



**FACULTAD DE LETRAS Y CIENCIAS HUMANAS
ESPECIALIDAD EN GEOGRAFÍA Y MEDIO AMBIENTE**

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

Tesis para optar por el título de Licenciado/a en Geografía y Medio
Ambiente que presenta la Bachiller:

Mariana Castillo Valencia

Asesora:

Dra. Martha Bell

San Miguel, noviembre del 2016

Resumen

El Perú es un país que debe enfrentar la escasez de agua, sobre todo en la costa peruana y específicamente en la capital. Lima, al ser la capital de la nación, es una ciudad que posee concentraciones de población, bienes, servicios, actividades económicas, entre otras. Por las razones anteriores se ha considerado trabajar en una herramienta de gestión del agua como la Huella Hídrica (HH). La HH es, a pequeña escala, un instrumento que puede colaborar en el control y manejo del uso de agua. Es uno de los instrumentos (aún poco difundido y utilizado en países en desarrollo) necesarios para tomar medidas sustentables en el uso del agua ya que se requiere describir y cuantificar (lo que se conoce como contabilización de agua) el consumo hídrico de los usuarios en una locación determinada.

Este proyecto de investigación se propuso calcular la HH del campus de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) como institución, mediante el análisis de datos referentes a sectores de consumos por un año calendario (2014). Se siguió la metodología propuesta por la Water Footprint Network (WFN) (Hoekstra et al., 2011), red de organizaciones internacionales que buscan colaborar a la resolución de crisis mundiales de agua. Esta metodología resulta en una evaluación de la HH que se compone de cuatro fases: establecimiento de objetivos y alcances, contabilidad de la HH (aquí se identificó cantidades elevadas de uso y de consumo de agua. La cantidad más elevada es el volumen de agua calculado para hacer frente a la contaminación del recurso hídrico que es muy grande), la evaluación de Sostenibilidad (donde los resultados se analizaron e interpretaron de acuerdo a las dimensiones de Sostenibilidad abordadas en el presente trabajo). En la cuarta y última fase se consideró plantear sugerencias para la reducción de dicho uso y consumo. Como último punto están las reflexiones finales, esto es, una evaluación crítica de la metodología y consideraciones para su aplicación en otros casos, surgidas del presente trabajo.

Índice de contenido

CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Planteamiento del problema.....	3
1.3. Justificación.....	5
1.4. Preguntas de investigación.....	6
1.5. Objetivos.....	6
CAPÍTULO II.....	8
2. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Marco conceptual.....	8
2.1.1. Diferencia entre uso consuntivo y no consuntivo de agua.....	8
2.1.2. Uso poblacional del agua en el Perú.....	9
2.1.3. Distinción entre estrés hídrico y escasez de agua.....	9
2.1.4. Diferencia entre uso y consumo de agua.....	11
2.1.5. Huellas Directa e Indirecta de agua.....	12
2.1.6. Los componentes de la Huella Hídrica.....	12
2.1.7. Agua virtual y Huella Hídrica.....	14
2.1.8. Familia de Huellas (Ecológica, de Carbono e Hídrica): conjunto de indicadores para medir las demandas humanas.....	16
2.1.9. Concepto de Sostenibilidad.....	17
2.2. Antecedentes.....	18
2.2.1. Contexto nacional de la disponibilidad de agua en Lima: vertiente del Pacífico y la cuenca del río Rímac.....	18
2.2.2. Estudios previos de Huella Hídrica en empresas del Perú y Colombia dentro de proyectos de SuizaAgua.....	28
2.2.3. El caso similar de medición de HH de la Universidad Tecnológica Metropolitana de Chile (UTEM).....	30
CAPÍTULO III.....	32
3. ÁREA DE ESTUDIO.....	32
3.1. Localización geográfica.....	32
3.2. Descripción del medio natural.....	35
3.3. Descripción del medio humano.....	36
CAPÍTULO IV.....	41
4. ASPECTOS METODOLÓGICOS.....	41
4.1. Establecimiento del alcance.....	42
4.2. Contabilidad de la Huella Hídrica.....	43
4.2.1. Cálculo de la Huella Directa.....	43

Huella Verde	45
Huella Azul	46
Huella Gris	52
4.2.2. Cálculo de la Huella Indirecta	53
4.3. Evaluación de la Sostenibilidad	54
Sostenibilidad de la Huella Azul: dimensión ambiental	55
Sostenibilidad de la Huella Azul: dimensión social	57
Sostenibilidad de la Huella Gris	58
CAPÍTULO V	60
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	60
5.1. Resultados	60
5.1.1. Contabilidad de la Huella Hídrica	60
5.1.1.1. Cálculo de la Huella Directa	60
Huella Verde	60
Huella Azul	62
Huella Gris	78
Balance hídrico de la Huella Directa con resultados	79
5.1.1.2. Cálculo de la Huella Indirecta	80
5.1.2. Evaluación de la Sostenibilidad	92
Sostenibilidad de la Huella Azul: dimensión ambiental	92
Sostenibilidad de la Huella Azul: dimensión social	97
Sostenibilidad de la Huella Gris	98
5.2. Discusión	101
5.2.1. Contabilidad de la Huella Hídrica	101
5.2.1.1. Cálculo de la Huella Directa	101
Huella Verde	101
Huella Azul	102
Huella Gris	104
Balance hídrico de la Huella Directa con resultados	104
5.2.1.2. Cálculo de la Huella Indirecta	105
Valores finales de la Huella Hídrica total	106
5.2.2. Evaluación de la Sostenibilidad	108
Sostenibilidad de la Huella Azul: dimensión ambiental	110
Sostenibilidad de la Huella Azul: dimensión social	112
Sostenibilidad de la Huella Gris	113

