos que se indican en los últimos párrafos de la introducción. La segunda fase fue la recolección en campo de algunos datos para realizar los diferentes cálculos. En la tercera fase se evaluó la sostenibilidad que exige tener en cuenta el método WFA. La fase final, fue unas recomendaciones para reducir la HH encontrada, especialmente la HH gris, dentro de los centros educativos que se consideraron.

Establecimiento del alcance

Como se mencionó en el apartado *Cuantificación de la huella hídrica*, este trabajo se realiza en un nivel C. El lugar donde se desarrolla es cada uno de los centros educativos estudiados, durante el año 2022. Se consideraron los consumos para la HH directa (agua para las áreas verdes y usos higiénicos) y los consumos para la HH indirecta (electricidad, papel y demás insumos) de agua por parte de la comunidad estudiantil y personal docente.

Contabilidad de la HH

Tal como recomienda la WFN, descrito en el apartado *Cuantificación de la huella hídrica*, se evaluó la HH de un grupo de consumidores, es importante mencionar que el método no evalúa para instituciones, pero se puede dar un enfoque orientado en su población. Siguiendo al método, se dividió el cálculo en dos ramas principales: HH directa y HH indirecta.

En el consumo directo, fue más conveniente calcular sus tres componentes (HH azul, HH verde y HH gris) de forma individual. Por otro lado, en el consumo indirecto, estos componentes se combinaron, pero el volumen calculado considera todos los productos.

El resultado último obtenido es un volumen de agua, y como se mencionó en las bases teóricas, las unidades se expresan en volumen de agua por unidad temporal.

Cálculo de la HH directa

Recordando lo visto en el apartado *Huella Hídrica Directa e Indirecta*, el uso directo que se hace del agua por toda la población estudiantil, es muy amplia en todos los lugares que alberguen personas, en este punto se ha dividido en sus tres componentes.

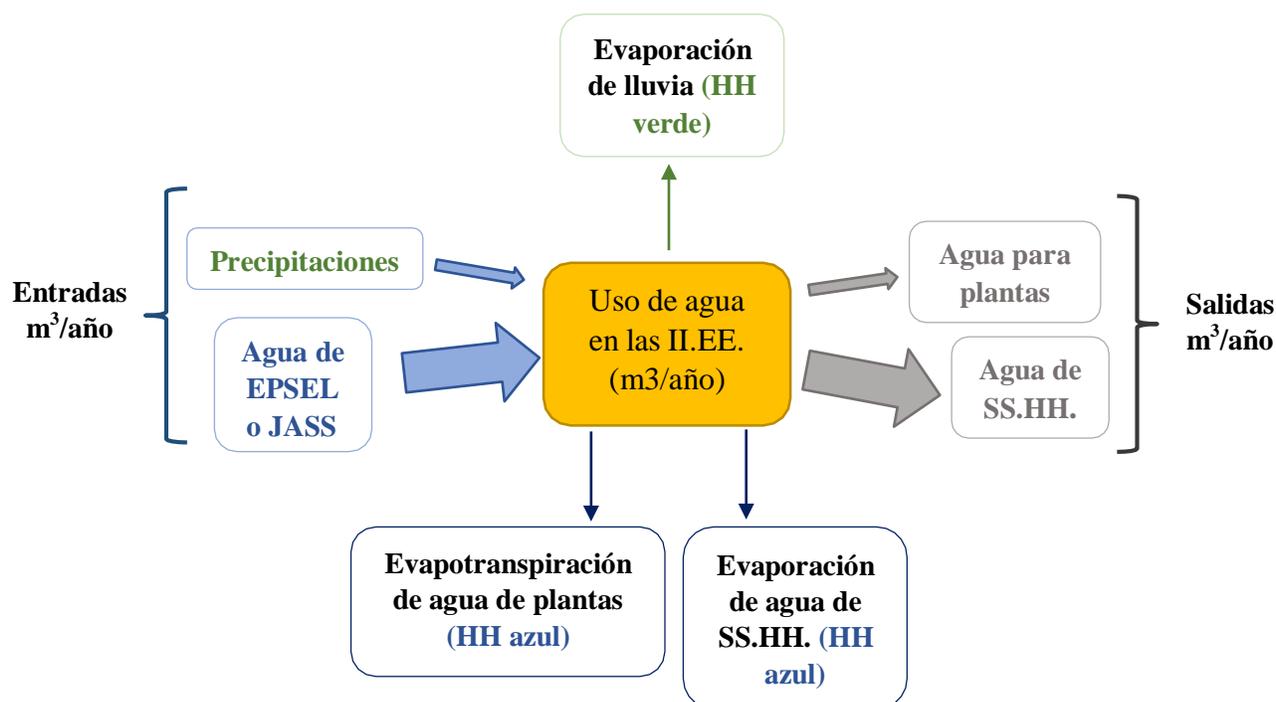
Durante el cálculo, para tener una mejor organización del recorrido que hace el agua dentro de las instalaciones educativas se generó un balance hídrico, que tiende a ser el mismo para todos los colegios, en relación a los componentes, pero por obvias razones no en cantidades. Esto se observa en el gráfico 8, donde se divide en entradas y salidas de agua, así como aquellos procesos del ciclo hidrológico (evaporaciones) que son innatos y considerados, aunque son pequeños en un centro educativo.

En las entradas, tenemos las precipitaciones, las cuales sirven para hallar la HH verde; el agua que abastece a las instituciones por EPSEL (en el caso de los colegios urbanos) y en algunos casos fue de “ojos de agua” (para los colegios de la zona rural), esto junto al consumo humano forma parte de la HH azul. En las salidas, lo que resulta tras utilizar los SS.HH. y otros usos, también forma parte del cálculo la HH azul.

Por el lado de la HH gris, la cual ya se explicó que es volumen deducido, no se integra en el balance propuesto; y su función es diluir el contaminante seleccionado (DBO). Las aguas contaminadas

son evacuadas a la red pública de alcantarillado de cada distrito, los cuales en los colegios costeros pasan por una PTAR antes de ser vertidas en un cuerpo de agua, mientras que en los colegios alto andinos pasan a través de pequeñas lagunas de oxidación antes de ir a quebradas.

Gráfico 12 - Balance hídrico modelo de los centros educativos



Fuente: Elaboración propia

Para terminar la HH directa resulta pues la resta entre las entradas y salidas, ya que de ser iguales en cantidad no existe un consumo.

Huella Verde

Dentro del cálculo para una institución, la HH verde resulta un valor menor y es que nos enfocamos solamente en la precipitación retenida en las áreas verdes. Si estuviéramos dentro del sector agrícola o similares, donde el punto de interés no sería la población estudiantil sino un cultivo, el valor numérico crece de manera exponencial.

Para contabilizar el agua verde fue necesario obtener los datos de:

- Área superficial en unidades de m^2 de la vegetación de cada institución. Obtenido en campo, midiendo con cinta métrica, llevando a formas simples como rectángulos.

- Datos mensuales promedio de las precipitaciones durante el 2019. Estas mediciones fueron recabadas de la página web del SENAMHI.

Calculamos la precipitación efectiva (descrita en el apartado *Cuantificación de la huella hídrica*), luego cada dato obtenido (doce en total, al ser por cada mes) se transforma de mm a m³, esto es un cálculo simple ya que, si tenemos en mm y queremos obtener un volumen, solo multiplicamos por el área de la vegetación donde cae la precipitación, la cual está medida en m².

Como vimos en el balance hídrico, el agua entrante de las precipitaciones contribuye al cálculo de la HH verde. Este componente representa a la evaporación de agua de una reducida precipitación que existe en la región Lambayeque, por ello como se dijo al inicio ha resultado ser un valor pequeño en relación al resto de componentes.

Huella Azul

El agua azul resulta de: $HH\ azul = afluentes - efluentes$

Afluentes (entradas de agua)

Es el agua suministrada a cada una de las instituciones, se consideró:

- Datos mensuales del consumo de agua que se les suministró durante el año 2019, los cuales se tuvo que hacer un volumen teórico, suponiendo en función de la dotación que recomienda la norma peruana IS.010 por cada persona que hace uso de la institución educativa y el número de habitantes durante el año considerado.

Efluentes (salidas de agua)

Es el agua empleada por la comunidad estudiantil, en los SS.HH., riego de sus áreas verdes y otros usos importantes. Para calcular el volumen se consideró:

a. Agua usada en el aseo personal por parte de la comunidad educativa

Este punto resulta de un gran análisis, y es que expresar los hábitos y maneras de usar los SS.HH. son variables tanto en tiempo, lugar y por persona, aunque se use el mismo equipo sanitario, todo

ello fue expresado en cálculos simples pero obtenidos de manera progresiva. Este punto se completó haciendo uso de:

- *Encuestas personales hechas in situ*, realizado a algunos estudiantes, docentes, y personal de limpieza, elegidos de manera aleatoria y en un número reducido, pues el trabajar con estudiantes de educación básica, siempre resulta delicado y complejo. Esto fue con el fin de recopilar los datos de un grupo y extrapolarlos a toda la comunidad estudiantil, estos fueron referentes al uso de agua que se da en los servicios de aseo, el tiempo dedicado al lavado de manos, n° de descargas a los inodoros, entre otros.

b. Agua utilizada para irrigar las áreas verdes

Para calcular este punto fue necesario recolectar los datos de:

- Área superficial en unidades de m^2 de la cobertura vegetal de cada institución.
- Datos meteorológicos promedios mensuales del año seleccionado, tales como humedad (%), horas de luz solar (hras), velocidad del viento (km/h), temperatura máxima y mínima ($^{\circ}C$). Resulta ser de las mismas estaciones seleccionadas para la HH verde, además de datos de su cota, latitud y longitud de ellas.

Las estaciones meteorológicas seleccionadas para el estudio fueron tomadas de la base de datos del SENAMHI. Con ellos se encontró la evapotranspiración referencial (ET_o), concepto explicado dentro de las Bases Teóricas. Con ayuda de esos datos, el software CROPWAT, se ingresan los datos meteorológicos recolectados y algunos datos faltantes es completado por el software CLIMWAT, se comienza el cálculo de manera automática de las columnas de radiación y ET_o tomando como referencia un cultivo usual, el cual es el pasto, cuyas características en cuestiones de suministro hídrico guardan relación muy estrecha con la cobertura vegetal encontrada en los colegios de la región norte.

Los resultados que proporciona el programa CROPWAT, se multiplican con el CWR, y luego se van restando los volúmenes de las precipitaciones, hallados en la HH Verde, ya que estas contribuyen en el riego de las áreas verdes. Obteniendo al final el agua neta necesaria para los cultivos descritos.

Huella Gris

Ya se expuso largamente el concepto y el alcance de la HH Gris dentro de las *Bases Teóricas*, para complementar es necesario considerar los parámetros de contaminación normados por el MINAM, los cuales aparecen en el documento Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, publicado en el diario El Peruano, el 19 de diciembre de 2015, mediante Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, para ver el documento ir a [37].

Para realizar los cálculos, es necesario elegir un contaminante presente en el efluente, los cuales son variados, el cual será diluido hasta alcanzar el límite sugerido por la norma del MINAM. En esta investigación se usó el DBO, su elección se explica dentro del apartado de *Resultados y Discusión*. Se usó la ecuación 4, obteniéndose un gran volumen por cada colegio.

Cálculo de la HH indirecta

En este punto, no se puede fragmentar fácilmente la HH en sus componentes, pues el punto de interés está dentro de las instituciones no en los productos que llegan. Por ello se trabajó todo en un solo volumen. Se contabilizó en base a sus equivalencias hídricas los cuales aparecen en diversas bibliografías, cada uno de:

- Datos mensuales de la energía eléctrica durante el año 2019, que se infirió en base a recibos del 2022, para realizar cada una de sus actividades.
- Datos de papel adquirido de forma aproximada.
- Datos de otros materiales usados en los salones de clase.
- Datos de cantidades de insumos de limpieza.

Sostenibilidad de la HH

Tras realizarse la contabilización de la HH, procedemos con la Fase 3, debemos revisar lo mencionado en el apartado *Sostenibilidad de la HH*. La investigación al ser orientada a las personas, consideraremos las ramas sociales y ambientales; el aspecto económico no se evalúa porque no hubo intervención alguna de variables monetarias, y esta evaluación no ha presentado gasto alguno para la población de los centros educativos. Las facturaciones de agua y luz resultan insuficientes para poder hacer mención.

La evaluación, según recomienda la WFN, se debe hacer teniendo en cuenta la zona de captación, esto quiere decir que se debe evaluar el caudal del río principal, de donde se toma para la afluente de agua. Siguiendo también con las recomendaciones, para tener una evaluación más real y comprensible, no se debe obtener datos de año tras año, ni tampoco de forma diaria, basta con que sea mensual, para estudiar su evolución durante todo un periodo anual.

Sostenibilidad de la HH verde

Evaluar el impacto que genera este componente es poco relevante, pues el volumen es ínfimo en comparación a los otros dos componentes. Como se mencionó, es producto de las reducidas áreas verdes existente en las instituciones y que la investigación tiene como centro de interés a los consumidores, no al sector de cultivo.

Sostenibilidad de la HH azul

Dimensión ambiental

En este punto de análisis, fue necesario obtener los datos mensuales del caudal de los principales ríos que sirven como fuentes de agua para su posterior uso en los centros educativos. La presente investigación, evalúa la fuente que toma EPSEL, la cual viene a ser el río Chancay Lambayeque, en lo que respecta a los distritos de Jayanca y Túcume, mientras que, en los distritos alto andinos, como son Incahuasi y Cañaris, se consultó en sus respectivas municipalidades y JASS, los cuales indicaron que su fuente viene de “ojos de agua” y reciben un tratamiento de cloración.

Otro punto a considerar es el parámetro de caudal ecológico, lo cual se abordó dentro de las Bases Teóricas, y se estableció que es posible extraer hasta un 20% del curso fluvial sin alterar o afectar los componentes dependientes del agua. Pero en este estudio se consideró un 10%.

Dimensión social

Este punto tomamos como referencia lo que indica un documento de las NU, el cual lleva por título, International Decade for Action “Water for Life” 2005-2015, producto de La Asamblea General de las NU, con respecto al Derecho Humano al Agua y al Saneamiento, que se realizó en Julio del año 2010 [38]. Se propusieron una serie de pautas, donde se menciona que la OMS recomienda una ratio de volumen de agua dulce para que los seres humanos realizan sus actividades básicas

(lavar ropa, aseo del hogar, etc), así como cubrir sus necesidades vitales (agua para hidratarse, cocinar, higiene entre otros.) y asegurar pocos problemas de salud.

Siendo el volumen recomendado por persona de 50-100 litros diarios, esto se compara con un día de asistencia a clases que realiza la población estudiantil, lo cual por obvias razones debe superar el rango mínimo recomendado. El motivo se basa ya que las NU, recomiendan esto en función a que debe ser suficiente (para realizar todas las tareas ya descritas), seguro (segura de consumir, libre de microorganismos y sustancias químicas que afecten la salud, la OMS ayuda en este punto), aceptable (debe tener sabor, color y olor idóneos para las actividades, aunque se sabe que carece de ellos) y asequible (los costos deben ser bajos y estar disponibles para todos, su costo no debe exceder el 3% de un ingreso básico).

La actividad principal de los centros educativos es la enseñanza por lo que el uso destinado al aseo y otros consumos del agua dentro de las instalaciones se debe entender como una actividad complementaria.

Sostenibilidad de la HH gris

Como se mencionó en bases teóricas, el ser humano usa un cuerpo de agua como fuente de extracción y como sumidero, por ende, tomamos los mismos parámetros de la Sostenibilidad de la HH azul, es decir que es posible usar hasta un 10% del curso fluvial para diluir la carga contaminante sin alterar o afectar los componentes dependientes del agua.

Pudimos también conocer si la HH gris sobrepasa la capacidad real del agua, es decir el 10% que viene a ser la disponibilidad o capacidad máxima para nuestros cálculos. Se hizo mención de puntos críticos durante el año, es decir épocas que afectan la estabilidad ambiental.

Propuestas de reducción de la HH

En los resultados se propuso algunas recomendaciones, acordes a la investigación propia que se hace, esperando contribuir con el ahorro y búsqueda de un mundo cada vez más sostenible.

Técnicas

Las técnicas a utilizar fueron principalmente:

- *Análisis de la literatura y documentos*, consultar fuentes nacionales y mayormente extranjeras, para aplicar la metodología mencionada y la normativa que sea necesaria.
- *Recolección de datos*, se llevaron a cabo mediante visitas a los centros educativos, para realizar algunas medidas en campos de las áreas verdes, fotos de los SS.HH. y el consumo hídrico, y más procesos, todo ello con el fin de que contribuyan en el cálculo fehaciente de la HH.

Instrumentos

Uso de software

- a. *Microsoft Word*, para redactar el proyecto de tesis.
- b. *Microsoft Excel*, para resolver los datos obtenidos y representar los resultados a través de tablas y gráficos.
- c. *Microsoft Power Point*, para mostrar y exponer esta investigación.
- d. *Google Earth*, para conocer la ubicación, observar el relieve y las distancias.
- e. *CROPWAT*, como se indicó en el apartado de *Evapotranspiración* se usó como ayuda en el cálculo de la necesidad de agua de un cultivo (NAC).
- f. *CLIMWAT*, como instrumento de apoyo para la fiabilidad del software CROPWAT.

Fórmulas a utilizar

Todas las fórmulas, procedimientos y coeficientes a utilizar en los cálculos, han sido tomados de informes que nos proporciona la WFN, ANA, FAO, entre otras instituciones nacionales e internacionales con gran peso en el rubro académico.

Guía documental

Se necesitaron datos exactos que solo se pueden extraer después de un análisis completo de los datos recolectados. Con ayuda de artículos e informes publicados, como se expuso en los antecedentes, se siguieron una serie de pasos, se reemplazaron fórmulas y se obtuvo resultados listos para una comparación entre las HH de cada centro educativo

Procedimientos

- **Recolección de datos de las zonas a estudiar**

Se realizaron visitas a cada una de las zonas de estudio, para tomar datos acerca del consumo que realizan los alumnos, docentes y comunidad estudiantil en general, esto mediante encuestas a personas aleatorias y a pocos individuos para comenzar a extrapolar estos valores a todos los tipos de población educativa.

También para evidenciar los efluentes que son tratados dentro de los distritos u obtener información de las principales formas de tratar las aguas residuales antes de verterse en cuerpos de agua o si son puestas en terrenos áridos.

- **Evidencias fotográficas de los centros educativos**

Las visitas presenciales sirvieron también para ver los volúmenes que necesitan los aparatos sanitarios para su posterior uso por parte de la comunidad estudiantil.

- **Medición de jardines y plantas**

Las áreas verdes que se encuentran dentro de los límites de las instituciones públicas, fueron medidas en campo mediante winchas tradicionales, con el fin de conocer el área total que ocupan. Además, para conocer el tipo de vegetación que prima en los colegios.

- **Obtención de datos meteorológicos**

Se identificaron las estaciones meteorológicas cercanas a los centros educativos estudiados que aparecen en la base de datos del SENAMHI, la cual es de uso público y se tomaron sus datos.

- **Cálculos para encontrar la HH**

Para cuantificar la HH de los cuatro centros educativos estatales anteriormente mencionados, se tuvo en cuenta la guía del WFN, el cual es un Manual de aplicación internacional.

Se le recomienda al lector ver los cálculos del apartado *Cuantificación de la HH* y el apartado de *Métodos*, así como también las bases teóricas en su conjunto, para entender este punto y es que algunos valores tuvieron que ser deducidos (de forma sustentada) ante su carencia.

- **Uso de software en base a modelos matemáticos**

Programas de uso público recomendado por la FAO, cuyo uso no es difícil, pese a estar en idioma inglés, para el cálculo de huella verde y huella azul.

Plan de procesamiento para análisis de datos

Fase I: Recopilación de datos

- Se efectuó un contexto de la investigación propia a la realidad nacional, y con ello se revisó la literatura nacional e internacional relacionada al cálculo de la HH relacionado a centros educativos, recopilando las diversas metodologías usadas y se seleccionó la más idónea, con dichos estudios similares se pudo efectuar de manera más exacta los análisis y comparaciones que arrojen los resultados.
- Se hizo visitas presenciales a los centros educativos, como se menciona en *Procedimientos*, con el fin de hallar datos acerca de los hábitos de consumo, áreas verdes, suministro eléctrico, etc. referentes a cada uno de los centros educativos.
- Para calcular la huella verde y la huella azul, fue necesario recolectar datos climatológicos las cuales son medidas por SENAMHI.
- Valores regulados y limitados por la normativa nacional, por ejemplo, los ambientales, que fueron considerados. Y otros valores que ofrecen los organismos competentes, para evitar caer en resultados irreales.

Fase II: Trabajo de gabinete: Cálculo de la HH

- Teniendo cifras exactas de los consumos directos e indirectos, fueron procesados, segregando los consumos de agua por tipo de persona, por tipo de huella y por tipo de fase (mencionada en *Evaluación de la HH*). Todo esto en unidades volumétricas para luego, dar una HH coherente.
- Se obtuvo dichos valores procesados por los softwares mencionados, los cuales buscan acercarse lo más posible a la realidad nacional.
- Con ayuda del programa Excel, se comenzó a armar los cálculos sin sustentar su origen o procedimiento, esto ha sido siguiendo los parámetros ampliamente descritos.

Fase III: Trabajo de gabinete: Obtención de resultados

- Se elaboró gráficas, cuadros y demás organizadores visuales, sobre el consumo directo e indirecto de agua, relacionándolas con los centros educativos lambayecanos.
- Una vez que se tuvo todos los datos, se procedió a comparar las HH de cada escuela

pública, de tal manera pudimos efectuar nuestras conclusiones correspondientes y consecuentemente la elaboración del informe final.

Fase IV: Informe final

- Se concluyó elaborando una propuesta de reducción de la HH, que ayude al ahorro de este recurso hídrico en base al color de cada huella.
- También se hizo un Análisis de Sensibilidad (recurso propio del autor) que trata de evaluar los parámetros más vulnerables en afectar directamente a los resultados finales ya sea de manera positiva o negativa.

Consideraciones éticas

El presente trabajo de investigación busca ser una ayuda académica, ya que no se tiene abundante información dentro de la rama de Ingeniería Civil, siendo así un motor de búsqueda para futuras investigaciones.

Los datos recolectados son fehacientes, siendo los valores recolectados de:

- SENAMHI: para recolectar todos los datos hidrológicos.
- ESCALE: base de datos que almacena valores estadísticos de todos los centros educativos que se encuentran en el territorio nacional.
- GOBIERNOS LOCALES: las municipalidades distritales proporcionaron información acerca del manejo de agua y desagüe, aunque EPSEL es la empresa encargada.
- JASS LOCALES: en los distritos alto andinos fue necesario algún contacto con personal de estos organismos, lo cual se consiguió mediante visitas personales a las municipalidades, sin embargo, la información recolectada fue de manera oral.
- NORMATIVA NACIONAL: aunque las fórmulas sean propuestas por investigaciones extranjeras, el MINAM, MINEM, entre otros, ofrecen valores y límites propios, los cuales se aplican al ser la investigación orientada a un contexto local.

Se ha podido referenciar la información según el Estilo IEEE, además que cada uno de los aportes por diversos autores se mencionan en la bibliografía, facilitando así al futuro lector poder hallar otros puntos de vista e investigaciones que enriquecen el tema.

Resultados y discusión

Resultados

Centro educativo en Jayanca: N° 10127 – Nuestra Señora de la Asunción

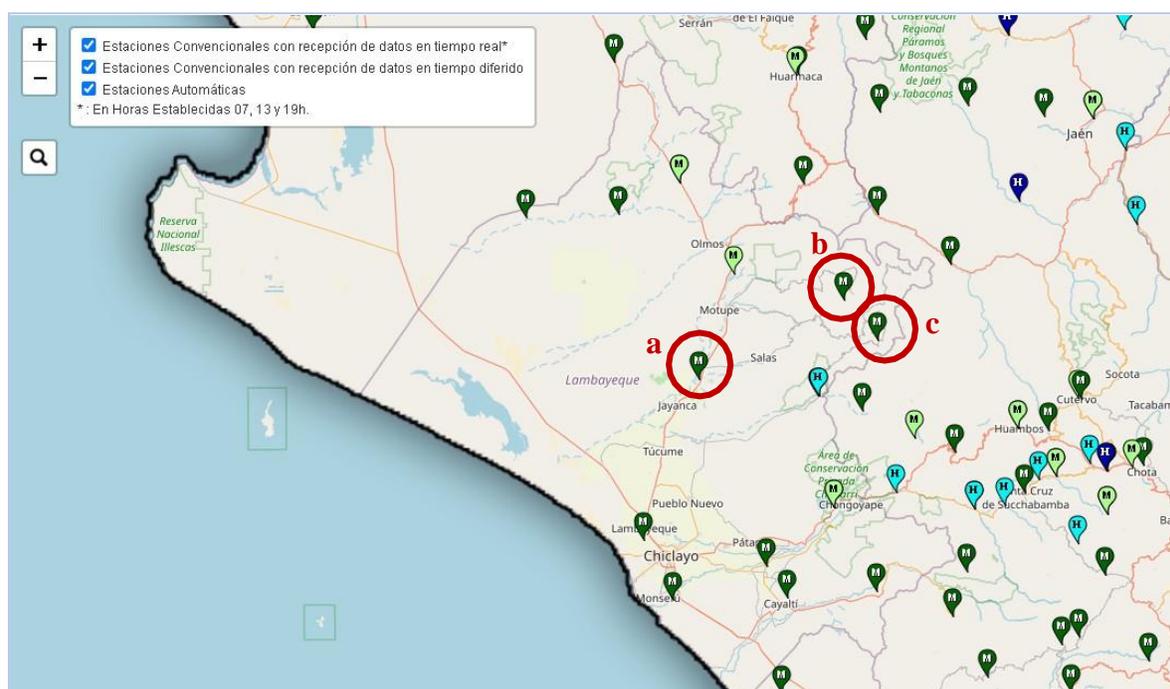
Con ayuda del programa Excel se realizó los cálculos y se hicieron los siguientes enunciados:

Cálculo de la HH directa

Obtención de la HH Verde

Se hizo elección de 03 estaciones meteorológicas, elegidas por su cercanía a las instituciones educativas, debido a su similitud en **cercanía** y **altura**, las cuales aparecen en la ilustración 25.

Ilustración 25 - Estaciones meteorológicas elegidas en la región lambayecana



Fuente: Página web del SENAMHI.

Se eligió las estaciones de:

- a) Jayanca. Código: 106047. Tipo: convencional - meteorológica
- b) Cueva Blanca. Código: 106060. Tipo: convencional - meteorológica
- c) Incahuasi. Código: 106037. Tipo: convencional - meteorológica

La HH verde se calcula, haciendo uso de los valores de precipitaciones que aportan las estaciones, para la institución Nuestra Señora de la Asunción, se usó la estación de Jayanca. Dentro de la segunda columna, se colocó los valores totales de lluvia de forma mensual que han llegado al área de vegetación (medida en m²). En la tercera columna se aplicó la ecuación 2, luego se convirtió los valores a metros para que al multiplicarse con el área verde total nos dé un valor volumétrico.

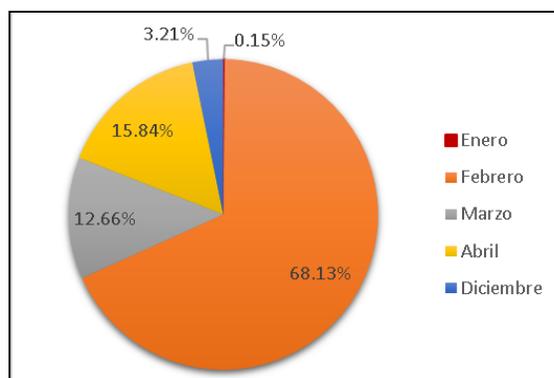
Tabla 23 - HH verde por meses en el colegio 10127

Meses del 2019	Precipitación del 2019 (mm)	Precipitación efectiva (mm)	Precipitación efectiva (m)	Área con vegetación (m ²)	Huella Verde (m ³)
Enero	0.2	0.2	0.00	75.0	0.0
Febrero	106.7	88.5	0.09		6.6
Marzo	16.9	16.4	0.02		1.2
Abril	21.3	20.6	0.02		1.5
Mayo	0.0	0.0	0.00		0.0
Junio	0.0	0.0	0.00		0.0
Julio	0.0	0.0	0.00		0.0
Agosto	0.0	0.0	0.00		0.0
Setiembre	0.0	0.0	0.00		0.0
Octubre	0.0	0.0	0.00		0.0
Noviembre	0.0	0.0	0.00		0.0
Diciembre	4.2	4.2	0.00		0.3
Total	149.30	129.87	0.13		9.74

Fuente: Elaboración Propia

Se evidencia que hay predominancia de precipitaciones en los meses de verano (febrero, marzo y abril), esto influye a que la huella verde total sea de 9.74m³. En el gráfico 13, se puede observar los meses con más lluvias en porcentaje, donde resalta el mes de febrero.

Gráfico 13 - HH verde en porcentaje del colegio N° 10127



Fuente: Elaboración Propia

Obtención de la HH Azul

Afluentes (entradas de agua)

Conocer el volumen exacto de agua suministrada por EPSEL, es de difícil acceso pues los servicios de agua y luz son administrados por la UGEL de Lambayeque, siendo muy complejo realizar el trámite para solicitar estos datos. Por cuestiones prácticas se procedió a calcular un volumen teórico. Esto se hizo consultando el RNE, en la sección de la norma IS.010, el cual recomienda los valores presentados en la tabla 24.

Tabla 24 - Dotación de agua para centros educativos

La dotación de agua para locales educacionales y residencias estudiantiles, según la siguiente tabla.	
Tipo de local educacional	Dotación diaria
Alumnado y personal no residente.	50 L por persona.
Alumnado y personal residente.	200 L por persona.

Fuente: RNE. IS.010 [39]

Luego, considerando los valores de la población estudiantil, presentados en la tabla 9, se comenzó a operar, considerando los días por cada mes, obteniendo un volumen en litros, para trabajar mejor, se uniformiza las unidades a m^3 . Los valores de afluentes se muestran en la tabla 25, se aprecia que, para los meses de enero y febrero, los valores son bajos pues se consideró la asistencia de 40 personas al centro de estudios, entre los cuales pueden estar alumnos desaprobados, reuniones de docentes y otras actividades, por lo que sería imprudente no considerar un volumen para estas personas, o solo enfocarse en el consumo de agua durante el año académico escolar.

Mientras que, para el resto de meses, se usó una población total de 139 personas, de los cuales 122 son los alumnos asistentes durante el 2019, 7 los docentes y 10 personas que también realizan funciones dentro de la institución, este dato es variable entre cada institución y se consideró tras hacer la visita in situ.

Tabla 25 - Afluente en el centro educativo de Jayanca

Meses del 2019	N° días	Dotación en litros	Dotación teórica en m3
Enero	31	62000	62.0
Febrero	28	56000	56.0
Marzo	31	215450	215.5
Abril	30	208500	208.5
Mayo	31	215450	215.5
Junio	30	208500	208.5
Julio	31	215450	215.5
Agosto	31	215450	215.5
Setiembre	30	208500	208.5
Octubre	31	215450	215.5
Noviembre	30	208500	208.5
Diciembre	31	215450	215.5
Total	365	2244700	2244.7

Fuente: Elaboración Propia

Efluentes (salidas de agua)

a. Agua usada en el aseo personal por parte de la comunidad educativa

Partimos calculando los días donde haya existido presencia de alumnos, docentes y otras personas (auxiliares, seguridad, limpieza, etc.) de forma regular, se consideró la asistencia de 10 días por cada mes de verano (enero y febrero), para no caer en el error de decir que durante esos meses no hay consumo de agua, sí existe, pero resulta menor. Se tuvo en cuenta los sábados, domingos, feriados nacionales y actividades extra curriculares, las cuales se muestran en la tabla 26, para ser días descartados al evaluar el consumo de agua, ya que en esas fechas el gasto resulta poco o nulo por parte de la población estudiantil, resultando 199 días en total.

Tabla 26 - Fechas no escolares en la institución de Jayanca

Descripción	Fechas
<i>Inicio de clases</i>	11 de marzo
Jueves y Viernes Santo	18 y 19 de abril
Día del trabajo	1 de mayo
1° periodo de vacaciones	20 al 26 de mayo
San Pedro y San Pablo	29 de junio
Día del maestro	6 de julio
2° periodo de vacaciones	22 julio - 05 agosto
Fiestas Patrias	28 y 29 de julio
Aniversario de la institución	14 al 16 agosto
Santa Rosa de Lima	30 de agosto
Combate de Angamos	8 de octubre
3° periodo de vacaciones	7 al 13 de octubre
Día de todos los santos	1 de noviembre
Inmaculada Concepción	8 de diciembre
<i>Fin de clases</i>	20 de diciembre

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 27 - Días totales de clases escolares

Meses del 2019	N° días	N° días no asistidos	N° días de asistencia
Enero	31	21	10
Febrero	28	18	10
Marzo	31	16	15
Abril	30	10	20
Mayo	31	14	17
Junio	30	10	20
Julio	31	17	14
Agosto	31	12	19
Setiembre	30	9	21
Octubre	31	13	18
Noviembre	30	10	20
Diciembre	31	16	15
Total	365	166	199

Fuente: Elaboración Propia

Al mismo tiempo, se realizaron preguntas de manera aleatoria, a algunos estudiantes, sobre el uso que dan a los SS.HH., dichas respuestas se registran en la tabla 28. Las horas asistidas se tomó en cuenta por el turno de la mañana que dura desde las 7:00am – 1:00pm, durante ese tiempo, cada

uno de los usuarios del colegio se lavan las manos, usan el inodoro, etc. En la fila de lavado de manos, se consideró el tiempo en segundos, para multiplicarse por caudal que corre por un grifo usual que es de 0.2l/s. Luego en las descargas de los inodoros se usó 1 vez al día para los más adultos, y un promedio de 1.5 veces para los estudiantes. En la columna de seguridad, se incluyó a la limpieza, donde se nos indicó que al haber dos ambientes (uno para niños y otro para niñas), limpiarlos requiere un balde de 20 litros de agua por ambiente.

Tabla 28 - Promedio de respuestas sobre el consumo de agua

Actividades realizadas	Alumnos	Docentes	Auxiliares	Seguridad o auxiliares
Horas asistidas durante vacaciones	0	2	0	0
Horas asistidas durante el año escolar	6	6	6	6
Tiempo (seg) de veces de lavado de manos al día	30.0	36.0	20.0	24.0
Litros/día usados en lavado de manos (0.2 l/s)	6.0	7.2	4.0	4.8
Descargas del inodoro o urinario por día	1.5	1.0	1.0	1.0
Litros/día de descargas de tanque (4.8 l)	7.2	4.8	4.8	4.8
Tiempo (seg) de otros usos en lavatorios	15.0	10.0	10.0	12.0
Litros/día usados en lavatorios (0.2 l/s)	3.0	2.0	2.0	2.4
Nº de ambientes y baños que limpia por día	0.0	0.0	0.0	2.0
20 Litros/día usados por ambiente	0.0	0.0	0.0	40.0

Fuente: Elaboración Propia

En la ilustración 26, se aprecia los 4.8L, que usan los inodoros de una institución educativa.

Ilustración 26 - Volumen que usan los inodoros escolares a nivel nacional



Fuente: Elaboración propia

En la tabla 29, se aprecia el consumo que realizan las personas al día. Surge de sumar las filas que están debajo de las filas coloreadas de la tabla 28.

Tabla 29 - Promedio de consumo por tipo de población

Tipo de población	Alumnos	Docentes	Auxiliares	Limpeza
Litros por persona al día	16.2	14.0	10.8	52.0

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla 30, aparece el volumen total de agua empleada por cada uno de las personas que componen el centro educativo. Que resulta del producto del n° días de asistencia al centro educativo (calculado en la tabla 27), por el consumo individual y por las personas en total.

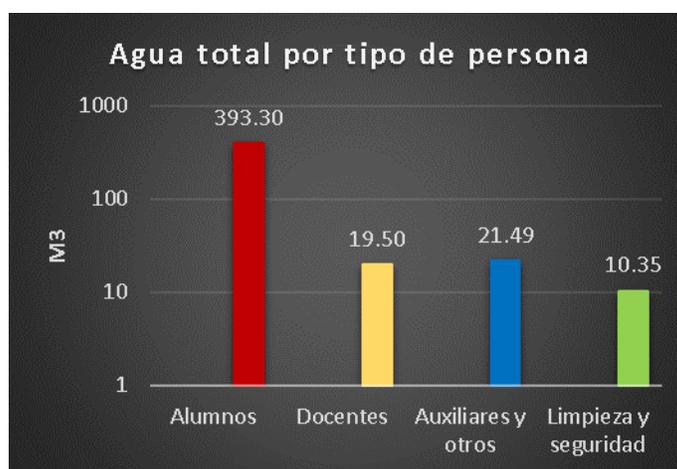
Tabla 30 - Agua total consumida por tipo de población

Tipo de población	Días escolares	Litros por persona	n° de personas	Agua total en m3
Alumnos	199	16.2	122	393.30
Docentes	199	14.0	7	19.50
Auxiliares y otros	199	10.8	10	21.49
Limpeza y seguridad	199	52.0	1	10.35
TOTAL				444.65

Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico 14, se aprecia el consumo total, pero en una escala logarítmica.

Gráfico 14 - Agua consumida por tipo de población del colegio N° 10127

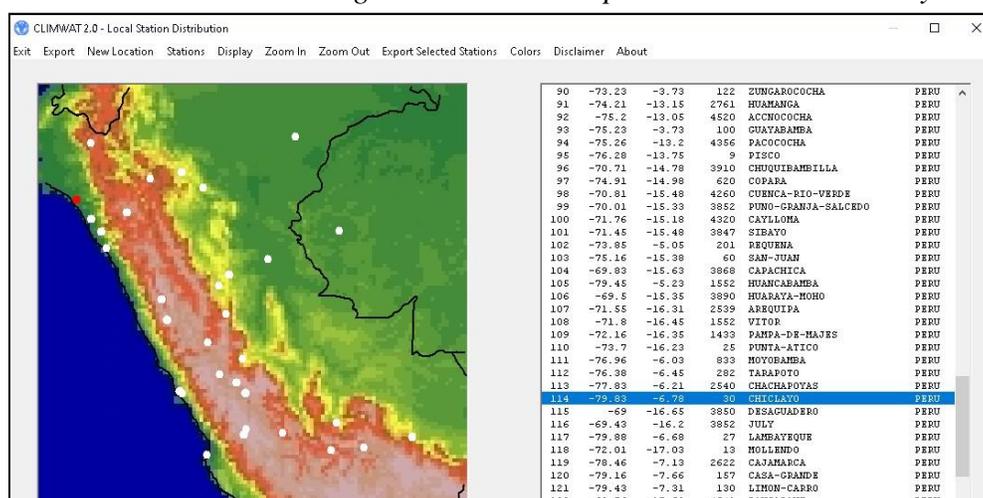


Fuente: Elaboración Propia

b. Agua utilizada para irrigar las áreas verdes

En la tabla 31, aparecen los valores a ingresar en el software CROPWAT 8.0, llamados “input”, y “output” son los valores que arroja el programa. Se muestran los valores recolectados de las estaciones meteorológicas, para las 03 primeras columnas. La siguiente columna se obtuvo de una base de datos mundial de climas, ver [40], y por último la columna de horas sol, es proporcionado por el software CLIMWAT, los cuales da valores para exportar en formato leído por CROPWAT. Se usó, las horas solares de la estación de Chiclayo, como se aprecia en la ilustración 27.

Ilustración 27 - Estación elegida de CLIMWAT para horas solares de Jayanca



Fuente: Elaboración propia

Tabla 31 - ETo calculada con CROPWAT en Jayanca

Mes	Input					Output		Días por mes	Eto mm
	Min Temp °C	Max Temp °C	Humidity %	Wind km/day	Sun hours	Rad MJ/m ² /day	ETo mm/day		
Enero	20.9	33.6	79	278	6.2	19.3	4.84	31	150.04
Febrero	21.9	33.3	80	264	6.6	20.1	4.9	28	137.2
Marzo	20.5	33.9	80	257	6.3	19.4	4.84	31	150.04
Abril	19.4	32.8	81	271	6.7	18.9	4.57	30	137.1
Mayo	17.5	31.3	80	286	6.5	17.2	4.2	31	130.2
Junio	15.0	28.9	79	286	5.6	15.2	3.69	30	110.7
Julio	14.0	27.1	79	286	5.2	14.9	3.46	31	107.26
Agosto	13.2	26.9	78	293	5.4	16.3	3.69	31	114.39
Setiembre	14.1	28.5	79	307	6.3	18.9	4.18	30	125.4
Octubre	15.2	30.4	80	302	5.9	18.8	4.4	31	136.4
Noviembre	16.9	30.6	80	293	6.6	19.8	4.52	30	135.6
Diciembre	18.4	32.0	80	288	6.3	19.2	4.58	31	141.98
Promedio	17.2	30.8	79	284	6.1	18.2	4.3		131.4

Fuente: Elaboración Propia

Los valores que arroja son la evapotranspiración de un cultivo referencial, por ende, usamos la ecuación 26, para hallar el NAC. Donde se requiere conocer el valor de K_c , el cual es el pasto; planta común hallada en las áreas verdes, además para tomar el caso crítico el cual sean plantas que tengan un alto valor NAC. A continuación, agregamos el coeficiente K_c , de 0.9. y encontramos el NAC.

Tabla 32 - Valores de K_c para el cultivo

CUADRO 12 (continuación)					
Cultivo		$K_{c\ m^1}$	$K_{c\ med}$	$K_{c\ fin}$	Altura Máx. Cultivo (h) (m)
j. Forrajes					
Alfalfa (heno)	- efecto promedio de los cortes	0,40	0,95 ¹³	0,90	0,7
	- períodos individuales de corte	0,40 ¹⁴	1,20 ¹⁴	1,15 ¹⁴	0,7
	- para semilla	0,40	0,50	0,50	0,7
Bermuda (heno)	- efecto promedio de los cortes	0,55	1,00 ¹³	0,85	0,35
	- cultivo para semilla (primavera)	0,35	0,90	0,65	0,4
Trébol heno, Bersím	- efecto promedio de los cortes	0,40	0,90 ¹³	0,85	0,6
	- períodos individuales de corte	0,40 ¹⁴	1,15 ¹⁴	1,10 ¹⁴	0,6
Rye Grass (heno)	- efecto promedio de los cortes	0,95	1,05	1,00	0,3
Pasto del Sudán (anual)	- efecto promedio de los cortes	0,50	0,90 ¹⁴	0,85	1,2
	- período individual de corte	0,50 ¹⁴	1,15 ¹⁴	1,10 ¹⁴	1,2
Pastos de Pastoreo	- pastos de rotación	0,40	0,85-1,05	0,85	0,15-0,30
	- pastoreo extensivo	0,30	0,75	0,75	0,10
Pastos (césped, turfgrass)	- época fría ¹⁵	0,90	0,95	0,95	0,10
	- época caliente ¹⁵	0,80	0,85	0,85	0,10

Fuente: Evapotranspiración de Cultivo. FAO. [22]

Tabla 33 - Volumen de agua que requieren las áreas verdes

Mes	Eto	Eto	Kc	CWR =	NAC x	Huella verde	Agua para riego
	mm	m		NAC =	área de		
				m	m3	m3	m3
Enero	150.0	0.15	0.9	0.14	10.13	0.01	10.1
Febrero	137.2	0.14	0.9	0.12	9.26	6.64	2.6
Marzo	150.0	0.15	0.9	0.14	10.13	1.23	8.9
Abril	137.1	0.14	0.9	0.12	9.25	1.54	7.7
Mayo	130.2	0.13	0.9	0.12	8.79	0.00	8.8
Junio	110.7	0.11	0.9	0.10	7.47	0.00	7.5
Julio	107.3	0.11	0.9	0.10	7.24	0.00	7.2
Agosto	114.4	0.11	0.9	0.10	7.72	0.00	7.7
Setiembre	125.4	0.13	0.9	0.11	8.46	0.00	8.5
Octubre	136.4	0.14	0.9	0.12	9.21	0.00	9.2
Noviembre	135.6	0.14	0.9	0.12	9.15	0.00	9.2
Diciembre	142.0	0.14	0.9	0.13	9.58	0.31	9.3
Total agua de riego							96.66

Fuente: Evapotranspiración de Cultivo. FAO. [22]

Como se mencionó en el apartado de *Métodos*, el agua azul resulta de la resta de afluentes (2244.7 m³) menos efluentes (541.3m³), resultando un valor de 1703.39m³

Obtención de la HH Gris

Elección del parámetro contaminante

Se recurrió la norma del RNE, la OS.090 [41], donde indica en sus Bases de Diseño, que el DBO, es importante para calcular cualquier tratamiento de aguas residuales. Para aplicar la ecuación 04, se necesita conocer todos los parámetros, que son:

- **Efl** = volumen del efluente = 541.3 m³
- **C_{efl}** = obtenido del promedio de los efluentes de PTAR que administra EPSEL (tabla 35) en la investigación se usaron los valores recolectados de EPSEL por una tesis de maestría. Ver [42]
- **Extr** = es el volumen del afluente = 2244.7 m³
- **C_{real}** = del Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM se toma el valor de la CATEGORÍA 1-A, la columna A2, siendo este valor producto una intervención antrópica. Tomamos 5 mg/L.
- **C_{máx}** = del Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM se toma el valor de la CATEGORÍA 3, la columna D1, siendo este el máximo valor, el cual es 15 mg/L. Ver tabla 36.
- **C_{nat}** = en la ilustración 28, se ve el valor que es menor a 3 mg/L, pero usamos este como límite.

Tabla 34 - DBO promedio de los efluentes de algunas PTAR en Lambayeque

PTAR que administra EPSEL	DBO (mg/l)							
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
PTAR Pampa de Perros	83.77	77.54	79.26	118.02	134.81	147.79	148.69	126
PTAR San José	68	63	70	119	110.92	209.09	159.00	118
PTAR Zaña	Sin datos	Sin datos	Sin datos	86	95.20	162.22	98.57	190
PTAR Cayaltí	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	255	160	190	Sin datos
PTAR Chosica del Norte	Sin datos	Sin datos	Sin datos	Sin datos	265	250	215	Sin datos
PROMEDIO	75.89	70.27	74.63	107.67	172.19	185.82	162.25	144.67

Fuente: Calculados por el autor. Adaptados de Medina y Barboza, 2018. Ver [42]

Los valores obtenidos se ordenaron por años y algunos valores como el DBO de 159.00 mg/l de la PTAR de San José es promedio de muchas medidas en ese año, y se eligió el 2017 por ser la más cercana a la actualidad. También se evidencia que algunas columnas poseen valores ausentes, como el 2018, evidenciando el grado de abandono de muchas PTAR de la región por parte de EPSEL.

Tabla 35 - PTAR que administra EPSEL en la región Lambayeque

N°	EPS	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	NOMBRE DE LA PTAR	Superficial (Ha) - Estimada en Google Earth
1	EPSEL S.A.	LAMBAYEQUE	Lambayeque	San Jose	1 Pampa de Perros	22.38
			Chiclayo	Chongoyape	2 Pampa grande	0.81
			Chiclayo	Pimentel	3 Pimentel	3.88
			Lambayeque	San Jose	4 San José	1.17
			Ferreñafe	Pitipo	5 Batán Grande	0.36
			Ferreñafe	Pueblo Nuevo	6 Ferreñafe	2.22
			Chiclayo	Pícsi	7 Pícsi	1.30
			Chiclayo	Patapo	8 Posope Alto	1.05
			Lambayeque	Ilimo	9 Ilimo	0.74
			Lambayeque	Jayanca	10 Jayanca	3.58
			Lambayeque	Lambayeque	11 Lambayeque Antiguos	3.89
			Lambayeque	Lambayeque	12 Lambayeque Nuevas	3.89
			Lambayeque	Mochumi	13 Mochumi	1.27
			Lambayeque	Motupe	14 Motupe	1.13
			Lambayeque	Olmos	15 Olmos	2.90
			Lambayeque	Jayanca	16 Pacora	0.88
			Lambayeque	San Jose	17 San José Distrito	1.13
			Lambayeque	Tucume	18 Tucume	0.77
			Chiclayo	Eten	19 Ciudad de Eten	0.83
			Chiclayo	Lagunas	20 Mocupe Nuevo	0.11
			Chiclayo	Lagunas	21 Mocupe Tradicional	1.04
			Chiclayo	Monsefu	22 Monsefu	3.29
			Chiclayo	Nueva Arica	23 Nueva Arica	0
			Chiclayo	Oyotun	24 Oyotun	0
			Chiclayo	Reque	25 Puerto Eten (Sin funcionamiento)	0
			Chiclayo	Reque	26 Reque	2.72
			Chiclayo	Santa Rosa	27 Santa Rosa	0.68
			Chiclayo	Zaña	28 Zaña	2.51

Fuente: OTASS, 2018. Ver [43]

Tabla 36 - ECA de DBO seleccionados de la norma nacional

PARÁMETRO	UND	Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable			CATEGORIAS		ECA AGUA: CATEGORIA 3	
		A1	A2	A3	PARÁMETRO	UNIDAD	PARÁMETROS PARA RIEGO DE VEGETALES	PARÁMETROS PARA BEBIDAS DE ANIMALES
		Aguas que Pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser Potabilizadas con Tratamiento Avanzado			D1: RIEGO DE CULTIVOS DE TALLO ALTO Y BAJO	D2: BEBIDA DE ANIMALES
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	3	5	10	FÍSICOS - QUÍMICOS			
					Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/l	15	15

Fuente: MINAM. 2015 Ver [37]

Ilustración 28 - DBO en aguas del río Chancay – Lambayeque

Información General			
Matriz: Agua			
Solitud de Análisis: Contrato N° 40-2015-ANA-OA (Dio-135)			
Muestreado por: Cliente			
Procedencia: ALA Chancay - Lambayeque			
Identificación de Laboratorio: S-0001254472			
Tipo de Muestra: Agua Superficial			
Identificación de Muestra: RCedri			
Fecha de Recepción/Inicio de Análisis: 2015-12-05			
Fecha y hora de Muestreo: 2015-12-04 10:10			
Análisis	Fecha de Fin de Análisis	Resultado	Unidad
N.D.: Significa No Detectable al nivel de cuantificación indicado en el paréntesis ().			
Químicos			
*Nitrógeno Total, SM 4500-Norg-B/ EPA Method 352.1 / EPA Method 354.1	2015-12-11		
Nitrógeno Total		0,233	mg/L
Cianuro WAD en Agua, SMEWW Part 4500-CN-I, 22nd Ed 2012	2015-12-14		
Cianuro Wad		ND(<0,004)	mg/L
DBO5 en Agua, EPA Method 405.1, Revised March 1983	2015-12-12		
DBO5		ND(<3)	mg/L
DDO en Agua, EPA Method 410.1, Revised March 1983	2015-12-14		
DDO		ND(<6)	mg/L
Fosfato en Agua, EPA Method 365.3, March 1983	2015-12-05		
P.Fosfato		ND(<0,007)	mg/L

Fuente: ANA. 2015. Ver [44]

$$Huella Gris = \frac{(541.31 m^3 \times 162.25 \frac{g}{m^3}) - (2244.7 m^3 \times 5 \frac{g}{m^3})}{15 \frac{g}{m^3} - 3 \frac{g}{m^3}} = 6383.72 m^3$$

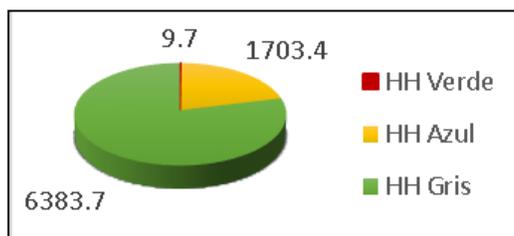
Balance hídrico de la HH Directa

Tabla 37 - Balance hídrico de la HH directa

ENTRADAS (M3)		SALIDAS (M3)	
Agua de precipitaciones	9.7	Agua para riego	97
Agua de EPSEL	2244.7	Agua de usos	444.65
Total	2254.4	Total	541

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 15 - Huella directa en m3 del colegio N° 10127



Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de la HH indirecta

Consumo de energía eléctrica

Al igual que el afluente visto en la huella azul, el consumo eléctrico total resultó difícil obtener, pero se calculó en base a recibos del año 2022, ya que la asistencia es al 100% de su población, se entró a la base de datos de Electro Norte S.A [45], con el suministro 27710336 que aparece en el medidor en los exteriores de la institución. Luego, se pudo inferir en base a los días escolares, un consumo de kWh mensual, y también se usó una equivalencia de HH para relacionar el agua empleada para producir 1 GJ de energía, la cual aparecen en la tabla 38.

Ilustración 29 - N° de suministro en el colegio 10127



Fuente: Elaboración propia

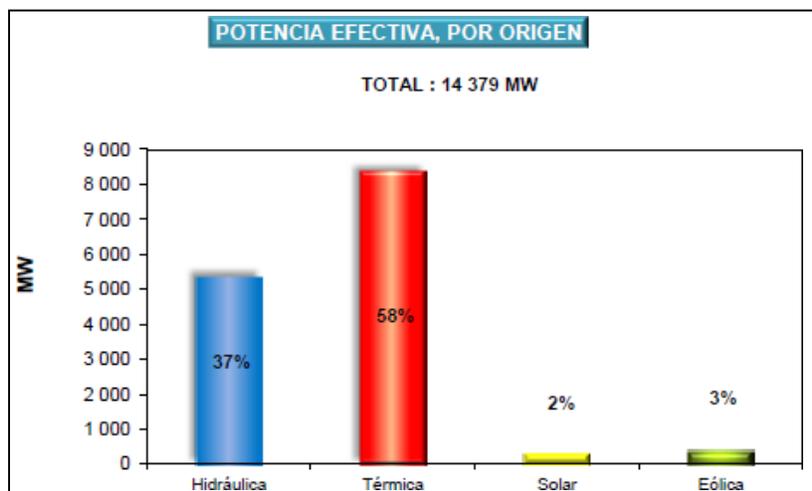
Tabla 38 - Equivalencias de HH con fuentes de energía

Fuente energética	HH
	m3/GJ
Agua (energía hidroeléctrica)	22.30
Gas natural	0.11
Energía eólica	0.00
Energía solar	0.27
Carbón	0.16
Total	22.84

Fuente: CASTILLO. [3]

Luego se buscó en el Anuario del MINEM de Electricidad producida durante el 2019, para conocer en porcentaje qué tanto se consume de la producción nacional, se representa en el gráfico 16.

Gráfico 16 - Producción de electricidad en el Perú, durante el 2019



Fuente: MINEM, 2019. Ver [46]

Tenemos la tabla 39, en la primera columna se registran los consumos inferidos, luego la segunda columna es la conversión de kWh a GJ, y la columna de HH resulta de multiplicar los GJ, por el 37.24% que respecta a la producción nacional y por su equivalencia de 22.30 m³/GJ (tabla 38).

Tabla 39 - HH de consumo de energía eléctrica

Mes del año 2019	Electricidad	Electricidad	HH
	kwh	GJ	m3
Enero	264.0	0.95	7.89
Febrero	267.0	0.96	7.98
Marzo	534.0	1.92	15.97
Abril	667.0	2.40	19.94
Mayo	623.0	2.24	18.63
Junio	660.0	2.38	19.73
Julio	560.0	2.02	16.74
Agosto	670.0	2.41	20.03
Setiembre	660.0	2.38	19.73
Octubre	670.0	2.41	20.03
Noviembre	660.0	2.38	19.73
Diciembre	534.0	1.92	15.97
Total	6769.0	24.37	202.38

Fuente: Elaboración Propia

Luego se buscó equivalencias de productos usuales relacionados a las actividades educativas, donde el gobierno mexicano nos proporciona los siguientes valores:

Tabla 40 - HH de insumos escolares y sanitarios

150 LITROS de 1 lápiz.
MIL 500 LITROS de 1 cuaderno.
2 MIL 800 LITROS de 1 pluma.
3 MIL 500 LITROS de 1 libro.
23 MIL 200 LITROS de 1 teléfono celular.
37 MIL 800 LITROS de 1 computadora.
Usar el WC: 140 LITROS de 1 rollo de papel sanitario.

Fuente: Gobierno de México. Ver [47]

Consumo de papel

Tabla 41 - HH de consumo de papel de escritorio

Descripción del artículo	Gramaje	N° hojas por paquete	Total de paquetes adquiridos	Total de gramaje	Gramaje toneladas	HH de cada m3
	gramos			gramos		
Papel bond A4	75	1000	10	750000	0.75	388.88
Papelógrafo	56	1	60	3360	0.00	1.74
Total	131	1001	70	753360	0.75	390.62

Fuente: Elaboración Propia

La tabla 41, resulta de multiplicar el peso (ton) de unidades totales por su equivalencia de HH, la cual es de 518.5 m³/t (ver la tesis de Castillo), ya que es un producto importado de Brasil. [3]

Consumo de materiales usados en salón de clases

Tabla 42 - HH de consumo de útiles escolares

Descripción del artículo	N° unidades por alumno al año	N° unidades por docente al año	N° unidades en total por auxiliares	Unidades en total	HH de cada artículo
				und	m3
Lapices	8	3	3	1000	150.0
Cuadernos	10	3	2	1243	1864.5
Lapiceros	6	3	3	756	2116.8
Libros	6	6	2	776	2716.0
Total	30	15	10	3775	6847.3

Fuente: Elaboración Propia

La tabla 42, son las unidades promedio de útiles empleados por los alumnos alrededor de un año académico, resulta de multiplicar por el n° total de alumnos y docentes, respectivamente, los auxiliares son ayudas que no usan muchos materiales escolares; seguido de su equivalencia hídrica indicada en la tabla 40. Un ejemplo sería: $8 \times 122 + 3 \times 7 + 3 \times 1 = 1000 \times 0.15 = 150$.

Consumo de materiales de limpieza

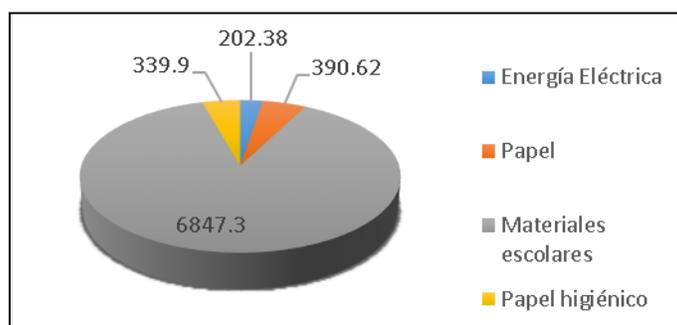
Tabla 43 - HH de consumo de material de limpieza

Descripción del artículo	Unidades en total al	HH de cada
	und	m ³
Papel higiénico	2428.00	339.9
Total	2428	339.9

Fuente: Elaboración Propia

La tabla 43, se calcula tras una regla de tres simple, suponiendo que un alumno gasta un rollo en 10 días, se busca los gastados en 199 días escolares y por último se multiplica por el n° de alumnos.

Gráfico 17 - Huella indirecta en m³ del colegio N° 10127



Fuente: Elaboración Propia

Evaluación de Sostenibilidad

La cuenca que abastece es la de Chancay – Lambayeque, por ende, debemos conocer los caudales mensuales, habitantes de la cuenca y el caudal ecológico. Mostrados en las tablas 44 y 45.

Tabla 44 - Características de la cuenca Chancay Lambayeque

Nombre de la cuenca	Chancay Lambayeque
Vertiente hidrográfica	Océano Pacífico
Código de cuenca	Unidad Hidrográfica 13776
Jurisdicción (AAA)	Autoridad Administrativa del Agua Jequetepeque Zarumilla –V.
Jurisdicción (ALA)	ALA Chancay Lambayeque
Departamentos	Lambayeque y Cajamarca
Superficie	5555.49 Km ²
Límites	Por el Norte: Cuenca Motupe Por el Sur: Cuenca Zaña Este: Cuenca Chamaya Oeste: Océano Pacífico
Río Principal	Chancay Lambayeque
Longitud	217 Km.
Tributarios principales	Los ríos Cedro, Pisit, Santa Catalina, Cañad, San Lorenzo, Cumbil, el Tuyo, Chorro Blanco, San Lorenzo, Las Nieves y las Quebradas: La Pampa, Bramadero, Colorada, Las Gradadas, Azufre, Las Pircas, Chorro Blanco, Cirato.
Categoría	Clase 3
Población	951 095 habitantes (Censo INEI: 2007).
Principales Usos	Primario, poblacional, productivo (agrario, energético, acuícola, industrial, minero).

Fuente: ANA-AAA-JZ-V-ALACHL

Fuente: ANA, 2015. Ver [44]

Tabla 45 - Caudales mensuales del río Chancay Lambayeque

Componentes			Volumen de agua en hm ³											Total		
			Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul		Ago	
Oferta hídrica	Aguas superficiales	Escorrentía superficial 75% P.	12,51	22,51	24,11	25,32	38,51	52,34	89,55	99,92	65,68	33,28	20,72	13,92	498,37	
		Aguas de recuperación	5,01	4,25	4,14	4,68	4,25	5,45	4,68	5,77	5,88	6,00	4,68	6,21	61,00	
		Reservorios artificiales *	7,20	3,50		16,23	83,89	36,50	47,79					4,52	2,10	201,73
		Otras fuentes (75% Chotano)	2,07	5,61	10,16	14,07	13,43	19,68	20,49	19,50	11,66	5,02	3,06	1,93	126,68	
	Aguas subterráneas															
Total			26,79	35,87	38,41	60,30	140,08	113,97	162,51	125,19	83,22	44,30	32,98	24,16	887,78	

Fuente: ANA, 2015. Ver [48]

Sostenibilidad de HH Azul: dimensión ambiental

La primera columna de la tabla 46, son los datos totales de oferta hídrica de la tabla 45, trabajamos en unidades de m³. Considerando un 10% aprovechable de la escorrentía natural, podemos armar tabla 46. Hacemos en función de un porcentaje, la población total del colegio (139) frente a los 951 095 habitantes (dato de tabla 44) que extraen el recurso hídrico para sus actividades, representa el 0.015% de personas que debe satisfacer la cuenca.

Tabla 46 - Disponibilidad del río Chancay Lambayeque

Mes	Escurrimiento natural o caudal (hm3)	Escurrimiento natural o caudal (m3)	Requerimiento ambiental de la cuenca (90%)	Disponibilidad real en la cuenca (10%)
Enero	140.08	140080000	126072000	14008000
Febrero	113.97	113970000	102573000	11397000
Marzo	162.51	162510000	146259000	16251000
Abril	125.19	125190000	112671000	12519000
Mayo	83.22	83220000	74898000	8322000
Junio	44.30	44300000	39870000	4430000
Julio	32.98	32980000	29682000	3298000
Agosto	24.16	24160000	21744000	2416000
Setiembre	26.79	26790000	24111000	2679000
Octubre	35.87	35870000	32283000	3587000
Noviembre	38.41	38410000	34569000	3841000
Diciembre	60.30	60300000	54270000	6030000

Fuente: Elaboración Propia

De la columna de “Disponibilidad real”, multiplicamos por el valor del 0.015%, obteniendo la primera columna de la tabla 47, luego la HH azul calculada, se divide el total entre los 199 días y se multiplica por los días de cada mes, y por último aplicamos la ecuación 23.

Tabla 47 - Escasez de agua que produce la HH azul

Mes	Disponibilidad real para la escuela (m3)	Días escolares por mes	Huella azul de la escuela (m3) por mes	Índice de escasez de agua
Enero	2047.2	10	85.60	4.18%
Febrero	1665.6	10	85.60	5.14%
Marzo	2375.0	15	128.40	5.41%
Abril	1829.6	20	171.20	9.36%
Mayo	1216.2	17	145.52	11.96%
Junio	647.4	20	171.20	26.44%
Julio	482.0	14	119.84	24.86%
Agosto	353.1	19	162.64	46.06%
Setiembre	391.5	21	179.76	45.91%
Octubre	524.2	18	154.08	29.39%
Noviembre	561.4	20	171.20	30.50%
Diciembre	881.3	15	128.40	14.57%
Total	12974.67	199	1703.39	2.538

Fuente: Elaboración Propia

La columna de “escasez de agua”, se encuentra con color amarillo pues es necesario evaluar qué tanto de escasez significa que puede producir la HH azul, eso se evalúa en función de la tabla 48. Aunque hoy en día el manual de la WFN, [1], menciona que basta con que pase el 100% para ser considerado como insostenible tanto para la HH azul como para la HH gris.

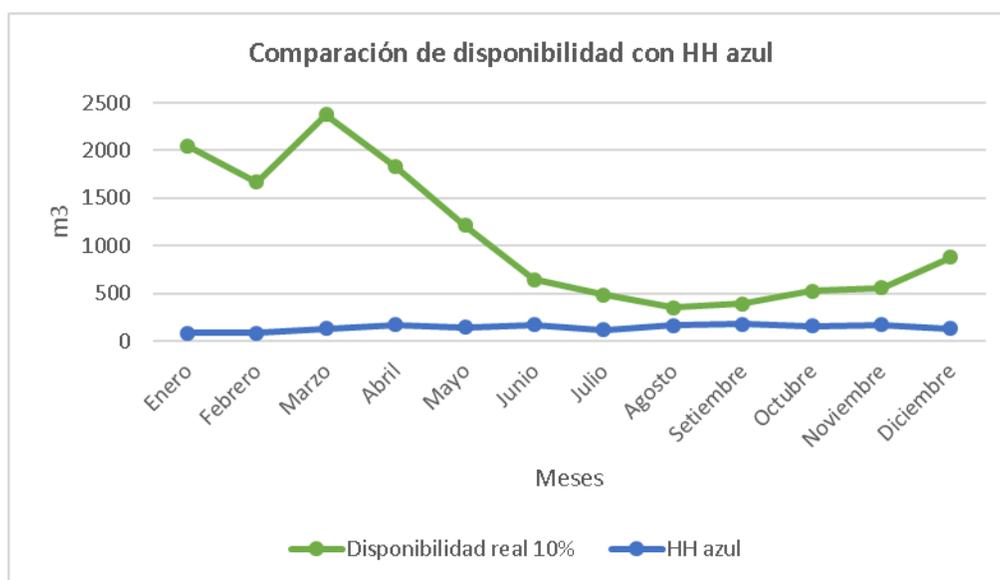
Tabla 48 - Rangos de escasez o índice de contaminación

	Cociente	Escasez o Índice de cont.
	menor a 100%	baja
	entre 100% y 150%	moderada
	entre 150% y 200%	importante
	mayor a 200%	severa

Fuente: Adaptado de Hoekstra. Ver [28]

Se puede apreciar que no se viola el caudal ambiental; en los meses de agosto y setiembre, podría haber problemas si el agua usada aumenta o si se llega a aumentar las áreas verdes

Gráfico 18 - Disponibilidad de la HH azul versus el caudal ecológico en Jayanca



Fuente: Elaboración Propia

Sostenibilidad de HH Azul: dimensión social

En la tabla 49, se puede evidenciar que los valores no superan el rango mínimo recomendado por la OMS, esto es porque la actividad educativa no representa algo vital para los estudiantes, siendo una actividad secundaria, y aún puede hacer uso de más agua si así desea.

Tabla 49 - Comparación del rango de la OMS frente al uso en litros

Tipo de población	Litros por persona	Rangos (litros)	Defecto o exceso (l)
Alumnos	16.2	50.0	33.80
Docentes	14.0	50.0	36.00
Auxiliares y otras autoridaes	10.8	50.0	39.20
Limpieza y seguridad	52.0	100.0	48.00

Fuente: Elaboración Propia

Sostenibilidad de HH Gris: dimensión ambiental

Como se mencionó en el apartado de *Relación entre HH azul y HH gris*, la disponibilidad del agua puede ser usado para todos los fines que se requiera, pero solo es posible tomar hasta no pasar el caudal ecológico. Es decir, un 10%, por lo que seguimos usando la tabla 46, para calcular:

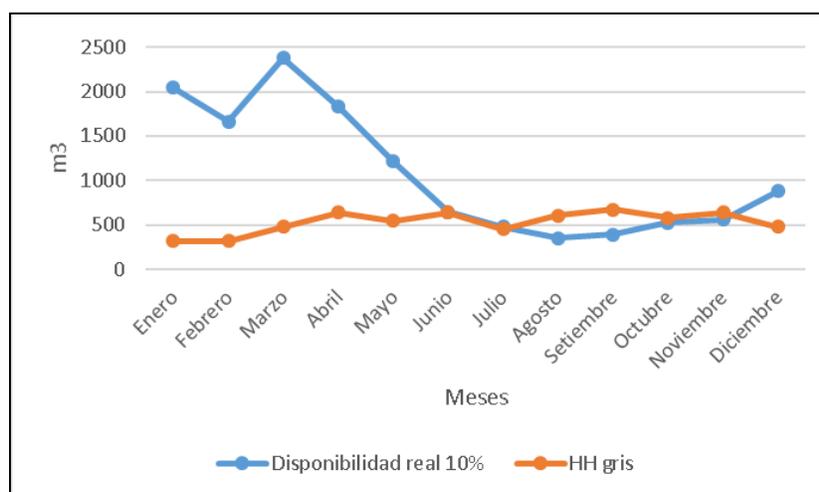
Tabla 50 - Nivel de contaminación produce la HH gris

Mes	Disponibilidad real para la escuela (m3)	Días escolares por mes	Huella gris de la escuela (m3) por mes	Nivel de contaminación de agua
Enero	2047.2	10	320.79	15.67%
Febrero	1665.6	10	320.79	19.26%
Marzo	2375.0	15	481.18	20.26%
Abril	1829.6	20	641.58	35.07%
Mayo	1216.2	17	545.34	44.84%
Junio	647.4	20	641.58	99.10%
Julio	482.0	14	449.11	93.18%
Agosto	353.1	19	609.50	172.62%
Setiembre	391.5	21	673.66	172.06%
Octubre	524.2	18	577.42	110.15%
Noviembre	561.4	20	641.58	114.29%
Diciembre	881.3	15	481.18	54.60%
Total	12974.67	199	6383.72	9.51

Fuente: Elaboración Propia

La columna de “contaminación de agua”, se encuentra con colores pues es necesario evaluar, al igual que la HH azul, los valores en función de la tabla 48. Y se evidencia que en los meses de agosto y setiembre hay una contaminación que supera lo permisible, por ende, se afecta la calidad hídrica.

Gráfico 19 - Disponibilidad de la HH gris versus el caudal ecológico en Jayanca



Fuente: Elaboración Propia

Centro educativo en Túcume: N° 10226 – Nuestra Señora de la Merced

Para no repetir algunos pasos mencionados en los cálculos de la institución de Jayanca, se procede a colocar los resultados y de forma puntual textos que ayuden al entendimiento.

Cálculo de la HH directa

Obtención de la HH Verde

Como se mencionó, usamos la estación de Jayanca por ser la estación que está más cerca de la institución educativa seleccionada

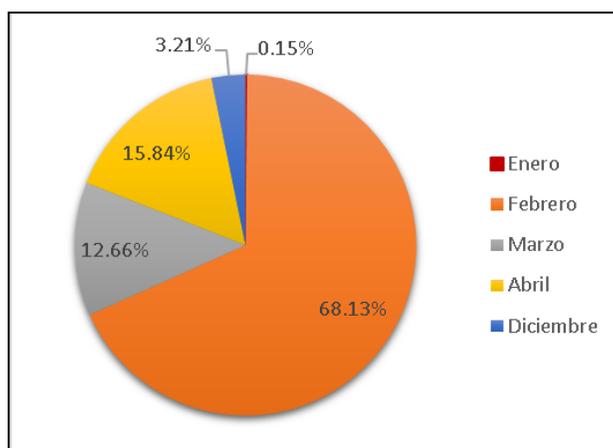
Tabla 51 - HH verde por meses en el colegio 10226

Meses del 2019	Precipitación del 2019 (mm)	Precipitación efectiva (mm)	Precipitación efectiva (m)	Área con vegetación (m2)	Huella Verde (m3)
Enero	0.2	0.2	0.00	142.0	0.0
Febrero	106.7	88.5	0.09		12.6
Marzo	16.9	16.4	0.02		2.3
Abril	21.3	20.6	0.02		2.9
Mayo	0.0	0.0	0.00		0.0
Junio	0.0	0.0	0.00		0.0
Julio	0.0	0.0	0.00		0.0
Agosto	0.0	0.0	0.00		0.0
Setiembre	0.0	0.0	0.00		0.0
Octubre	0.0	0.0	0.00		0.0
Noviembre	0.0	0.0	0.00		0.0
Diciembre	4.2	4.2	0.00		0.6
Total	149.30	129.87	0.13		18.44

Fuente: Elaboración Propia

Se evidencia que hay predominancia de precipitaciones en los meses de verano (febrero, marzo y abril), esto influye a que la huella verde total sea de 18.44m³. En el gráfico 20, se puede observar los meses con más lluvias en porcentaje, donde resalta el mes de febrero.

Gráfico 20 - HH verde en porcentaje del colegio N° 10226



Fuente: Elaboración Propia

Obtención de la HH Azul

Afluentes (entradas de agua)

Se usó el mismo criterio que en la institución educativa de Jayanca, pero se consideró 50 personas en vacaciones y 20 personas entre autoridades y auxiliares, pues la población aquí es bastante mayor a la que hay en el colegio de Jayanca.

Tabla 52 - Afluente en el centro educativo de Túcume

Meses del 2019	N° días	Dotación en litros	Dotación teórica en m3
Enero	31	77500	77.5
Febrero	28	70000	70.0
Marzo	31	1381050	1381.1
Abril	30	1336500	1336.5
Mayo	31	1381050	1381.1
Junio	30	1336500	1336.5
Julio	31	1381050	1381.1
Agosto	31	1381050	1381.1
Setiembre	30	1336500	1336.5
Octubre	31	1381050	1381.1
Noviembre	30	1336500	1336.5
Diciembre	31	1381050	1381.1
Total	365	13779800	13779.8

Fuente: Elaboración Propia

Efluentes (salidas de agua)

a. Agua usada en el aseo personal por parte de la comunidad educativa

Tabla 53 - Promedio de respuestas sobre el consumo en el colegio de Túcume

Actividades realizadas	Alumnos	Docentes	Auxiliares	Seguridad o auxiliares
Horas asistidas durante vacaciones	0	0	0	0
Horas asistidas durante el año escolar	6	6	6	6
Tiempo (seg) de veces de lavado de manos al día	30.0	36.0	20.0	24.0
Litros/día usados en lavado de manos (0.2 l/s)	6.0	7.2	4.0	4.8
Descargas del inodoro o urinario por día	1.5	1.0	1.0	1.0
Litros/día de descargas de tanque (4.8 l)	7.2	6.0	6.0	6.0
Tiempo (seg) de otros usos en lavatorios	15.0	10.0	10.0	12.0
Litros/día usados en lavatorios (0.2 l/s)	3.0	2.0	2.0	2.4
N° de ambientes y baños que limpia por día	0.0	0.0	0.0	4.0
20 Litros/día usados por ambiente	0.0	0.0	0.0	80.0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 54 - Promedio de consumo por tipo de población

Tipo de población	Alumnos	Docentes	Auxiliares	Limpieza
Litros por persona al día	16.2	15.2	12.0	93.2

Fuente: Elaboración Propia

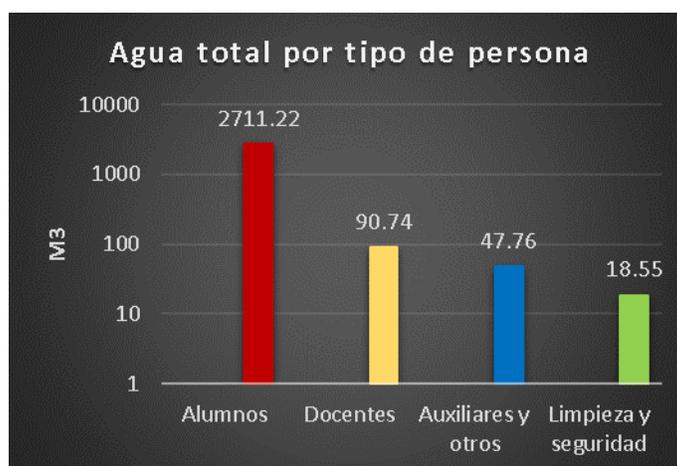
Tabla 55 - Agua total consumida por tipo de población

Tipo de población	Días escolares	Litros por persona	n° de personas	HH azul en m3
Alumnos	199	16.2	841	2711.22
Docentes	199	15.2	30	90.74
Auxiliares y otros	199	12.0	20	47.76
Limpieza y seguridad	199	93.2	1	18.55
TOTAL				2868.27

Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico 21, se aprecia el consumo total, pero en una escala logarítmica, para observar mejor el agua consumida según el tipo de población que alberga el colegio de Túcume.

Gráfico 21 - Agua consumida por tipo de población del colegio N° 10226



Fuente: Elaboración Propia

b. Agua utilizada para irrigar las áreas verdes

En la tabla 56, la columna 04 se obtuvo de una base de datos mundial de climas, ver [40], mientras que las el resto de columnas son tomadas de la misma estación de Jayanca, incluyendo sus horas solares por tener un clima estrechamente similar y geográficamente están muy cerca.

Tabla 56 - ETo calculada con CROPWAT en Túcume

Mes	Input					Output		Días por mes	Eto
	Min Temp	Max Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ETo		
	°C	°C	%	km/day	hours	MJ/m ² /day	mm/day		mm
Enero	20.9	33.6	79	288	6.2	19.3	4.87	31	150.97
Febrero	21.9	33.3	80	276	6.6	20.1	4.93	28	138.04
Marzo	20.5	33.9	80	271	6.3	19.4	4.88	31	151.28
Abril	19.4	32.8	81	290	6.7	18.9	4.62	30	138.6
Mayo	17.5	31.3	80	310	6.5	17.2	4.26	31	132.06
Junio	15.0	28.9	79	310	5.6	15.2	3.76	30	112.8
Julio	14.0	27.1	79	312	5.2	14.9	3.52	31	109.12
Agosto	13.2	26.9	78	317	5.4	16.3	3.74	31	115.94
Setiembre	14.1	28.5	79	326	6.3	18.9	4.22	30	126.6
Octubre	15.2	30.4	80	317	5.9	18.8	4.43	31	137.33
Noviembre	16.9	30.6	80	305	6.6	19.8	4.54	30	136.2
Diciembre	18.4	32.0	80	298	6.3	19.2	4.6	31	142.6
Promedio	17.2	30.8	79	302	6.1	18.2	4.4		132.6

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 57 - Volumen de agua que requieren las áreas verdes

Mes	Eto	Eto	Kc	CWR =	NAC x	Huella verde	Agua para riego
	mm	m		NAC =	área de		
				m	m ³	m ³	m ³
Enero	151.0	0.15	0.9	0.14	19.29	0.03	19.3
Febrero	138.0	0.14	0.9	0.12	17.64	12.56	5.1
Marzo	151.3	0.15	0.9	0.14	19.33	2.33	17.0
Abril	138.6	0.14	0.9	0.12	17.71	2.92	14.8
Mayo	132.1	0.13	0.9	0.12	16.88	0.00	16.9
Junio	112.8	0.11	0.9	0.10	14.42	0.00	14.4
Julio	109.1	0.11	0.9	0.10	13.95	0.00	13.9
Agosto	115.9	0.12	0.9	0.10	14.82	0.00	14.8
Setiembre	126.6	0.13	0.9	0.11	16.18	0.00	16.2
Octubre	137.3	0.14	0.9	0.12	17.55	0.00	17.6
Noviembre	136.2	0.14	0.9	0.12	17.41	0.00	17.4
Diciembre	142.6	0.14	0.9	0.13	18.22	0.59	17.6
Total agua de riego							184.96

Fuente: Evapotranspiración de Cultivo. FAO. [22]

Como se mencionó en el apartado de *Métodos*, el agua azul resulta de la resta de afluentes (13779.8 m³) menos efluentes (3053.2m³), resultando un valor de 10726.58m³

Obtención de la HH Gris

Se consideraron los mismos datos característicos del afluente y efluente que se tomaron para el colegio de Jayanca, con la diferencia de que los volúmenes varían entre una institución y otra.

$$Huella\ Gris = \frac{(3053.22\ m^3 \times 162.25\ g/m^3) - (13779.8\ m^3 \times 5\ g/m^3)}{15\ g/m^3 - 3\ g/m^3} = 35541.12m^3$$

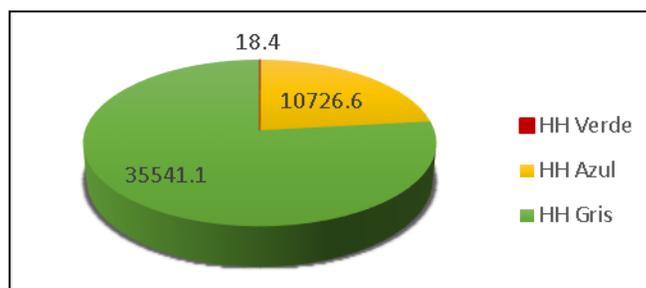
Balance hídrico de la HH Directa

Tabla 58 - Balance hídrico de la HH directa de Túcume

ENTRADAS (M3)		SALIDAS (M3)	
Agua de precipitaciones	18.4	Agua para riego	185
Agua de EPSEL	13779.8	Agua de usos	2868.27
Total	13798.2	Total	3053

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 22 - Huella directa en m3 del colegio N° 10226



Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de la HH indirecta

Al igual que el afluente visto en la huella azul, el consumo eléctrico total resultó difícil obtener, pero se calculó en base a recibos del año 2022, ya que la asistencia es al 100% de su población, se entró a la base de datos de Electro Norte S.A., con el suministro 27778851 que aparece en el medidor en los exteriores de la institución. Luego, se pudo inferir en base a los días escolares, un

consumo de kWh mensual, y también se usó una equivalencia de HH para relacionar el agua empleada para producir 1 GJ de energía, la cual aparecen en la tabla 38.

Ilustración 30 - N° de suministro en el colegio 10226



Fuente: Elaboración propia

Tabla 59 - HH de consumo de energía eléctrica

Mes del año	Electricidad	Electricidad	HH
2019	kw/h	GJ	m3
Enero	300.0	1.08	8.97
Febrero	300.0	1.08	8.97
Marzo	900.0	3.24	26.91
Abril	1000.0	3.60	29.90
Mayo	1100.0	3.96	32.89
Junio	1200.0	4.32	35.88
Julio	1000.0	3.60	29.90
Agosto	1100.0	3.96	32.89
Setiembre	1000.0	3.60	29.90
Octubre	1050.0	3.78	31.39
Noviembre	1200.0	4.32	35.88
Diciembre	900.0	3.24	26.91
Total	11050.0	39.78	330.37

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 60 - HH de consumo de papel

Descripción del artículo	Gramaje	N° hojas por paquete	Total de paquetes adquiridos	Total de gramaje	Gramaje toneladas	HH de cada m3
	gramos			gramos		
Papel bond A4	75	1000	30	2250000	2.25	1166.63
Papelógrafo	56	1	120	6720	0.01	3.48
Total	131	1001	150	2256720	2.26	1170.11

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 61 - HH de consumo de útiles escolares

Descripción del artículo	N° unidades por alumno	N° unidades por docente	N° unidades en total por	Unidades en total und	HH de cada m3
	Lapices	8	3	3	6821
Cuadernos	10	3	2	8502	12753.0
Lapiceros	6	3	3	5139	14389.2
Libros	6	6	2	5228	18298.0
Total	30	15	10	25690	46463.4

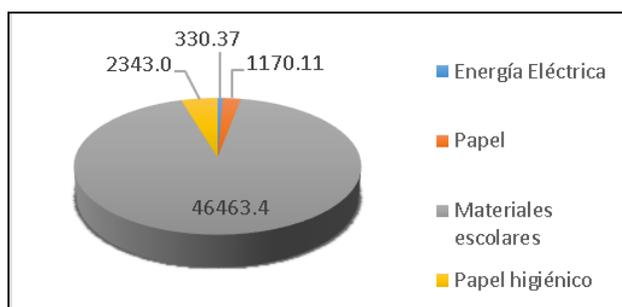
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 62 - HH de consumo de papel higiénico

Descripción del artículo	Unidades en total al und	HH de cada m3
	Papel higiénico	16736
Total	16736	2343.0

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 23 - Huella indirecta en m3 del colegio N° 10226



Fuente: Elaboración Propia

Evaluación de Sostenibilidad

Sostenibilidad de HH Azul: dimensión ambiental

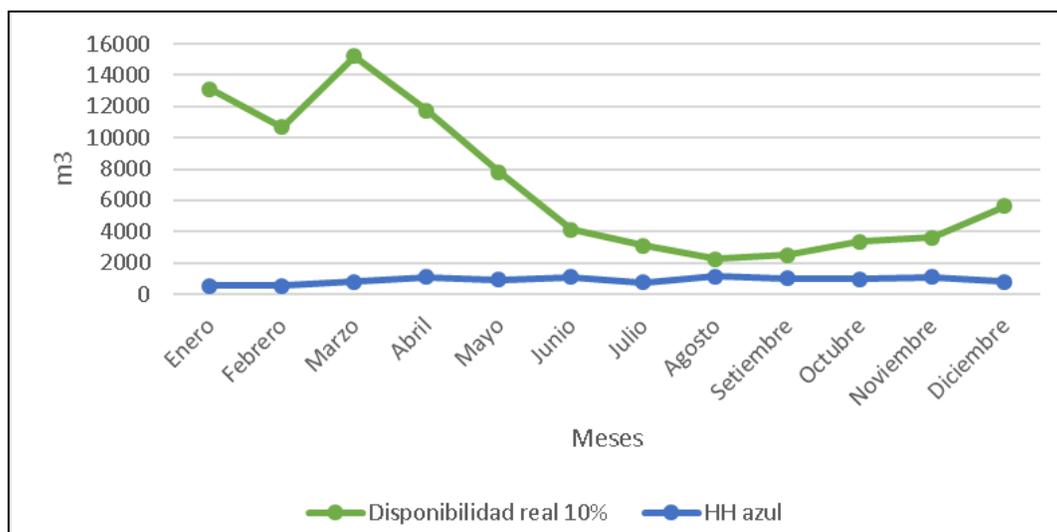
Al ser alimentados por EPSEL también reciben agua que parte de la cuenca Chancay Lambayeque, también usamos la tabla 46, y siguiendo el mismo criterio en el colegio de Jayanca, buscamos el porcentaje que representa esta población frente a la total que alimenta la cuenca, resultando un porcentaje de 0.094%, producto de dividir la población de 891 personas del colegio tucumano frente a las 951 095 personas (tabla 44) que toma la cuenca.

Tabla 63 - Escasez de agua que produce la HH azul

Mes	Disponibilidad real para la escuela (m3)	Días escolares por mes	Huella azul de la escuela (m3) por mes	Índice de escasez de agua
Enero	13122.9	10	539.02	4.11%
Febrero	10676.9	10	539.02	5.05%
Marzo	15224.2	15	808.54	5.31%
Abril	11728.0	20	1078.05	9.19%
Mayo	7796.2	17	916.34	11.75%
Junio	4150.1	20	1078.05	25.98%
Julio	3089.6	14	754.63	24.42%
Agosto	2263.3	21	1131.95	50.01%
Setiembre	2509.7	19	1024.15	40.81%
Octubre	3360.4	18	970.24	28.87%
Noviembre	3598.3	20	1078.05	29.96%
Diciembre	5649.0	15	808.54	14.31%
Total	83168.56	199	10726.58	2.498

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 24 - Disponibilidad de la HH azul versus el caudal ecológico en Túcume



Fuente: Elaboración Propia

Sostenibilidad de HH Azul: dimensión social

Tabla 64 - Comparación del rango de la OMS frente al uso en litros

Tipo de población	Litros por persona	Rangos (litros)	Defecto o exceso (l)
Alumnos	16.2	50.0	33.80
Docentes	15.2	50.0	34.80
Auxiliares y otras autoridades	12.0	50.0	38.00
Limpieza y seguridad	93.2	100.0	6.80

Fuente: Elaboración Propia

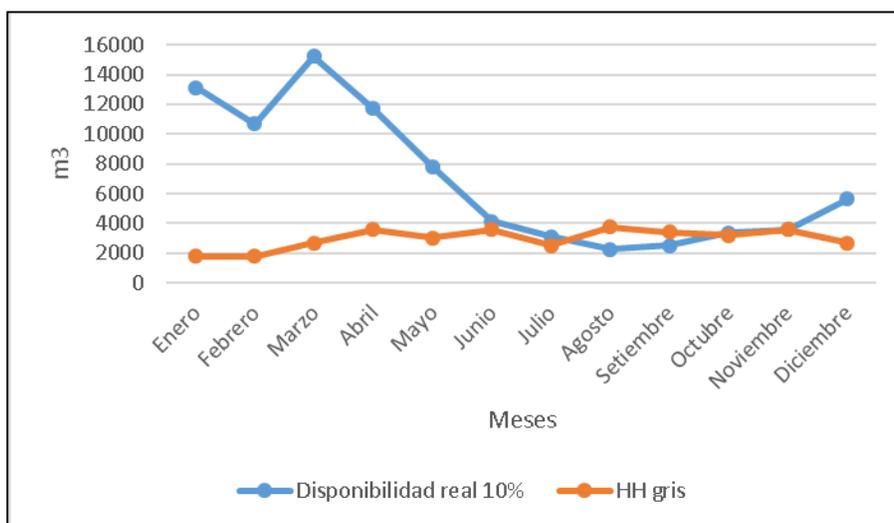
Sostenibilidad de HH Gris: dimensión ambiental

Tabla 65 - Nivel de contaminación que produce la HH gris

Mes	Disponibilidad real para la escuela (m3)	Días escolares por mes	Huella gris de la escuela (m3) por mes	Nivel de contaminación de agua
Enero	13122.9	10	1785.99	13.61%
Febrero	10676.9	10	1785.99	16.73%
Marzo	15224.2	15	2678.98	17.60%
Abril	11728.0	20	3571.97	30.46%
Mayo	7796.2	17	3036.18	38.94%
Junio	4150.1	20	3571.97	86.07%
Julio	3089.6	14	2500.38	80.93%
Agosto	2263.3	21	3750.57	165.71%
Setiembre	2509.7	19	3393.37	135.21%
Octubre	3360.4	18	3214.77	95.67%
Noviembre	3598.3	20	3571.97	99.27%
Diciembre	5649.0	15	2678.98	47.42%
Total	83168.56	199	35541.12	8.28

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 25 - Disponibilidad de la HH gris versus el caudal ecológico en Túcume



Fuente: Elaboración Propia

Centro educativo en Incahuasi: N° 10084 – Virgen de las Mercedes

Cálculo de la HH directa

Obtención de la HH Verde

Usamos la estación meteorológica de Incahuasi, descrita en la ilustración 25.

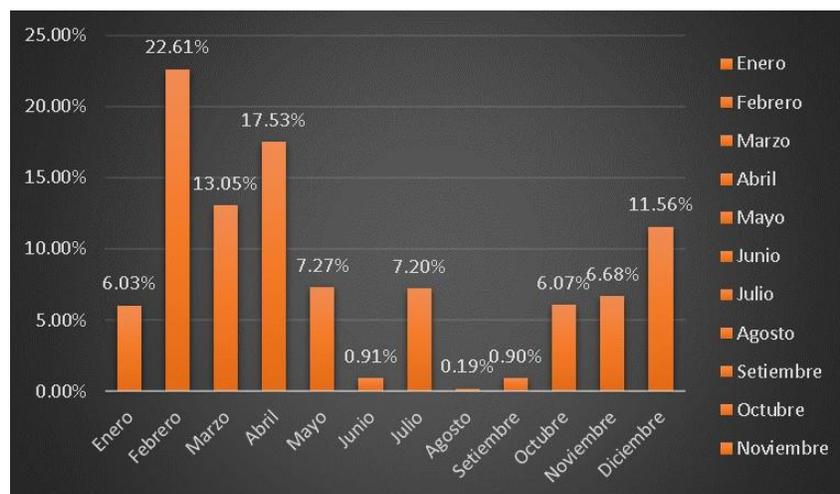
Tabla 66 - HH verde por meses en el colegio N° 10084

Meses del 2019	Precipitación del 2019 (mm)	Precipitación efectiva (mm)	Precipitación efectiva (m)	Área con vegetación (m2)	Huella Verde (m3)
Enero	37.6	35.3	0.04	60.0	2.1
Febrero	190.8	132.6	0.13		8.0
Marzo	89.2	76.5	0.08		4.6
Abril	129.7	102.8	0.10		6.2
Mayo	46.0	42.6	0.04		2.6
Junio	5.4	5.4	0.01		0.3
Julio	45.5	42.2	0.04		2.5
Agosto	1.1	1.1	0.00		0.1
Setiembre	5.3	5.3	0.01		0.3
Octubre	37.9	35.6	0.04		2.1
Noviembre	42.0	39.2	0.04		2.4
Diciembre	77.3	67.7	0.07		4.1
Total	707.80	586.17	0.59		35.17

Fuente: Elaboración Propia

En comparación a los colegios costeños, aquí la lluvia es variable, destaca febrero y abril.

Gráfico 26 - HH verde en porcentaje del colegio N° 10084



Fuente: Elaboración Propia

Obtención de la HH Azul

Afluentes (entradas de agua)

En campo se comprobó que el tanque elevado tiene un volumen de 3100 L. Quedando la dotación, producto de este volumen diario, multiplicado por el número de días escolares mensuales y por 3 veces al día que se use este tanque (se comprueba si es correcto el criterio reemplazando 199 por 1 en la tabla 70). En las vacaciones se consideró 10 personas.

Tabla 67 - Afluente en el centro educativo de Incahuasi

Meses del 2019	N° días	Dotación teórica en m3
Enero	31	46.5
Febrero	28	45.0
Marzo	31	139.5
Abril	30	186.0
Mayo	31	158.1
Junio	30	186.0
Julio	31	130.2
Agosto	31	195.3
Setiembre	30	176.7
Octubre	31	167.4
Noviembre	30	186.0
Diciembre	31	139.5
Total	365	1756.2

Fuente: Elaboración Propia

Efluentes (salidas de agua)

a. Agua usada en el aseo personal por parte de la comunidad educativa

Tabla 68 - Respuestas promedio sobre el consumo de agua del colegio N° 10084

Actividades realizadas	Alumnos	Docentes	Auxiliares	Seguridad o auxiliares
Horas asistidas durante vacaciones	0	0	0	0
Horas asistidas durante el año escolar	10	10	10	10
Tiempo (seg) de veces de lavado de manos al día	20.0	24.0	20.0	24.0
Litros/día usados en lavado de manos (0.2 l/s)	4.0	4.8	4.0	4.8
Descargas del inodoro o urinario por día	1.0	1.0	1.0	1.0
Litros/día de descargas de tanque (4.8 l)	4.8	4.8	4.8	4.8
Tiempo (seg) de otros usos en lavatorios	0.0	10.0	10.0	12.0
Litros/día usados en lavatorios (0.2 l/s)	0.0	2.0	2.0	2.4
N° de ambientes y baños que limpia por día	0.0	0.0	0.0	1.0
20 Litros/día usados por ambiente	0.0	0.0	0.0	20.0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 69 - Promedio de consumo por tipo de población

Tipo de población	Alumnos	Docentes	Auxiliares	Limpieza
Litros por persona al día	8.8	11.6	10.8	32.0

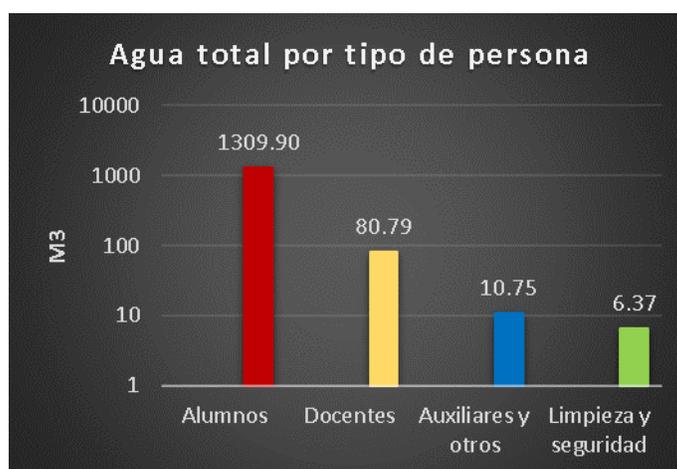
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 70 - Agua total consumida por tipo de población

Tipo de población	Días escolares	Litros por persona	n° de personas	HH azul en m3
Alumnos	199	8.8	748	1309.90
Docentes	199	11.6	35	80.79
Auxiliares y otros	199	10.8	5	10.75
Limpieza y seguridad	199	32.0	1	6.37
TOTAL				1407.81

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 27 - Agua consumida por tipo de población del colegio N° 10084



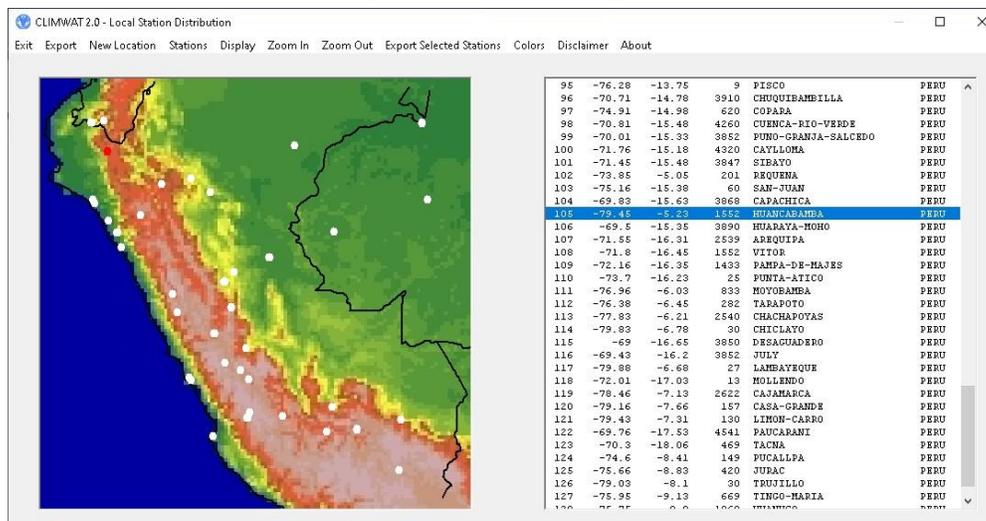
Fuente: Elaboración Propia

b. Agua utilizada para irrigar las áreas verdes

En la tabla 71, aparecen los valores a ingresar en el software CROPWAT 8.0, llamados “input”, y “output” son los valores que arroja el programa. Se muestran los valores recolectados de las estaciones meteorológicas, para las 03 primeras columnas. La siguiente columna se obtuvo de una base de datos mundial de climas, ver [40], y por último la columna de horas sol, es proporcionado

por el software CLIMWAT, los cuales da valores para exportar en formato leído por CROPWAT. Se usó, las horas solares de la estación de Huancabamba, como se aprecia en la ilustración 31.

Ilustración 31 - Estación elegida de CLIMWAT para horas solares de Incahuasi



Fuente: Elaboración propia

Tabla 71 - ETo calculada con CROPWAT en Incahuasi

Mes	Input					Output		Días por mes	Eto mm
	Min Temp °C	Max Temp °C	Humidity %	Wind km/day	Sun hours	Rad MJ/m ² /day	ETo mm/day		
Enero	7.9	16.4	80	168	4.5	16.6	2.91	31	90.21
Febrero	8.6	16.6	87	163	5.5	18.4	3	28	84
Marzo	8.7	17.1	87	151	5.4	18	2.99	31	92.69
Abril	8.3	16.5	87	134	6.0	17.8	2.87	30	86.1
Mayo	7.5	16.3	90	139	6.3	16.9	2.58	31	79.98
Junio	7.6	16.0	78	170	6.2	16	2.63	30	78.9
Julio	6.9	15.0	83	190	5.7	15.6	2.44	31	75.64
Agosto	7.1	16.0	89	173	7.6	19.5	2.85	31	88.35
Setiembre	7.8	17.0	76	146	6.6	19.3	3.27	30	98.1
Octubre	7.6	16.6	84	149	6.4	19.6	3.2	31	99.2
Noviembre	7.4	16.0	81	166	6.4	19.6	3.18	30	95.4
Diciembre	8.2	16.6	85	168	6.5	19.6	3.16	31	97.96
Promedio	7.8	16.3	84	160	6.1	18.1	2.9		88.9

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 72 - Volumen de agua que requieren las áreas verdes

Mes	Eto	Eto	Kc	CWR = NAC	NAC x área	Huella	Agua para
	mm	m		= ETc	de cultivo	verde	riego
				m	m ³	m ³	m ³
Enero	90.2	0.09	0.9	0.08	4.87	2.12	2.8
Febrero	84.0	0.08	0.9	0.08	4.54	7.95	0.0
Marzo	92.7	0.09	0.9	0.08	5.01	4.59	0.4
Abril	86.1	0.09	0.9	0.08	4.65	6.17	0.0
Mayo	80.0	0.08	0.9	0.07	4.32	2.56	1.8
Junio	78.9	0.08	0.9	0.07	4.26	0.32	3.9
Julio	75.6	0.08	0.9	0.07	4.08	2.53	1.6
Agosto	88.4	0.09	0.9	0.08	4.77	0.07	4.7
Setiembre	98.1	0.10	0.9	0.09	5.30	0.32	5.0
Octubre	99.2	0.10	0.9	0.09	5.36	2.14	3.2
Noviembre	95.4	0.10	0.9	0.09	5.15	2.35	2.8
Diciembre	98.0	0.10	0.9	0.09	5.29	4.06	1.2
Total agua de riego							27.36

Fuente: Evapotranspiración de Cultivo. FAO. [22]

Se observa que en la columna de agua para riego pudo haber valores negativos (pero se consideró como cero), estos obviamente son irreales y se interpreta como que en esos meses basta el agua de las precipitaciones para cubrir las necesidades hídricas de la vegetación.

Como se mencionó en el apartado de *Métodos*, el agua azul resulta de la resta de afluentes (1756.2 m³) menos efluentes (1432.4m³), resultando un valor de 321.04m³

Obtención de la HH Gris

$$Huella\ Gris = \frac{(1435.16\ m^3 \times 162.25\ \frac{g}{m^3}) - (1756.2\ m^3 \times 1.5\ \frac{g}{m^3})}{15\ \frac{g}{m^3} - 1.5\ \frac{g}{m^3}} = 17053.64m^3$$

El valor de DBO del afluente se consideró menor a las zonas costeras puesto que la intervención antrópica es nula en comparación a las aguas superficiales, se toma directamente de las aguas subterráneas, siendo igual la concentración natural a la del afluente. Además, para [49], el valor de DBO en aguas subterráneas suele ser menor de 1 mg/L.

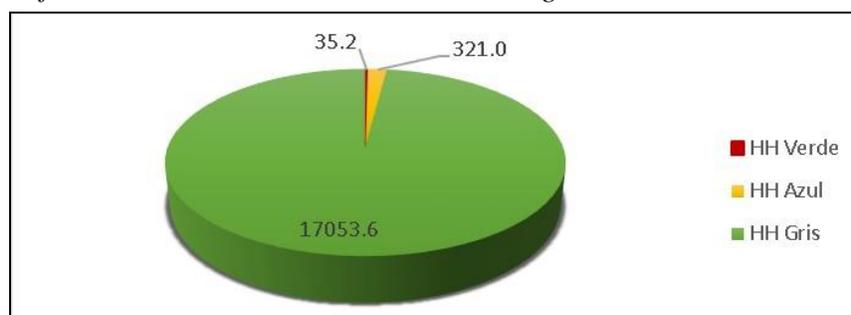
Balance hídrico de la HH Directa

Tabla 73 - Balance hídrico de la HH directa del colegio de Incahuasi

ENTRADAS (M3)		SALIDAS (M3)	
Agua de	35.2	Agua para riego	27
Agua subterránea	1756.2	Agua de usos	1407.81
Total	1791.4	Total	1435

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 28 - Huella directa en m3 del colegio N° 10084



Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de la HH indirecta

En Incahuasi, no fue posible encontrar los valores del consumo eléctrico en la base de datos consultada en los colegios previos, como se ve en la ilustración 32 no aparece el n° de suministro, pero se pudo asumir valores coherentes de acuerdo al n° de aulas de la institución, su población estudiantil y los dos turnos de asistencia al centro educativo.

Ilustración 32 - Inexistencia del n° de suministro en el colegio 10084



Fuente: Elaboración propia

Tabla 74 - HH de consumo de energía eléctrica

Mes del año 2019	Electricidad	Electricidad	HH
	kw/h	GJ	m ³
Enero	200.0	0.72	5.98
Febrero	200.0	0.72	5.98
Marzo	600.0	2.16	17.94
Abril	800.0	2.88	23.92
Mayo	850.0	3.06	25.41
Junio	820.0	2.95	24.52
Julio	800.0	2.88	23.92
Agosto	800.0	2.88	23.92
Setiembre	800.0	2.88	23.92
Octubre	800.0	2.88	23.92
Noviembre	850.0	3.06	25.41
Diciembre	700.0	2.52	20.93
Total	8220.0	29.59	245.76

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 75 - HH de consumo de papel

Descripción del artículo	Gramaje	N° hojas	Total de paquetes adquiridos	Total de	Gramaje	HH de cada m ³
	gramos	por paquete		grama ie gramos		
Papel bond A4	75	1000	10	750000	0.75	388.88
Papelógrafo	56	1	50	2800	0.00	1.45
Total	131	1001	60	752800	0.75	390.33

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 76 - HH de consumo de útiles escolares

Descripción del artículo	N° unidades por alumno	N° unidades por docente	N° unidades en total por	Unidades en total	HH de cada
				und	m ³
Lapices	4	3	2	3099	464.9
Cuadernos	5	3	1	3846	5769.0
Lapiceros	6	3	2	4595	12866.0
Libros	4	4	1	3133	10965.5
Total	19	13	6	14673	30065.4

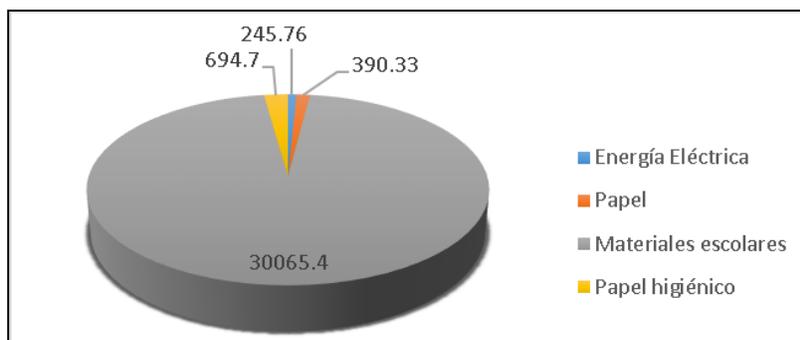
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 77 - HH de consumo de papel higiénico

Descripción del artículo	Unidades en total al año	HH de cada artículo
	und	m3
Papel higiénico	4962.00	694.7
Total	4962	694.7

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 29 - Huella indirecta en m3 del colegio N° 10084



Fuente: Elaboración Propia

Evaluación de Sostenibilidad

Sostenibilidad de HH Azul: dimensión ambiental

Considerando un 10% aprovechable de la escorrentía natural, lo igualamos al volumen requerido por la población de Incahuasi, la cual según INEI 2017, asciende a 13858 pobladores en el distrito, pero la población del centro poblado donde está la JASS es de 206 habitantes, calculamos el volumen que requiere el triple de esta población según el RNE OS.100, con la dotación de 180 L/habitante/día, y sumando el volumen teórico calculado para el colegio. Este volumen resultante vendría a ser nuestro 10% pues, el punto de extracción sirve enteramente al centro poblado.

Tabla 78 - Dotación de agua para habitantes por clima

Si se comprobara la no existencia de estudios de consumo y no se justificara su ejecución, se considerará por lo menos para sistemas con conexiones domiciliarias una dotación de 180 l/hab/d, en clima frío y de 220 l/hab/d en clima templado y cálido.

Fuente: RNE. OS.100. Ver [50]

El porcentaje que obtenemos sería de dividir 788 (población estudiantil) entre 13858 pobladores del distrito dando un porcentaje de 5.69%, el cual se usará para nuestros cálculos, siguiendo el procedimiento en los anteriores colegios.

Tabla 79 - Disponibilidad del agua subterránea UckuYaku

Mes	Volumen requerido (m3)	Disponibilidad real en la cuenca (10%)	Requerimiento ambiental de la cuenca (90%)	Escurrimiento natural o caudal (m3)
Enero	3494.9	3494.94	31454.46	34949.40
Febrero	3159.7	3159.72	28437.48	31597.20
Marzo	3587.9	3587.94	32291.46	35879.40
Abril	3523.2	3523.20	31708.80	35232.00
Mayo	3606.5	3606.54	32458.86	36065.40
Junio	3523.2	3523.20	31708.80	35232.00
Julio	3578.6	3578.64	32207.76	35786.40
Agosto	3643.7	3643.74	32793.66	36437.40
Setiembre	3513.9	3513.90	31625.10	35139.00
Octubre	3615.8	3615.84	32542.56	36158.40
Noviembre	3523.2	3523.20	31708.80	35232.00
Diciembre	3587.9	3587.94	32291.46	35879.40

Fuente: Elaboración Propia

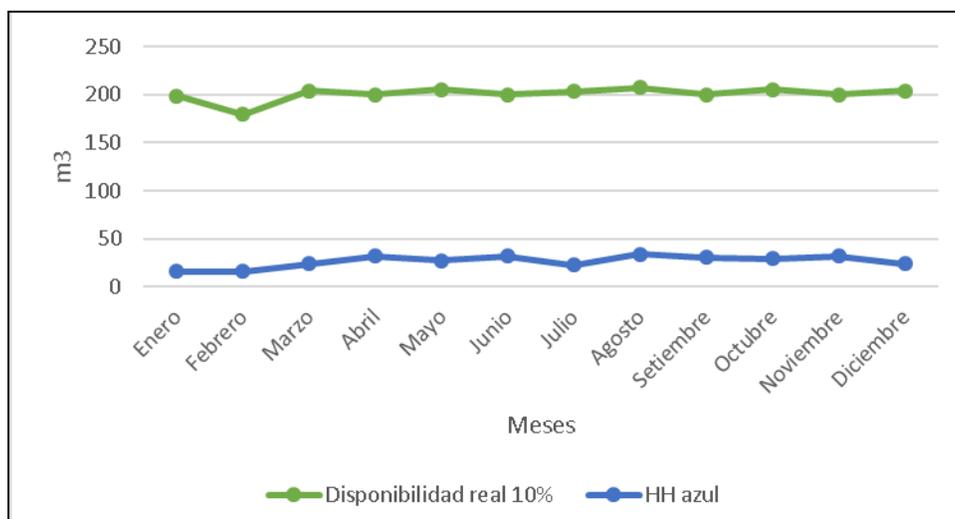
Tabla 80 - Índice de Escasez de agua en Incahuasi

Mes	Disponibilidad real para la escuela (m3)	Días escolares por mes	Huella azul de la escuela (m3) por mes	Índice de escasez de agua
Enero	198.7	10	16.13	8.12%
Febrero	179.7	10	16.13	8.98%
Marzo	204.0	15	24.20	11.86%
Abril	200.3	20	32.27	16.11%
Mayo	205.1	17	27.43	13.37%
Junio	200.3	20	32.27	16.11%
Julio	203.5	14	22.59	11.10%
Agosto	207.2	21	33.88	16.35%
Setiembre	199.8	19	30.65	15.34%
Octubre	205.6	18	29.04	14.12%
Noviembre	200.3	20	32.27	16.11%
Diciembre	204.0	15	24.20	11.86%
Total	2408.63	199	321.04	1.594

Fuente: Elaboración Propia

La tabla 79, se calcula multiplicando las 206 personas por tres, con el fin de considerar que el agua no solo llega a las viviendas sino también a otros establecimientos (como la pequeña posta del centro poblado, comisaría, etc) que requieran una dotación de agua, luego sumamos los valores mensuales de afluente considerados para el colegio n° 10084 y haciendo una “regla de tres simple” ya que tenemos el 10%, buscamos los valores para un 90% y 100% de la cuenca

Gráfico 30 - Disponibilidad de la HH azul versus el caudal ecológico en Incahuasi



Fuente: Elaboración Propia

Sostenibilidad de HH Azul: dimensión social

Tabla 81 - Comparación del rango de la OMS frente al uso en litros

Tipo de población	Litros por persona	Rangos (litros)	Defecto o exceso (l)
Alumnos	8.8	50.0	41.20
Docentes	11.6	50.0	38.40
Auxiliares y otras autoridades	10.8	50.0	39.20
Limpieza y seguridad	32.0	100.0	68.00

Fuente: Elaboración Propia

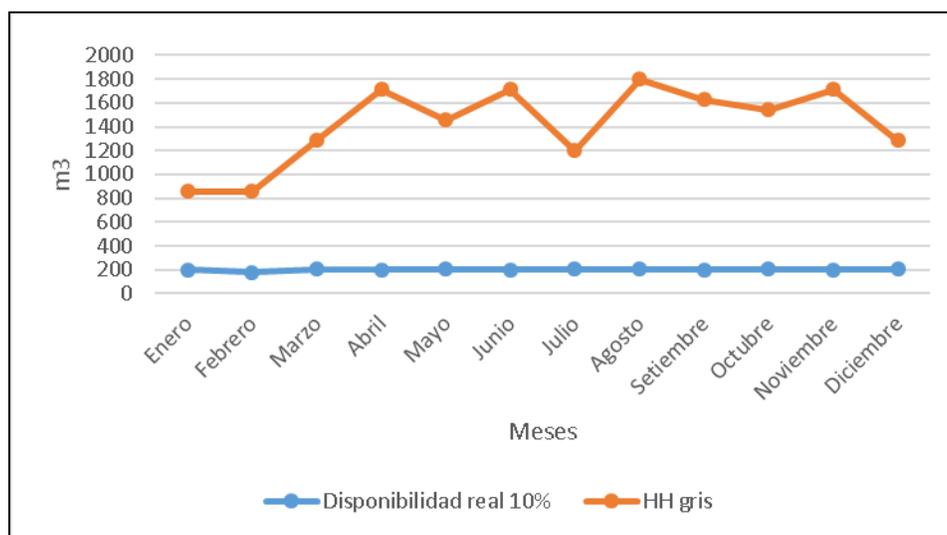
Sostenibilidad de HH Gris: dimensión ambiental

Tabla 82 - Nivel de contaminación produce la HH gris en Incahuasi

Mes	Disponibilidad real para la escuela (m3)	Días escolares por mes	Huella gris de la escuela (m3) por mes	Nivel de contaminación de agua
Enero	198.7	10	856.97	431.2%
Febrero	179.7	10	856.97	477.0%
Marzo	204.0	15	1285.45	630.1%
Abril	200.3	20	1713.93	855.5%
Mayo	205.1	17	1456.84	710.4%
Junio	200.3	20	1713.93	855.5%
Julio	203.5	14	1199.75	589.6%
Agosto	207.2	21	1799.63	868.6%
Setiembre	199.8	19	1628.24	814.9%
Octubre	205.6	18	1542.54	750.2%
Noviembre	200.3	20	1713.93	855.5%
Diciembre	204.0	15	1285.45	630.1%
Total	2408.63	199	17053.64	

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 31 - Disponibilidad de la HH gris versus el caudal ecológico en Incahuasi



Fuente: Elaboración Propia

Centro educativo en Cañaris: N° 10062 – San Juan de Cañaris

Cálculo de la HH directa

Obtención de la HH Verde

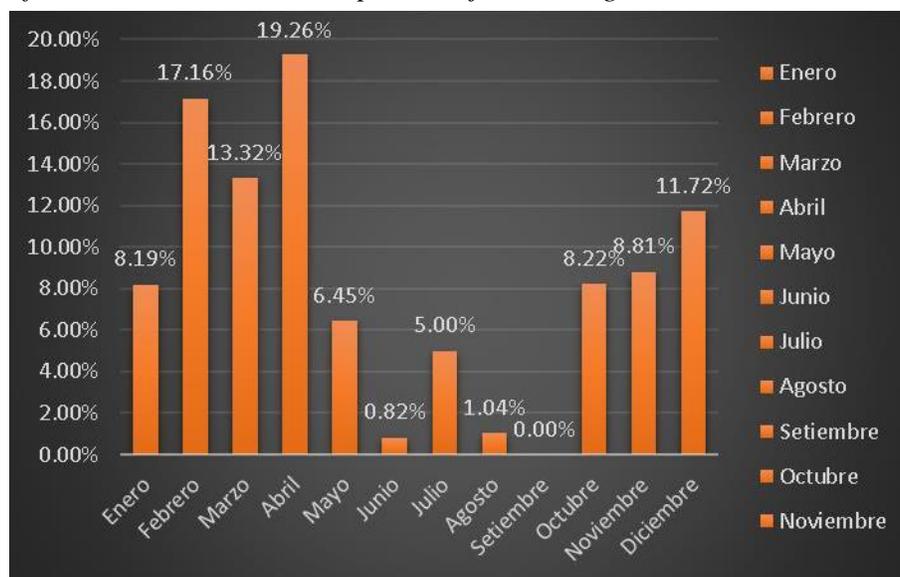
Usamos la estación meteorológica Cueva Blanca para Cañaris, descrita en la ilustración 25.

Tabla 83 - HH verde por meses en Cañaris

Meses del 2019	Precipitación del 2019 (mm)	Precipitación efectiva (mm)	Precipitación efectiva (m)	Área con vegetación (m2)	Huella Verde (m3)
Enero	66.0	59.0	0.06	15069.3	889.5
Febrero	169.8	123.7	0.12		1863.6
Marzo	118.4	96.0	0.10		1446.2
Abril	208.2	138.8	0.14		2092.3
Mayo	50.6	46.5	0.05		700.8
Junio	6.0	5.9	0.01		89.5
Julio	38.4	36.0	0.04		543.1
Agosto	7.6	7.5	0.01		113.1
Setiembre	0.0	0.0	0.00		0.0
Octubre	66.3	59.3	0.06		893.1
Noviembre	71.7	63.5	0.06		956.5
Diciembre	100.7	84.5	0.08		1273.0
Total	903.70	720.72	0.72		10860.82

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 32 - Huella verde en porcentaje del colegio N° 10062



Fuente: Elaboración Propia

Obtención de la HH Azul

Afluentes (entradas de agua): Se usó el mismo proceso que en Incahuasi, haciendo un uso de 1.5 veces al día del tanque de 3100 L (se comprueba si es correcto el criterio reemplazando los 199 días por 1, en la tabla 87). En las vacaciones se mantuvo el criterio de los colegios anteriores, siendo 20 personas las asistentes.

Tabla 84 - Afluente en el centro educativo de Cañarís

Meses del 2019	Nº días	Dotación teórica en m ³
Enero	31	62.0
Febrero	28	59.0
Marzo	31	69.8
Abril	30	93.0
Mayo	31	79.1
Junio	30	93.0
Julio	31	65.1
Agosto	31	97.7
Setiembre	30	88.4
Octubre	31	83.7
Noviembre	30	93.0
Diciembre	31	69.8
Total	365	953.4

Fuente: Elaboración Propia

Efluentes (salidas de agua)

a. Agua usada en el aseo personal por parte de la comunidad educativa

Tabla 85 - Promedio de respuestas referente al consumo en el colegio de Cañarís

Actividades realizadas	Alumnos	Docentes	Auxiliares	Seguridad o auxiliares
Horas asistidas durante vacaciones	0	0	0	0
Horas asistidas durante el año escolar	10	10	10	10
Tiempo (seg) de veces de lavado de manos al día	20.0	24.0	20.0	24.0
Litros/día usados en lavado de manos (0.2 l/s)	4.0	4.8	4.0	4.8
Descargas del inodoro o urinario por día	1.0	1.0	1.0	1.0
Litros/día de descargas de tanque (4.8 l)	4.8	4.8	4.8	4.8
Tiempo (seg) de otros usos en lavatorios	0.0	10.0	10.0	12.0
Litros/día usados en lavatorios (0.2 l/s)	0.0	2.0	2.0	2.4
Nº de ambientes y baños que limpia por día	0.0	0.0	0.0	2.0
20 Litros/día usados por ambiente	0.0	0.0	0.0	40.0

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 86 - Promedio de consumo por tipo de población

Tipo de población	Alumnos	Docentes	Auxiliares	Limpieza
Litros por persona al día	8.8	11.6	10.8	52.0

Fuente: Elaboración Propia

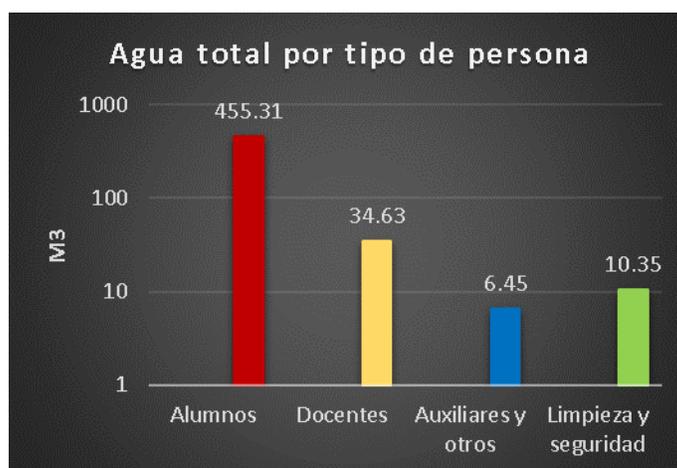
Tabla 87 - Agua total consumida por tipo de población

Tipo de población	Días escolares	Litros por persona	n° de personas	HH azul en m3
Alumnos	199	8.8	260	455.31
Docentes	199	11.6	15	34.63
Auxiliares y otros	199	10.8	3	6.45
Limpieza y seguridad	199	52.0	1	10.35
TOTAL				506.73

Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico 33, se aprecia el consumo total, pero en una escala logarítmica.

Gráfico 33 - Agua consumida por tipo de población del colegio N° 10062



Fuente: Elaboración Propia

b. Agua utilizada para irrigar las áreas verdes

En la tabla 88, aparecen los valores a ingresar en el software CROPWAT 8.0, llamados “input”, y “output” son los valores que arroja el programa. Se muestran los valores recolectados de la estación

meteorológica Cueva Blanca (ver ilustración 25) para la primera columna; luego las columnas relacionadas con la temperatura, se obtuvo de una base de datos mundial de climas, ver [40], la columnas de viento y horas solares, se tomaron los mismos de Incahuasi, al no hallarse datos exactos o fiables; esto debido a sus características físicas semejantes de clima y terreno.

Tabla 88 - ETo calculada con CROPWAT en Cañaris

Mes	Input					Output		Días por mes	Eto
	Min Temp	Max Temp	Humidity	Wind	Sun	Rad	ETo		mm
	°C	°C	%	km/day	hours	MJ/m ² /day	mm/day		
Enero	7.0	18.0	80	168	4.5	16.6	3.04	31	94.24
Febrero	7.0	18.0	87	163	5.5	18.4	3.12	28	87.36
Marzo	7.0	18.0	87	151	5.4	18	3.05	31	94.55
Abril	7.0	18.0	87	134	6.0	17.8	2.97	30	89.1
Mayo	7.0	18.0	90	139	6.3	16.9	2.7	31	83.7
Junio	7.0	18.0	78	170	6.2	16	2.77	30	83.1
Julio	7.0	18.0	83	190	5.7	15.6	2.66	31	82.46
Agosto	7.0	18.0	89	173	7.6	19.5	3.05	31	94.55
Setiembre	7.0	18.0	76	146	6.6	19.3	3.37	30	101.1
Octubre	7.0	18.0	84	149	6.4	19.6	3.31	31	102.61
Noviembre	7.0	18.0	81	166	6.4	19.6	3.36	30	100.8
Diciembre	7.0	18.0	85	168	6.5	19.6	3.28	31	101.68
Promedio	7.0	18.0	84	160	6.1	18.1	3.1		92.9

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 89 - Volumen de agua que requieren las áreas verdes

Mes	Eto	Eto	Kc	CWR =	NAC x área	Huella	Agua	Agua real
	mm	m		NAC = ETc	de cultivo	verde	para riego	usada en riego
				m	m ³	m ³	m ³	m ³
Enero	94.2	0.09	0.9	0.08	1278.12	889.55	388.6	0.0
Febrero	87.4	0.09	0.9	0.08	1184.81	1863.60	0.0	0.0
Marzo	94.6	0.09	0.9	0.09	1282.32	1446.21	0.0	0.0
Abril	89.1	0.09	0.9	0.08	1208.41	2092.29	0.0	0.0
Mayo	83.7	0.08	0.9	0.08	1135.17	700.77	434.4	0.0
Junio	83.1	0.08	0.9	0.07	1127.03	89.55	1037.5	0.0
Julio	82.5	0.08	0.9	0.07	1118.35	543.11	575.2	0.0
Agosto	94.6	0.09	0.9	0.09	1282.32	113.13	1169.2	0.0
Setiembre	101.1	0.10	0.9	0.09	1371.16	0.00	1371.2	0.0
Octubre	102.6	0.10	0.9	0.09	1391.63	893.11	498.5	0.0
Noviembre	100.8	0.10	0.9	0.09	1367.09	956.52	410.6	0.0
Diciembre	101.7	0.10	0.9	0.09	1379.02	1272.98	106.0	0.0
Total agua de riego							5991.17	0.00

Fuente: Evapotranspiración de Cultivo. FAO. [22]

Se observa que en la columna de agua para riego pudo haber valores negativos, estos obviamente son irreales y se interpreta que en esos meses basta el agua de las precipitaciones. Sin embargo, es más evidente que el valor sea nulo para el riego, esto es producto a que en campo se comprobó que no usan agua que sale de los caños para regar la gran área de vegetación sino un pequeño riachuelo cercano, el cual mediante tuberías y mangueras (métodos tradicionales en esta zona rural) llevan el agua hacia puntos estratégicos para regar, el cual sirve como alimento para ganado vacuno, los cuales aparecen en la ilustración 45. El agua de lluvia igual sigue siendo gran ayuda.

Como se mencionó en el apartado de *Métodos*, el agua azul resulta de la resta de afluentes (953.4m³) menos efluentes (506.7m³), resultando un valor de 446.62m³

Obtención de la HH Gris

$$Huella\ Gris = \frac{(506.73\ m^3 \times 162.25\ \frac{g}{m^3}) - (953.35\ m^3 \times 1.5\ \frac{g}{m^3})}{15\ \frac{g}{m^3} - 1.5\ \frac{g}{m^3}} = 5984.35\ m^3$$

El valor de DBO del afluente se consideró menor a las zonas costeras tal como se indicó en el colegio de Incahuasi.

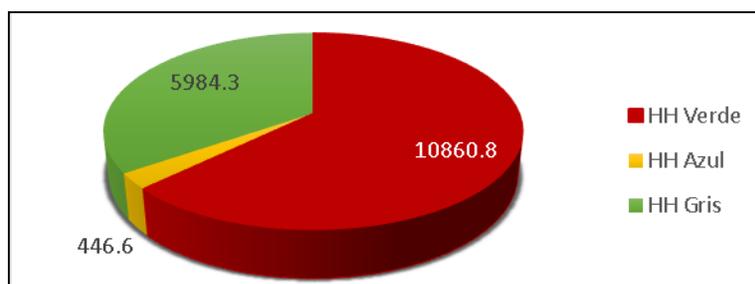
Balance hídrico de la HH Directa

Tabla 90 - Balance hídrico de la HH directa

ENTRADAS (M3)		SALIDAS (M3)	
Agua de precipitaciones	10860.8	Agua para riego	5991
Agua subterránea	953.4	Agua de usos	506.73
Total	11814.2	Total	6498

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 34 - Huella directa en m3 del colegio N° 10062

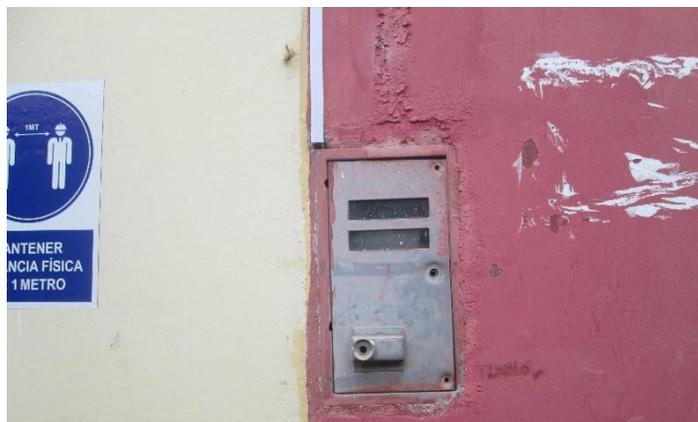


Fuente: Elaboración Propia

Cálculo de la HH indirecta

En Cañaris, tampoco fue posible encontrar los valores del consumo eléctrico en la base de datos consultada en los colegios previos, como se ve en la ilustración 33 no aparece el n° de suministro, pero se pudo asumir valores coherentes de acuerdo al n° de aulas de la institución, su población estudiantil y los dos turnos de asistencia al centro educativo.

Ilustración 33 - Inexistencia del n° de suministro en el colegio 10062



Fuente: Elaboración propia

Tabla 91 - HH de consumo de energía eléctrica

Mes del año	Electricidad	Electricidad	HH
2019	kw/h	GJ	m3
Enero	150.0	0.54	4.48
Febrero	150.0	0.54	4.48
Marzo	500.0	1.80	14.95
Abril	550.0	1.98	16.44
Mayo	500.0	1.80	14.95
Junio	550.0	1.98	16.44
Julio	500.0	1.80	14.95
Agosto	550.0	1.98	16.44
Setiembre	550.0	1.98	16.44
Octubre	500.0	1.80	14.95
Noviembre	550.0	1.98	16.44
Diciembre	500.0	1.80	14.95
Total	5550.0	19.98	165.93

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 92 - HH de consumo de papel

Descripción del artículo	Gramaje	N° hojas por paquete	Total de paquetes adquiridos	Total de gramaje	Gramaje toneladas	HH de cada m3
	gramos			gramos		
Papel bond A4	75	1000	10	750000	0.75	388.88
Papelógrafo	56	1	30	1680	0.00	0.87
Total	131	1001	40	751680	0.75	389.75

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 93 - HH de consumo de útiles escolares

Descripción del artículo	N° unidades por alumno	N° unidades por docente	N° unidades en total por	Unidades en total und	HH de cada m3
	Lapices	4	3	2	1087
Cuadernos	5	3	1	1346	2019.0
Lapiceros	6	3	2	1607	4499.6
Libros	4	4	1	1101	3853.5
Total	19	13	6	5141	10535.2

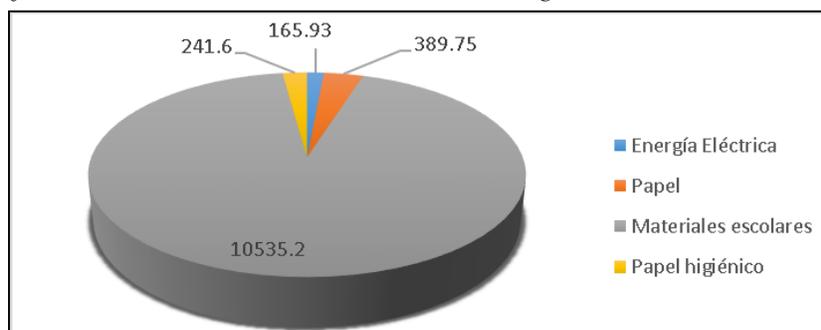
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 94 - HH de consumo de papel higiénico

Descripción del artículo	Unidades en total al und	HH de cada m3
	Papel higiénico	1726.00
Total	1726	241.6

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 35 - Huella indirecta en m3 del colegio N° 10062



Fuente: Elaboración Propia

Evaluación de Sostenibilidad

Se aplicó el mismo criterio del colegio de Incahuasi. Siendo, los habitantes en el centro poblado de 380 habitantes, según INEI 2017. El porcentaje que obtenemos sería de dividir 278 (población estudiantil) entre 11366 pobladores del distrito total dando un porcentaje de 2.446%, el cual se usará para nuestros cálculos, siguiendo el procedimiento en los anteriores colegios.

Al igual que en Incahuasi, se multiplicó por tres a las 380 personas que habitan el distrito con el fin de designar agua para el resto de establecimientos importantes en el distrito como su municipalidad, la cual nos brindó información sobre la laguna de oxidación, la empresa que les da el servicio eléctrico, el cual se mantiene a ElectroNorte S.A., entre otros datos relevantes.

Tabla 95 - Disponibilidad del agua subterránea administrada por la JASS

Mes	Volumen requerido (m3)	Disponibilidad real en la cuenca (10%)	Requerimiento ambiental de la cuenca (90%)	Escurrimiento natural o caudal (m3)
Enero	6423.2	6423.20	57808.80	64232.00
Febrero	5804.6	5804.60	52241.40	58046.00
Marzo	6431.0	6430.95	57878.55	64309.50
Abril	6249.0	6249.00	56241.00	62490.00
Mayo	6440.3	6440.25	57962.25	64402.50
Junio	6249.0	6249.00	56241.00	62490.00
Julio	6426.3	6426.30	57836.70	64263.00
Agosto	6458.9	6458.85	58129.65	64588.50
Setiembre	6244.4	6244.35	56199.15	62443.50
Octubre	6444.9	6444.90	58004.10	64449.00
Noviembre	6249.0	6249.00	56241.00	62490.00
Diciembre	6431.0	6430.95	57878.55	64309.50

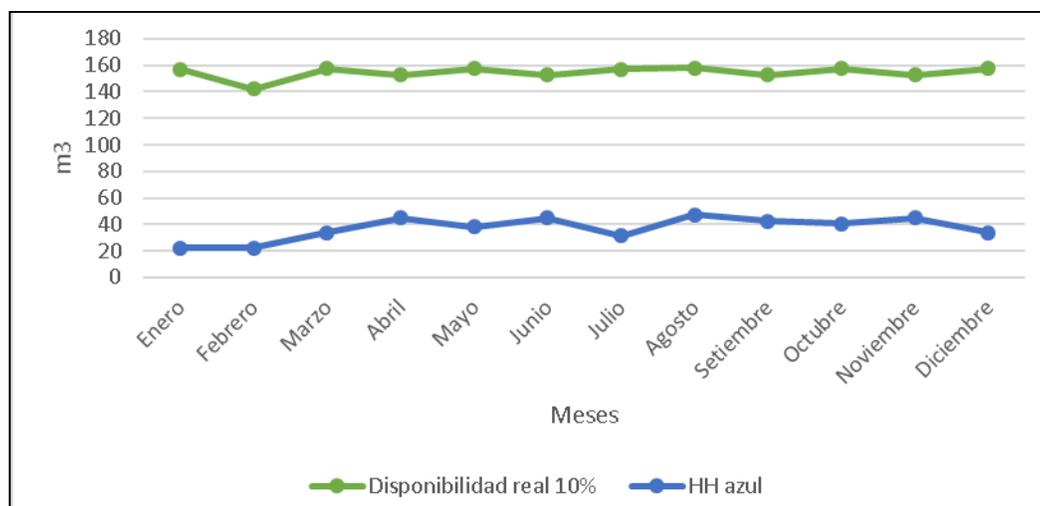
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 96 - Índice de Escasez de agua en Cañaris

Mes	Disponibilidad real para la escuela (m3)	Días escolares por mes	Huella azul de la escuela (m3) por mes	Índice de escasez de agua
Enero	157.1	10	22.44	14.29%
Febrero	142.0	10	22.44	15.81%
Marzo	157.3	15	33.66	21.40%
Abril	152.8	20	44.89	29.37%
Mayo	157.5	17	38.15	24.22%
Junio	152.8	20	44.89	29.37%
Julio	157.2	14	31.42	19.99%
Agosto	158.0	21	47.13	29.83%
Setiembre	152.7	19	42.64	27.92%
Octubre	157.6	18	40.40	25.63%
Noviembre	152.8	20	44.89	29.37%
Diciembre	157.3	15	33.66	21.40%
Total	1855.24	199	446.62	2.886

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 36 - Disponibilidad de la HH azul versus el caudal ecológico en Cañaris



Fuente: Elaboración Propia

En lo que respecta a la cantidad del recurso hídrico potencialmente explotable, vemos que la institución educativa N° 10062 no depreda el agua para realizar sus actividades escolares.

Sostenibilidad de HH Azul: dimensión social

Tabla 97 - Comparación del rango de la OMS frente al uso en litros

Tipo de población	Litros por persona	Rangos (litros)	Defecto o exceso (l)
Alumnos	8.8	50.0	41.20
Docentes	11.6	50.0	38.40
Auxiliares y otras autoridades	10.8	50.0	39.20
Limpieza y seguridad	52.0	100.0	48.00

Fuente: Elaboración Propia

Según esta tabla vemos que cada una de las personas que realizan sus actividades dentro de las instalaciones escolares, reciben el agua necesaria según lo que recomienda la OMS. Por lo que la institución no se encuentra carente o necesitada del recurso.

Sostenibilidad de HH Gris: dimensión ambiental

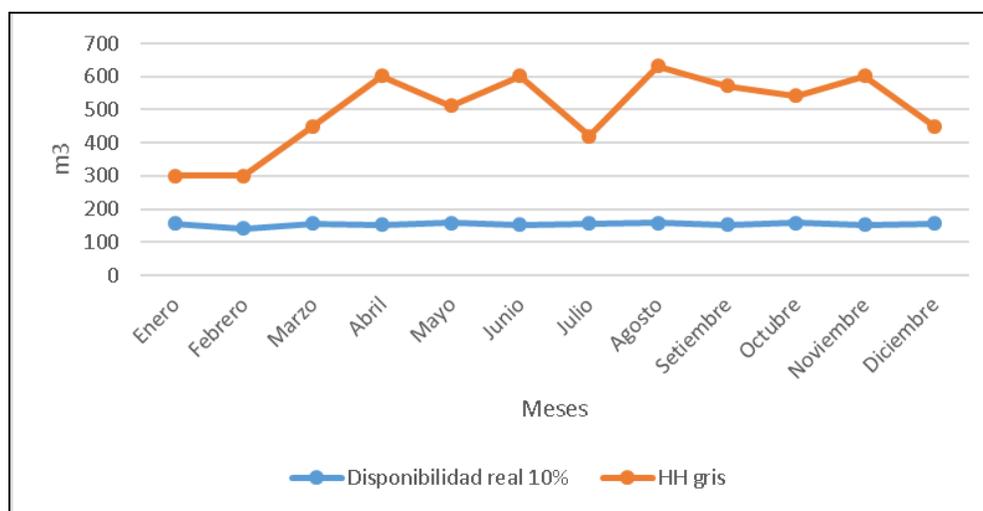
Tabla 98 - Nivel de contaminación produce la HH gris

Mes	Disponibilidad real para la escuela (m3)	Días escolares por mes	Huella gris de la escuela (m3) por mes	Nivel de contaminación de agua
Enero	157.1	10	300.72	191.4%
Febrero	142.0	10	300.72	211.8%
Marzo	157.3	15	451.08	286.8%
Abril	152.8	20	601.44	393.5%
Mayo	157.5	17	511.23	324.5%
Junio	152.8	20	601.44	393.5%
Julio	157.2	14	421.01	267.9%
Agosto	158.0	21	631.51	399.8%
Setiembre	152.7	19	571.37	374.1%
Octubre	157.6	18	541.30	343.4%
Noviembre	152.8	20	601.44	393.5%
Diciembre	157.3	15	451.08	286.8%
Total	1855.24	199	5984.35	38.67

Fuente: Elaboración Propia

En lo que respecta a usar las fuentes de agua como sumidero, vemos que los efluentes de la institución educativa N° 10062 contienen una gran carga contaminante que sobrepasa el límite máximo de manera alarmante a lo largo de todo el año.

Gráfico 37 - Disponibilidad de la HH gris versus el caudal ecológico en Cañarís



Fuente: Elaboración Propia

Se puede ver en el gráfico 37, que la HH gris de la institución educativa San Juan de Cañarís, posee volúmenes muy altos frente a la disponibilidad de agua calculada para albergar los contaminantes. Esto se debe principalmente a la gran carga de contaminantes (DBO para este estudio) que se arrojan en los efluentes sin tener un adecuado tratamiento.

En la visita realizada al centro educativo N° 10062, se pudo observar que el único tratamiento que reciben las aguas servidas dentro del distrito es mediante unas lagunas de oxidación, donde muchas veces son abandonadas tal como sucede en el distrito de San José, distrito que se conoce en gran medida por los olores fétidos que existen en su entrada, por ello mismo se tomaron los parámetros similares. No obstante, para un cálculo más exacto se debe realizar el ensayo de DBO in situ.

Realizar ensayos para determinar el DBO, en este distrito resulta muy laborioso y complejo de realizar si lo ejecuta un estudiante, ya que el distrito no cuenta con vías de acceso asfaltadas (ver tabla 21), por lo que el ensayo cuyo límite (ver apartado *Demanda Bioquímica de Oxígeno*) para llevar las muestras según muchos laboratorios puede ser como máximo de 24 horas (ver tabla 6). Por lo que el dato tomado es similar según las costumbres y usos de la población.

Alternativas de solución

- Lo primero que se debe hacer es dar un seguimiento más de cerca y control de las PTAR encargadas de los efluentes que se vierten en los cuerpos de agua, pues como menciona el DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM, el LMP debe ser 100 mg/L, pero este valor se ve ampliamente superado por los efluentes que salen de las PTAR administradas por EPSEL, presentados en la tabla 34, representando una gran concentración de contaminantes a las fuentes de agua.

Tabla 99 - LMP permitidos para efluentes de PTAR

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: MINAM. 2015. Ver [51]

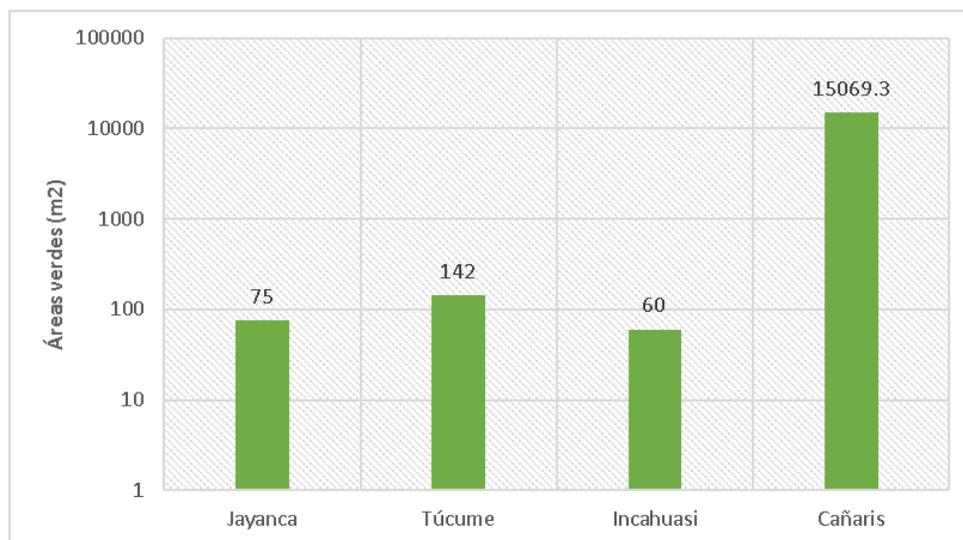
- En áreas verdes de gran extensión, es preferible usar biol, un abono orgánico, que evita contaminar los suelos con químicos, aunque el único lugar de la investigación con una gran área verde es la perteneciente al colegio San Juan de Cañaris.
- Reutilizar el agua, por ejemplo, recolectar el agua de lluvia para usos posteriores en las mismas áreas verdes, en la investigación hubo periodos donde el agua de lluvia satisfacía con creces las demandas hídricas de los cultivos, por ende, se puede dar otros usos que cada institución evaluará, puede ser para lavar el patio o veredas (actividades que no se consideraron en la presente tesis) que son la circulación cotidiana de la población.

Discusión

Huella Verde

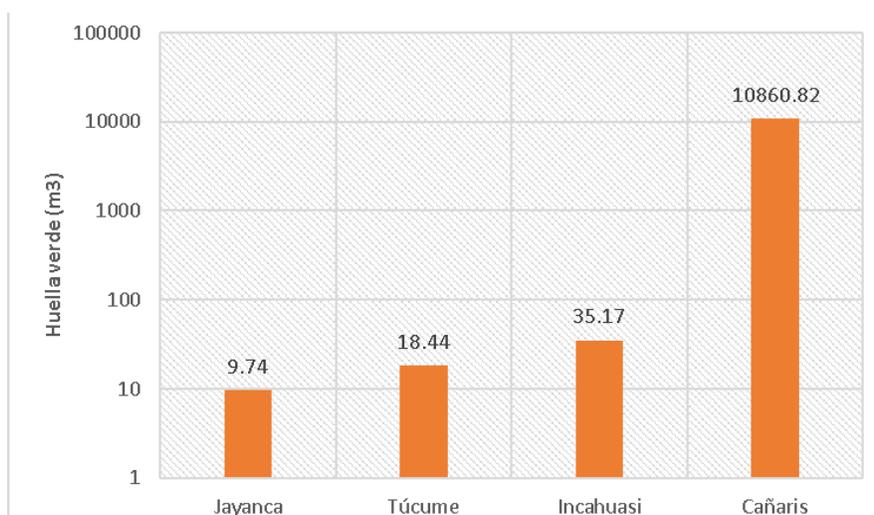
- La fórmula para calcular la precipitación efectiva (ecuación 2), es de fácil aplicación, pues no considera tantos datos técnicos como el tipo de suelo donde cae la precipitación si es árido o húmedo, la pendiente que favorezca al movimiento de las aguas, la velocidad de infiltración (ver los esquemas dentro del *Ciclo Hidrológico*), etc. Recordemos que su propósito es evaluar la cantidad de agua que aprovechan las plantas de las lluvias.
- En las instituciones costeras (Jayanca y Túcume) se obtuvo una huella verde baja (gráfico 39), frente a las instituciones de Incahuasi y Cañarís, pero esto es debido a las pocas precipitaciones que hubo durante el 2019. Se tuvo que graficar en escala logarítmica para visualizar mejor los valores.
- No se debe confundir que, a mayor área verde, mayor HH verde, ya que como se observa en el gráfico 38, Túcume supera tanto a Jayanca como a Incahuasi en área. Volvemos a indicar que esto depende fundamentalmente de las precipitaciones de cada zona.

Gráfico 38 - Áreas verdes por centros educativos



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 39 - Huella verde por centros educativos



Fuente: Elaboración Propia

- Es necesario mencionar que los tipos de vegetación que se elijan van a influir también en la huella verde, para este estudio se eligió el pasto tratando de homogenizar las áreas verdes, aunque esto resulta en un posible exageramiento ya que las necesidades hídricas del pasto siempre superan al resto de plantas ornamentales halladas en los centros educativos. Sin embargo, se buscó el escenario más crítico, dando lugar a que las áreas verdes pueden aumentar y también con dicho criterio se cubre lo que requerían muchos árboles.
- Los tipos de vegetación encontrados en los centros educativos, son muy variables, es decir, únicamente el pasto no es lo que aparecen en las áreas verdes, también existen arbustos y árboles, entre ellos podemos mencionar los principales (en sus nombres coloquiales), como la sábila (conocido también como aloe vera), ficus benjamina, palmera hawaiana, uva, pino, árbol de mango, árbol de guaba, aglonema, entre otras plantas ornamentales. Tales plantas se evidencian en las siguientes ilustraciones, las cuáles fueron tomadas por el autor.

Ilustración 34 - Palmera hawaiana existente en el colegio N° 10226



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 35 - Pino existente en el colegio N° 10062

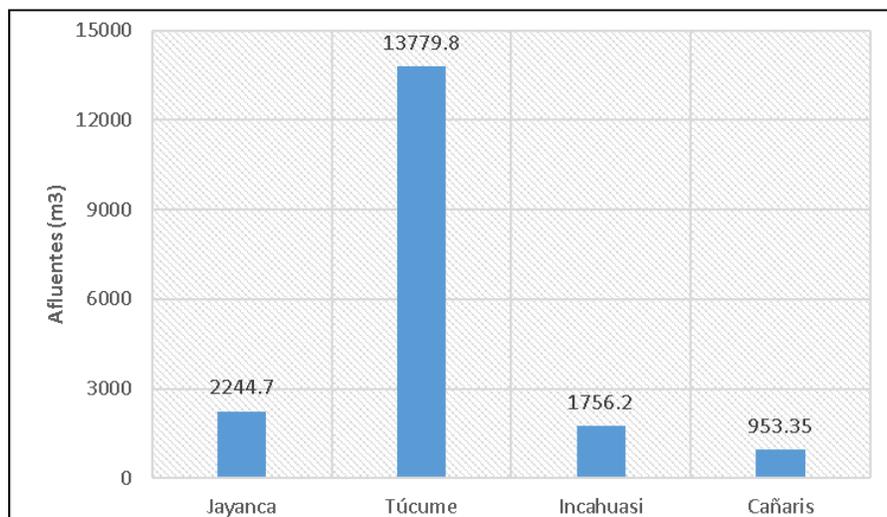


Fuente: Elaboración propia

Huella Azul

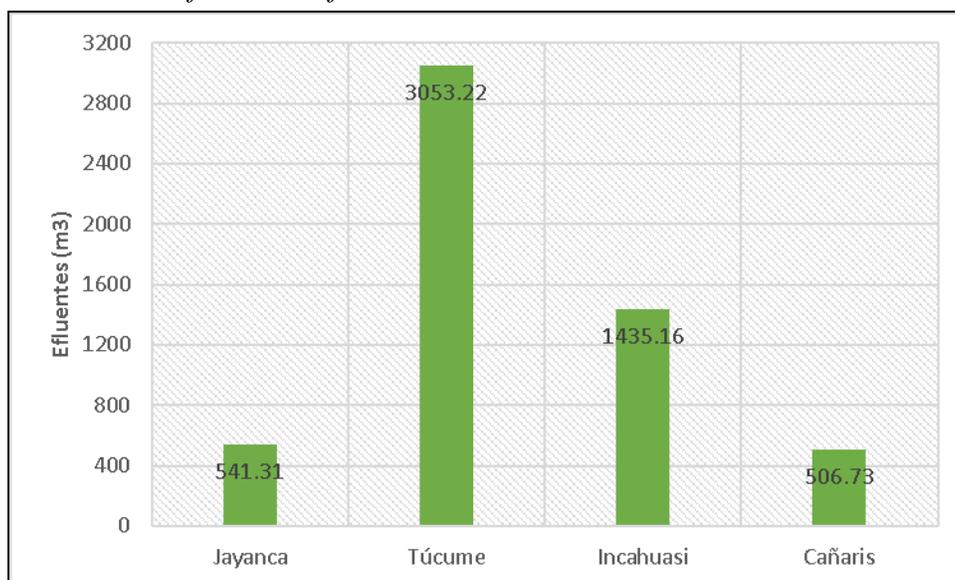
- Los afluentes calculados, en los colegios de Jayanca y Túcume, son en función de la norma RNE, por lo que resulta un volumen bastante conservador. Mientras que en los colegios de Incahuasi y Cañaris, el criterio se limitó al uso del tanque, pues en estas zonas los colegios son construidos por sus pobladores y los criterios se reducen a juicios empíricos.

Gráfico 40 - Afluentes de los centros educativos



Fuente: Elaboración Propia

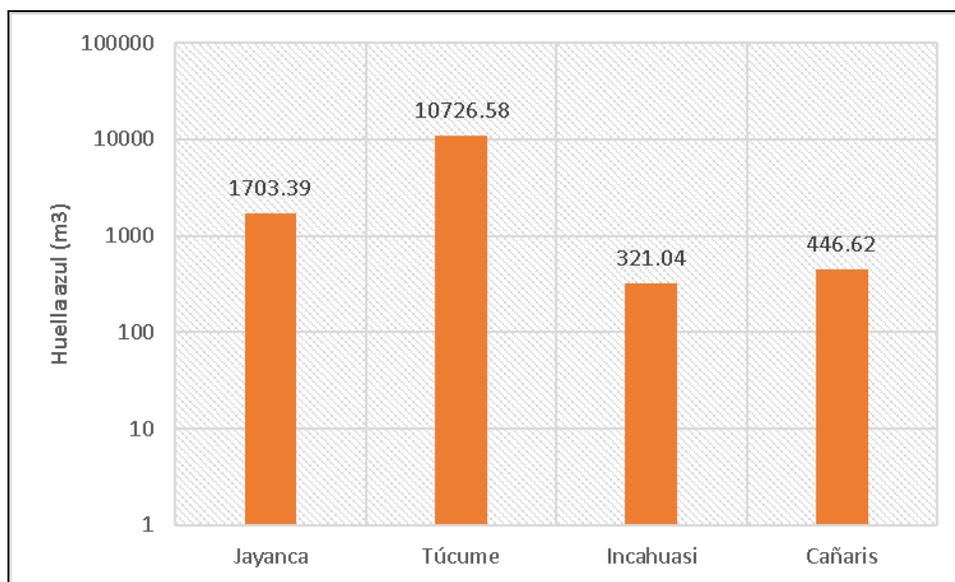
Gráfico 41 - Efluentes de los centros educativos



Fuente: Elaboración Propia

- La HH azul de todos los colegios, presentados en el gráfico 42, no significa qué tanta agua se usa por la cantidad de población sino por el consumo individual producto de los hábitos de cada uno de los integrantes de los centros educativos.

Gráfico 42 - Huella azul de los centros educativos



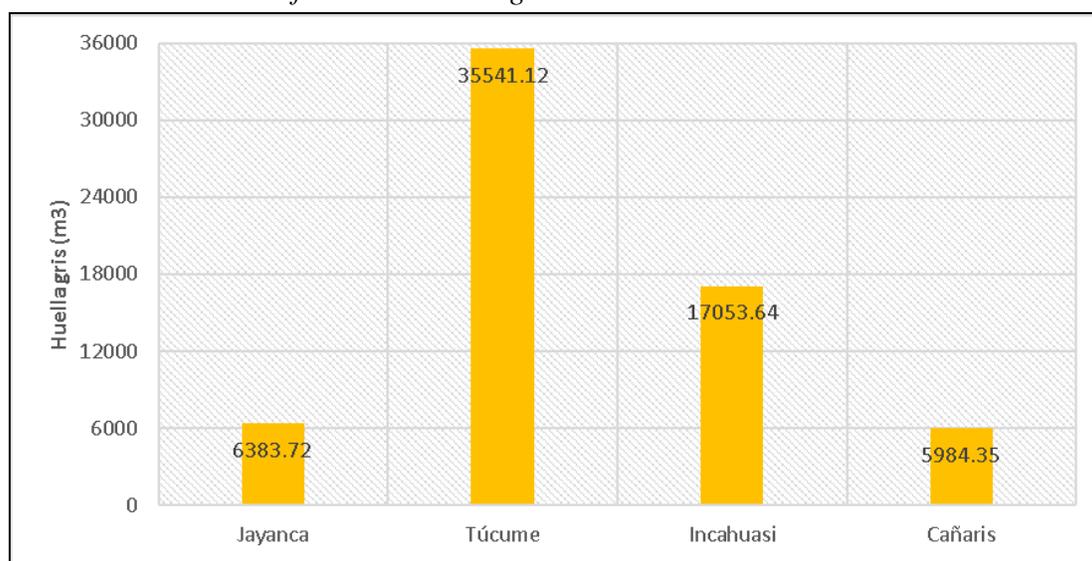
Fuente: Elaboración Propia

- Los afluentes calculados serán teóricos, pero son capaces de soportar el uso ya descrito anteriormente, que hacen las instituciones educativas. Habría errores si los efluentes superarán a los afluentes, pero esto no sucede en esta investigación, además que el peor de los casos es que toda la población haga uso del agua, lo cual no es real, ya que en algunas instituciones el turno es solo por las mañanas tal como en Jayanca y Túcume.
- El lector tendrá la duda de que en las instituciones de Incahuasi y Cañarís hay doble turno por lo que debió duplicarse el consumo individual, pero los cálculos se contabilizan por persona, no por turno, por ende, los valores están correctos.

Huella Gris

- La HH resulta un instrumento muy complejo de entender solo mediante cifras numéricas, pues la sostenibilidad estudiada en el caso de la HH gris, en casi todos los casos fue sobrepasada, esto es debido al poco control de las PTAR. Y en el caso de las pequeñas lagunas de oxidación, pierden su importancia ambiental cuando se desfogan en quebradas secas o usadas para riego sin un trato idóneo.
- La huella gris de los colegios, expresados en el gráfico 43, depende fundamentalmente a la cantidad de efluentes que se produzcan en los colegios, ver gráfico 41, porque si hay mayor uso del agua, habrá una mayor contaminación y eso significará un gran volumen de agua para diluir toda la carga contaminante generada dentro de los centros educativos.

Gráfico 43 - Huella gris de los centros educativos



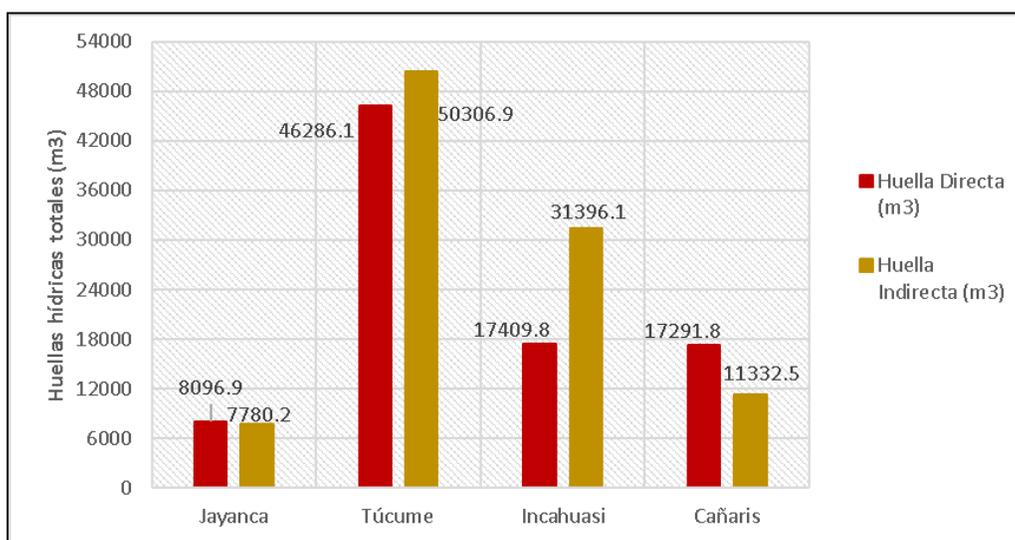
Fuente: Elaboración Propia

- En las investigaciones de Castillo [3] y de Guamán [11], se evidenció que obtienen un gran volumen de HH gris, mientras que esta tesis se obtuvo volúmenes no tan exagerados; la razón es que se evaluó el concepto desde sus raíces (literatura en idioma inglés) y el valor del contaminante elegido debe ser tomado antes de verter el volumen contaminado en un cuerpo de agua, no como sale del centro estudiado (a menos que no haya un tratamiento), y preferiblemente cuando haya un tratamiento de estas aguas residuales.

Huella Hídrica Total

- La HH total generada aparece en el gráfico 44, se observa que la huella indirecta en Túcume e Incahuasi superan a la directa, mientras que en Jayanca y Cañarís es la directa la que prima, en el caso de Jayanca es producto de sus usos personales mientras que en Cañarís es la huella verde la que aporta un gran valor a la huella directa.

Gráfico 44 - HH directa y HH indirecta de los centros educativos



Fuente: Elaboración Propia

- Recordemos que la HH para esta investigación está orientada a los consumidores, así mismo en las actividades que realizan, por lo que los valores no pueden ser tomados como absolutos, ya que si se agregan más materiales escolares que usen los estudiantes esta tesis resulta con una HH indirecta mayor, pero no por eso lo hallado está mal, ya que de agregarse más insumos solo aumenta la tendencia de crecer la HH indirecta, más no cambia las ecuaciones o metodología descrita o en su defecto, no afecta a los valores calculados de forma drástica.

Análisis de Sensibilidad

- Los valores más sensibles fueron los valores de los afluentes, es decir gran parte de las cosas que se pueden hacer o no hacer, depende de qué tanta agua se disponga, y en las instituciones educativas muchas veces el agua forma parte inclusive de las clases.
- El DBO debe también ser controlado, y es que es un valor orgánico de gran impacto ambiental, por lo que, si se reduce la carga contaminante lo más posible, antes de verter al cuerpo de agua receptor, se hará una gran reducción de ese volumen teórico.
- Otros valores que representan una gran HH son los útiles escolares, los cuales, si son considerados en su totalidad, la huella indirecta crece aún más, esto no se pudo realizar de forma completa en esta investigación por la ausencia de esas equivalencias, sin embargo, los insumos escolares elegidos representan muy bien la actividad escolar.
- Como se pudo apreciar en Cañaris, las áreas verdes representan un volumen importante de requerimiento de agua por lo que, si las áreas verdes crecen, su huella verde también lo hará, manteniendo los mismos valores de precipitaciones, pero sobre todo aumenta enormemente el consumo de huella azul, ya que esto forma parte de los efluentes.
- Podemos efectuar una relación entre las HH de los centros educativos analizados y su población, como se ve en la tabla 100, esto ayuda a entender mejor el consumo individual de cada institución, como en Cañaris y Túcume que se asemejan, donde podemos ver que un estudiante del colegio San Juan de Cañaris tiene una HH similar a un estudiante del colegio Nuestra Señora de la Merced de Túcume.

Tabla 100 - HH por centro educativo según su población

	HH (m3)	Población (pers.)	HH (m3/pers)
Jayanca	15877.1	206	77.07
Túcume	96593.0	885	109.14
Incahuasi	48806.0	767	63.63
Cañaris	28624.2	274	104.47

Fuente: Elaboración Propia

Conclusiones

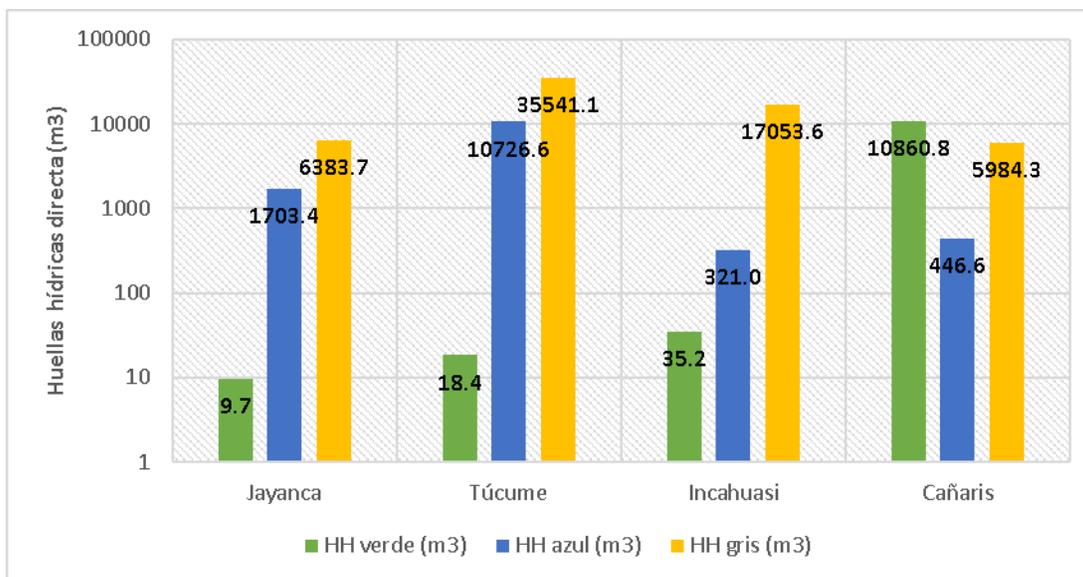
- De acuerdo al primer objetivo, la HH total por instituciones se expone en la tabla 101, siendo el gráfico 44 su representación, siendo los volúmenes de la región costa, los cuales varían mucho entre sí, frente a los centros educativos de la región andina, los cuales se asemejan a pesar de la diferencia poblacional. En el gráfico 45, se observa la división de la HH directa por centro educativo, la HH indirecta no se pudo hacer la misma distinción, y se encuentran los tres componentes combinados.

Tabla 101 - HH de los centros educativos

	Huella Directa (m3)	Huella Indirecta (m3)	HH total (m3)
Jayanca	8096.9	7780.2	15877.1
Túcume	46286.1	50306.9	96593.0
Incahuasi	17409.8	31396.1	48806.0
Cañarís	17291.8	11332.5	28624.2

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 45 - HH directa segregado por sus principales componentes



Fuente: Elaboración Propia

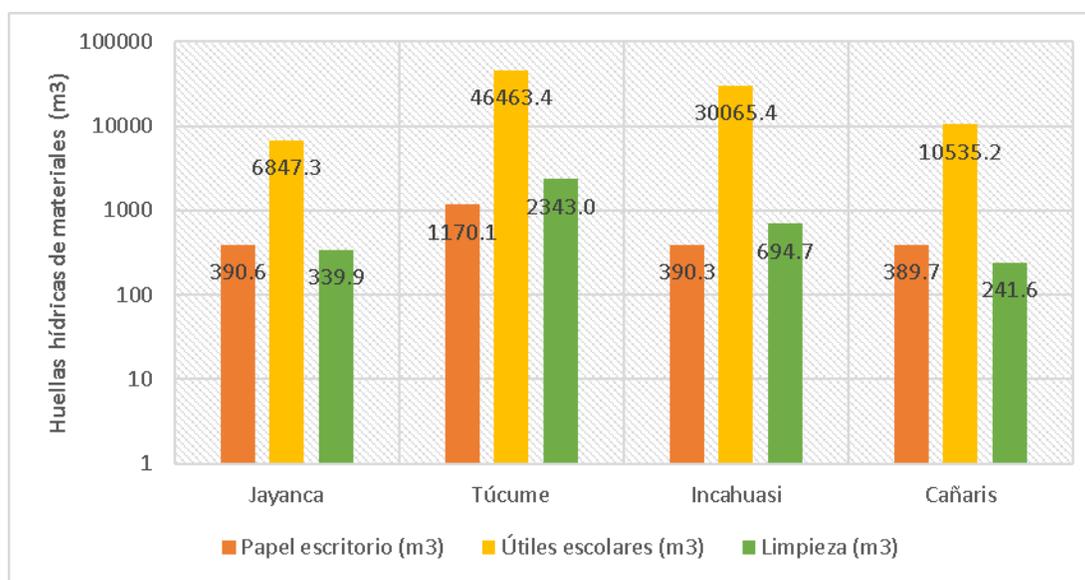
- De acuerdo al segundo objetivo, la HH de los materiales usados en los centros educativos, se calcularon por medio de la huella indirecta de cada centro educativo, dentro de los cuales se presenta la cantidad de agua que conlleva usar papel bond en exámenes, hacer uso durante todo el año escolar de cuadernos, lápices, lapiceros, libros escolares e incluso papel sanitario. Dentro de estos priman las plumas y los libros. Tras efectuar cuidadosamente los cálculos arrojaron los valores puestos en la tabla 102, además el gráfico 46, se representa en una escala logarítmica:

Tabla 102 - HH de los materiales educativos

	Papel escritorio (m3)	Útiles escolares (m3)	Limpieza (m3)	Insumos escolares (m3)
Jayanca	390.6	6847.3	339.9	7577.8
Túcume	1170.1	46463.4	2343.0	49976.5
Incahuasi	390.3	30065.4	694.7	31150.4
Cañaris	389.7	10535.2	241.6	11166.5

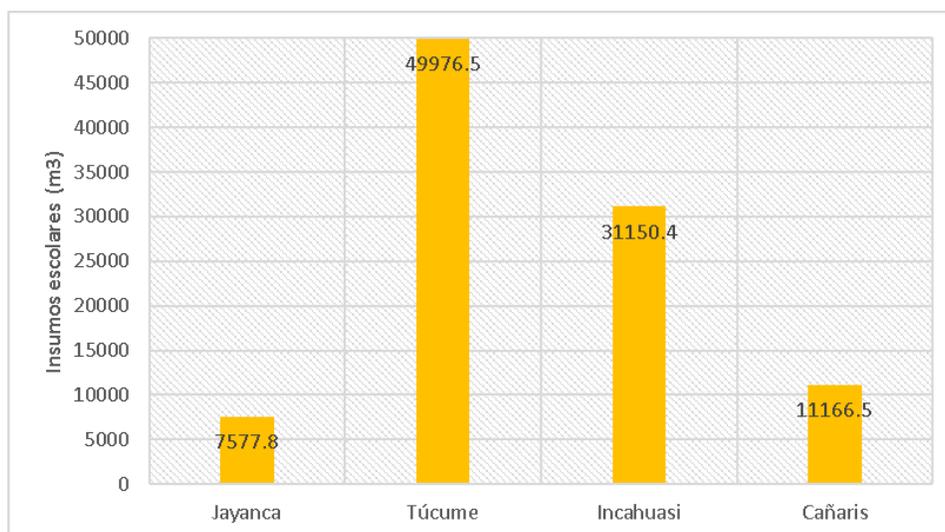
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 46 - Huella hídrica segregada de materiales usados en los colegios



Fuente: Elaboración Propia

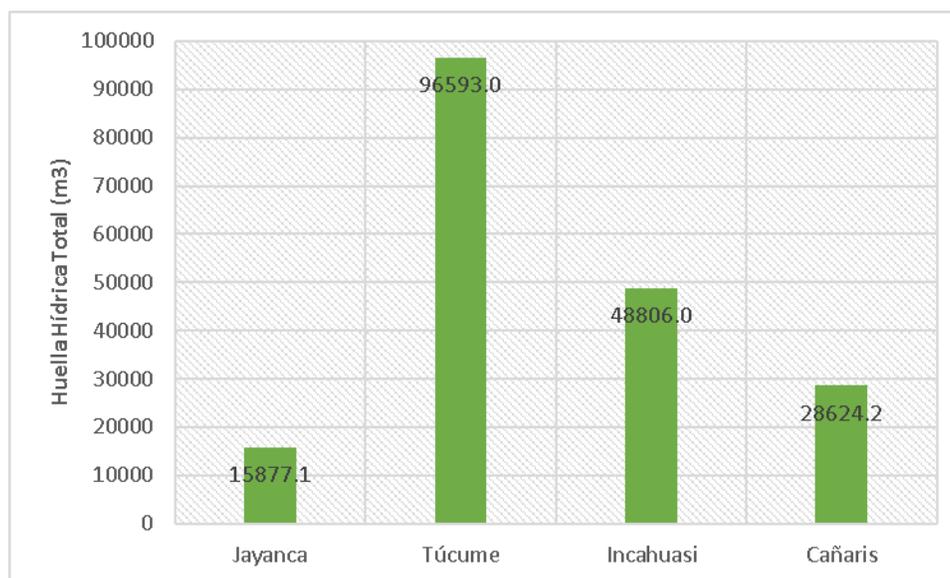
Gráfico 47 - HH total de los materiales utilizados en los centros educativos



Fuente: Elaboración Propia

- De acuerdo al tercer objetivo, la HH que se calcula genera siempre un impacto negativo en el medio ambiente, esto se puede apreciar cuando la disponibilidad ofertada por el punto de extracción (ver las gráficas de sostenibilidad ambiental de HH gris de cada uno de los centros educativos), muchas veces es vulnerado, en lo que respecta a usarlo como fuente de depósito de contaminantes. Incluso, cuando se extrae en meses de sequía (agosto y setiembre), en la cuenca Chancay – Lambayeque, se supera lo ofrecido por el río. Y en los centros educativos de la zona andina, es rebasado con creces puesto que se arrojan sin un tratamiento adecuado y no se arrojan directamente los efluentes en el punto inicial de extracción.
- De acuerdo al cuarto objetivo, se pudo analizar los resultados, en base a los cálculos que ofrece la metodología de la WFN, y se hizo gráficos ilustrativos sobre el consumo de agua de los centros educativos. En el gráfico 48, se puede ver los valores totales de las HH que se encontró en los centros educativos, siendo alarmante la HH del colegio en Túcume, pues eso equivale a haber usado 26 piscinas olímpicas (según FINA, una piscina olímpica debe tener 50m de largo, 25m de ancho y 3m de profundidad) durante el 2019, para que las 885 personas puedan realizar sus actividades escolares en el centro educativo de Nuestra Señora de la Merced. [52]

Gráfico 48 - Huella hídrica total de los centros educativos



Fuente: Elaboración Propia

- Como conclusión final, podemos mencionar que la HH verde no representa un valor significativo en lugares con pocas precipitaciones, siendo la excepción Cañaris. La HH azul resulta menor en los colegios de la sierra porque su volumen de afluentes resulta ser cercano al de los efluentes, porque en estos se infirió el abastecimiento de agua en función del volumen del tanque. Y, por último, la HH gris predominante en los cuatro centros educativos analizados es la del colegio de Túcume, por tener mayor alumnado, así como un afluente muy elevado (ver gráfico 40) en comparación a su efluente.
- Los uniformes, mobiliario dentro de las aulas tales como carpetas o pizarras, no fueron abordados por carecer su equivalencia hídrica de forma clara, además de que la tesis se orientó en lo que necesitan los estudiantes para sus labores académicas y no lo que la institución educativa necesita para brindar los servicios educativos.

Recomendaciones

- Se recomienda conocer los conceptos yendo directamente al manual de HH, ya que algunos autores abordan la HH gris bajo otro punto de vista, el cual ya se explicó ampliamente en este trabajo investigativo.
- Conocer las cuencas y valores de sus caudales ambientales, esto muchas veces se encuentra en zonas con una administración óptima y/o responsable por parte del recurso hídrico, esto puede ser nulo como en el caso de las zonas que escapan de la administración de EPSEL, siendo las JASS las encargadas de suplir esa responsabilidad.
- Las autoridades deberían velar mejor por el ambiente, ya que en los centros educativos de Incahuasi y Cañaris, aparte de no hacerse ensayos de calidad de forma periódica tanto del agua que se clora, los desagües que aparentemente se tratan tampoco tienen un control. Esto es responsabilidad de la JASS local pero también de las autoridades ambientales. También las personas “aguas abajo” de donde se descargan las aguas residuales, van a verse afectadas tanto para el uso agrícola como para el consumo humano.
- Se recomienda orientar la atención no solo en el agua que sale del grifo, sino en el agua que entra por medio de la billetera, es decir los productos que los consumidores adquieren representan una mayor huella hídrica en comparación al agua que sale del grifo, porque la HH indirecta siempre es mayor que la HH directa. Sin embargo, esto no significa que el ahorro en el sector de huella directa debe pararse, recordemos que cualquier ahorro local siempre se traduce en un ahorro mundial.
- También es necesario recolectar datos in situ, y debidamente sustentados ya que las actividades, costumbres y el uso del recurso hídrico varían según la zona que se estudie.

Referencias

- [1] A. Y. Hoekstra, A. K. Chapagain, M. M. Aldaya y M. M. Mekonnen, «Manual de evaluación de la huella hídrica. Establecimiento del estándar mundial,» AENOR Internacional, S.A.U., Madrid, 2021.
- [2] WWAP (World Water Assessment Programme), «The United Nations World Water Development Report 3: Water in a Changing World,» UNESCO Publishing, París, 2009.
- [3] M. Castillo Valencia, «Huella Hídrica del campus de la Pontificia Universidad Católica del Perú en el 2014,» PUCP, Lima, 2016.
- [4] SuizAgua. Andina, «Conozca más sobre huella hídrica,» Lima, 2012.
- [5] J. C. Casma, «Grupo Banco Mundial,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2015/03/10/brasil-colombia-peru-paises-mas-agua-tienen-en-el-mundo>.
- [6] J. C. Sevilla Gildemeister, «Autoridad Nacional del Agua,» 14 Mayo 2014. [En línea]. Available: <https://www.dropbox.com/s/f1nv67f92p310kj/Usos%20del%20Agua%20-%20Mayo%202014%20Foro%20CIP.ppt?dl=0>.
- [7] La Industria, 06 Julio 2019. [En línea]. Available: <https://www.laindustriadechiclayo.pe/noticia/1564784866-la-poblacion-de-incahuasi-consume-agua-contaminada>.
- [8] «AGRONOTICIAS,» 21 Setiembre 2020. [En línea]. Available: <https://agronoticias.pe/ultimas-noticias/ante-deficit-de-agua-racionalizarian-su-uso-para-cultivos-en-lambayeque/>.
- [9] Autoridad Nacional del Agua – ANA, «Huella hídrica del Perú. Sector agropecuario,» Novaprint S.A.C., Lima, 2015.
- [10] Observatorio UAM - Vía Célere, «Estimación de la Huella Hídrica de una Promoción Residencial,» UAM, Madrid, 2019.
- [11] D. E. Guamán Peña y F. R. Illares Muñoz, «Análisis de la huella hídrica en el campus de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca mediante el uso de redes de Telemetría,» Cuenca, 2019.
- [12] M. Sotelo Pérez, «Aspectos económicos, sociales y territoriales de la huella hídrica española,» Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 2018.
- [13] AgroDer, «Huella hídrica en México en el contexto de Norteamérica,» WWF México, México D.F., 2012.

- [14] A. Mendoza Rojas y A. Conza Salas, «Análisis de huella hídrica en la Facultad de Ingeniería Ambiental,» Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, 2016.
- [15] WWF Perú & ANA & COSUDE, «Huella hídrica del sector agropecuario del Perú,» ANA, Lima, 2013.
- [16] J. A. Delgado Mansilla, «Análisis de la infraestructura hidráulica del sistema Chancay-Lambayeque y su impacto en la ecoeficiencia y la huella hídrica de la producción agrícola,» PUCP, Lima, 2019.
- [17] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), «Afrontar la escasez de agua. Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria,» Roma, 2013.
- [18] E. D. Aliaga Lázaro, «Evaluación de la huella hídrica directa del distrito de Chorrillos como una herramienta de gestión de recursos hídricos.,» Universidad Nacional Federico Villareal, Lima, 2019.
- [19] AQUAFONDO. Inversión en agua para Lima, «Huella hídrica de los usuarios de agua en el ámbito de Lima Metropolitana,» AQUAFONDO, Lima, 2018.
- [20] A. Y. Hoekstra, A. K. Chapagain, M. M. Aldaya y M. M. Mekonnen, «The Water Footprint Assessment Manual.,» Earthscan, 2011.
- [21] V. T. Chow, D. R. Maidment y L. W. Mays, Hidrología aplicada, Primera ed., M. E. Suárez R, Ed., Bogotá: McGraw - Hill Latinoamerica S.A., 1994, p. 585.
- [22] R. G. Allen, L. S. Pereira, D. Raes y M. Smith, «Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos,» FAO, Roma, 2006.
- [23] Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SIAR), [En línea]. Available: https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/precipitacionefectiva05_tcm30-82980.pdf. [Último acceso: 15 Abril 2022].
- [24] A. H. Arthington, S. E. Bunn, N. L. Poff y R. J. Naiman, «The Challenge of Providing Environmental Flow Rules to Sustain River Ecosystems,» Ecological Applications, Washington, DC, 2006.
- [25] Z. F. Yang, T. Sun, B. S. Cui, B. Chen y G. Q. Chen, «Environmental flow requirements for integrated water resources allocation in the Yellow River Basin, China,» ELSEVIER, 2009.
- [26] I. G. Jowett, «Instream flow methods: a comparison of approaches,» Regulated Rivers: Research and Management, Hamilton, 1997.
- [27] B. D. Richter, M. M. Davis, C. Apse y C. Konrad, «A presumptive standard for environmental flow protection,» John Wiley & Sons, Ltd., Hoboken, 2011.

- [28] A. Y. Hoekstra y M. M. Mekonnen, «Global water scarcity: The monthly blue water footprint compared to blue water availability for the world's major river basins,» UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, 2011.
- [29] Autoridad Nacional del Agua, «Metodología para Determinar Caudales Ecológicos,» Diario el Peruano, Lima, 2016.
- [30] ANA. Autoridad Nacional del Agua, «Diagnóstico sobre los caudales ecológicos en el Perú (primera fase): Contexto nacional e internacional,» Lima, 2015.
- [31] A. Hoekstra, Interviewee, *Arjen Hoekstra, inventor del concepto de 'huella hídrica': "El agua no tiene ningún papel en la economía mundial"*. [Entrevista]. 22 Noviembre 2019.
- [32] Metcalf & Eddy, Inc, Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento Vertido y Reutilización, Tercera ed., vol. I, A. García Brage, Ed., Madrid: McGraw-Hill, 1995, p. 526.
- [33] J. Ferrer Polo y A. Seco Torrecillas, Tratamientos de Aguas. Tomo 1. Introducción a los tratamientos de aguas, Valencia: Editorial UPV, 2007, p. 151.
- [34] ANA. Autoridad Nacional del Agua, «Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los recursos hídricos superficiales,» Autoridad Nacional del Agua, Lima, 2016.
- [35] V. Conesa Fdez. - Vítora, Guía metodológica para la evaluación de Impacto Ambiental, Cuarta ed., Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 2010, p. 862.
- [36] Ministerio de Educación, «ESCALE - Estadística de Calidad Educativa,» 2010. [En línea]. Available: <http://escale.minedu.gob.pe/padron-de-iee>.
- [37] MINAM. Ministerio del Ambiente, «Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM,» Publicaciones MINAM, Lima, 2015.
- [38] United Nations Department of Economic and Social Affairs - UNDESA, «United Nations,» 29 Mayo 2014. [En línea]. Available: https://www.un.org/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml. [Último acceso: 2 Mayo 2022].
- [39] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, «IS.010 INSTALACIONES SANITARIAS PARA EDIFICACIONES DS N° 017-2012,» Informes y Publicaciones: Reglamento Nacional de Edificaciones, Lima, 2021.
- [40] Weather Spark, «El tiempo durante todo el año en cualquier lugar del mundo,» [En línea]. Available: <https://es.weatherspark.com/y/19288/Clima-promedio-en-Jayanca-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>.

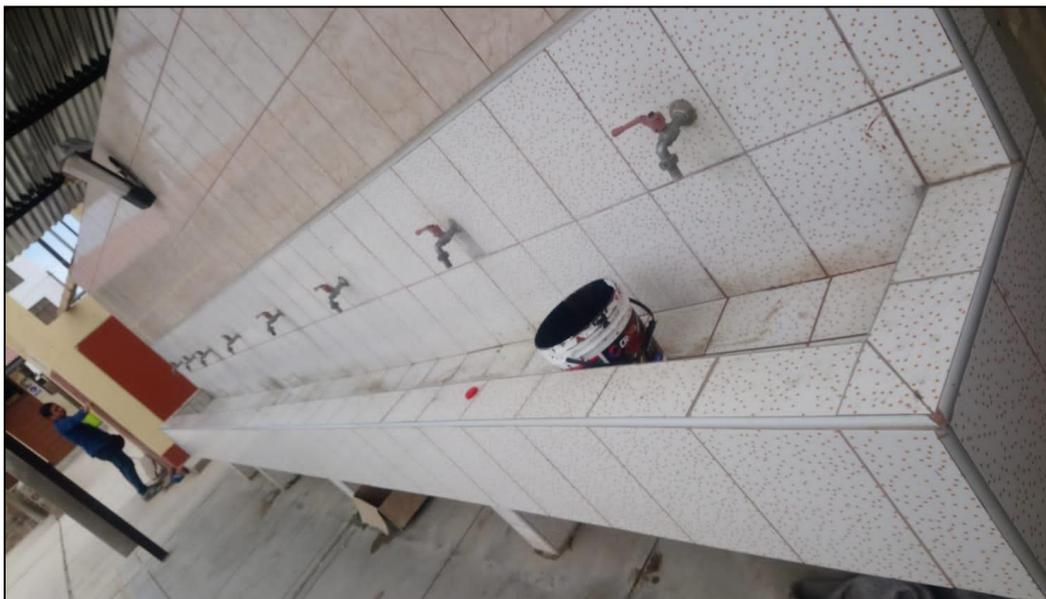
- [41] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, «OS.090 PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DS N° 022-2009,» Informes y Publicaciones: Reglamento Nacional de Edificaciones, Lima, 2021.
- [42] C. Medina Muñoz y E. Barboza Alcántara, «Evaluación y análisis del funcionamiento de las lagunas de estabilización construidas en localidades representativas en el departamento de Lambayeque, período 2015,» Universidad Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, 2018.
- [43] OTASS. Organismo Técnico de la Administración de los Servicios de Saneamiento, «Reutilización de aguas residuales,» Publicaciones MVCS, Lima, 2018.
- [44] A. N. d. Agua y F. Z. Aguilar Ylaquijo, «Informe técnico del segundo monitoreo participativo de la calidad del agua superficial en la cuenca Chancay Lambayeque periodo del 03 al 07 de diciembre del 2015,» Publicaciones Autoridades Administrativas del Agua, Lima, 2015.
- [45] DISTRILUZ, «Servicios Distriluz Ensa,» 2020. [En línea]. Available: <https://servicios.distriluz.com.pe/OficinaVirtual/>. [Último acceso: Mayo 2022].
- [46] Ministerio de Energía y Minas, «Anuario Estadístico de Electricidad 2019,» Ministerio de Energía y Minas, Lima, 2019.
- [47] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, «Gobierno de México,» 4 Setiembre 2017. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/sabes-cual-es-tu-huella-hidrica>. [Último acceso: 15 Mayo 2022].
- [48] Autoridad Nacional del Agua, «Recursos Hídricos en el Perú,» Publicaciones ANA, Lima, 2012.
- [49] G. A. Zamora López y Y. M. Valdizón Reynosa, «Evaluación preliminar de las características Físicoquímicas de las aguas subterráneas de la Cuenca 72 del municipio de San Juan del Sur en el mes de Abril del año 2013,» UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA, Managua, 2014.
- [50] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, «OS.100 CONSIDERACIONES BASICAS DE DISEÑO DE INFRAESTRUCTURA,» Informes y Publicaciones: Reglamento Nacional de Edificaciones, Lima, 2021.
- [51] Ministerio del Ambiente - MINAM, «Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de PTAR, para el sector Vivienda,» El Peruano, Lima, 2010.
- [52] FINA. FÉDÉRATION INTERNATIONALE DE NATATION, «WORLD AQUATICS,» 5 Agosto 2021. [En línea]. Available: <https://shorturl.at/asCKZ>.

Anexos**Anexo 01. Visita a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en Jayanca.***Ilustración 36 - Tesista evaluando si está activa la PTAR de Jayanca*

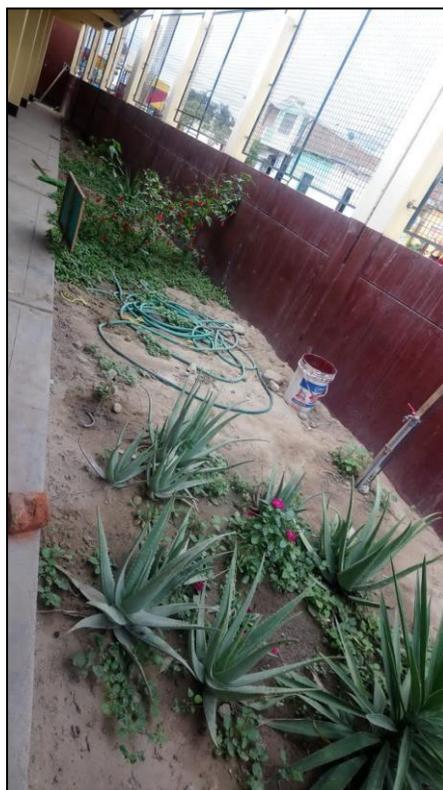
Fuente: Elaboración propia

Ilustración 37 - PTAR de Jayanca, con un área aproximada de 3.5 ha

Fuente: Elaboración propia

Anexo 02. Visita al centro educativo N° 10127*Ilustración 38 - Grifos que usan los estudiantes del colegio N° 10127*

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 39 - Jardín representativo de las áreas verdes del colegio N° 10127

Fuente: Elaboración propia

Anexo 03. Visita al centro educativo N° 10226

Ilustración 40 - Grifos que usan los estudiantes del colegio N° 10226



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 41 - Jardín representativo de las áreas verdes del colegio N° 10226



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 42 - Medición de las áreas verdes del colegio N° 10226



Fuente: Elaboración propia

Anexo 04. Visita al centro educativo N° 10084

Ilustración 43 - Caños que usan los estudiantes del colegio N° 10084



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 44 - Jardín representativo de las áreas verdes del colegio N° 10084



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 45 - Visita presencial al colegio N° 10084



Fuente: Elaboración propia

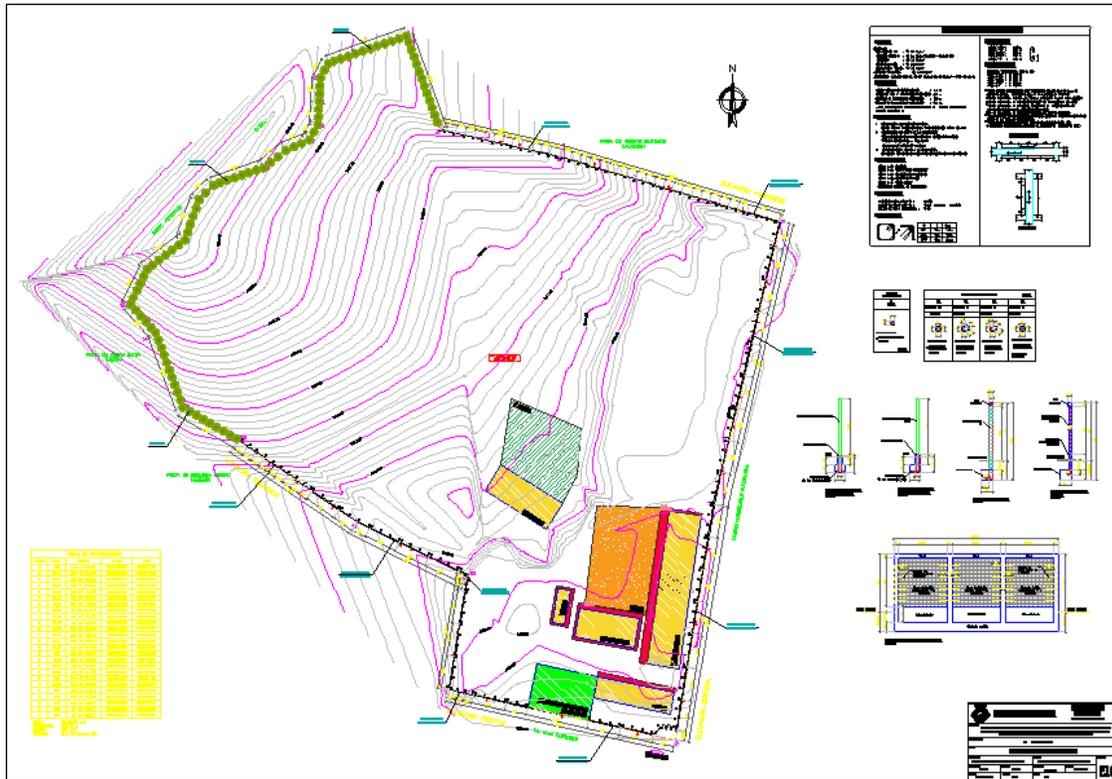
Anexo 05. Visita al centro educativo N° 10062*Ilustración 46 - Grifos que usan los estudiantes del colegio N° 10062*

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 47 - Áreas verdes del colegio N° 10062

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 48 - Plano en Autocad del cerco perimétrico del colegio N° 10062



Fuente: Realizado por el GORE Lambayeque. Código SNIP N° 283869

Ilustración 49 - Visita presencial al colegio N° 10062



Fuente: Elaboración propia