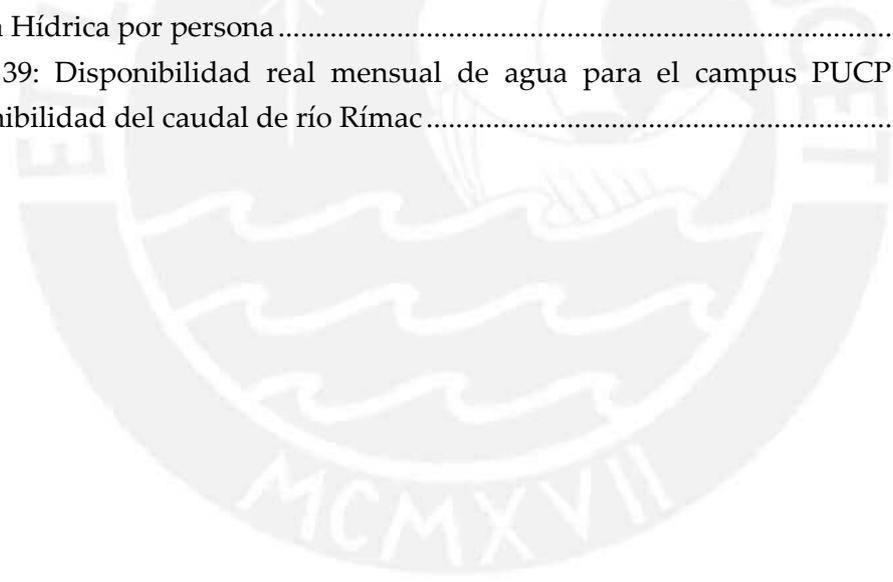
CAPÍTULO VI	114
6. CONCLUSIONES	114
6.1. Formulación de sugerencias.....	114
6.1.1. Huella Directa	114
6.1.2. Huella Indirecta.....	117
6.2. Reflexiones finales.....	117
Objetivos de este trabajo de tesis y utilidad de la HH.....	117
¿Por qué la metodología de la WFN?.....	120
Análisis de Sostenibilidad	123
CITAS Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	126
ANEXO 1: Modelo de encuesta de usos de agua en el campus PUCP durante el año 2014	136
ANEXO 2: Establecimiento del requerimiento ambiental del caudal o caudal ecológico mediante según la Resolución Jefatural N° 154-2016 ANA.....	139



Índice de tablas

Tabla 1: Contenido de agua virtual	15
Tabla 2: Distritos cortados por los límites de la cuenca Rímac.....	28
Tabla 3: Población universitaria de la PUCP en el 2014	37
Tabla 4: Áreas académicas en el campus PUCP.....	40
Tabla 5: Datos mensuales para hallar la Huella Verde	60
Tabla 6: Abastecimiento mensual de agua en el campus PUCP proveniente de SEDAPAL en el año 2014.....	62
Tabla 7: Abastecimiento mensual de agua en el campus PUCP proveniente del pozo perteneciente a SEDAPAL en el año 2014.....	63
Tabla 8: Promedios de respuestas de alumnos a preguntas de la encuesta.....	66
Tabla 9: Promedios de respuestas de docentes y jefes de práctica a preguntas de la encuesta	68
Tabla 10: Promedio de respuestas de personal administrativo, obreros y trabajadores en la zona de estacionamiento a preguntas de la encuesta	69
Tabla 11: Litros por persona por tipo de población universitaria.....	70
Tabla 12: Total de litros por persona y totales utilizados por el alumnado en cada semestre académico y en todo el año 2014.....	71
Tabla 13: Total de litros por persona y totales utilizados por los docentes en cada semestre académico y en todo el año 2014.....	72
Tabla 14: Total de litros por persona y totales utilizados por los jefes de práctica en cada semestre académico y en todo el año 2014	72
Tabla 15: Total de litros por persona y totales utilizados por el personal administrativo en cada semestre académico y en todo el año 2014	73
Tabla 16: Total de litros por persona y totales utilizados por el personal obrero en cada semestre académico y en todo el año 2014	73
Tabla 17: Cantidad de agua usada por los laboratorios PUCP	75
Tabla 18: Datos mensuales del uso de agua para riego calculados en el software CROPWAT.....	76
Tabla 19: Variables y total del uso de agua para riego de áreas verdes	77
Tabla 20 : Valores finales de afluentes y efluentes del campus PUCP en el año 2014.....	79
Tabla 21: Componentes de la Huella Directa del campus PUCP en m ³ y sus porcentajes en el 2014.....	80
Tabla 22: Consumo mensual de energía eléctrica en el campus PUCP en el año 2014	81
Tabla 23: Equivalencias de Huella Hídrica de las fuentes energéticas de la electricidad según sus porcentajes	82
Tabla 24: Huella Hídrica en m ³ de de la electricidad consumida cada mes durante el año 2014.....	83
Tabla 25: Papel comprado en el campus PUCP en el año 2014	85
Tabla 26: Gramaje de cada unidad de los artículos de papel comprados en el 2014, y sus pesos totales	86
Tabla 27: Menús más vendidos en el año 2014	88

Tabla 28: Cantidad de ingredientes por plato y sus equivalencias de Huellas Hídricas en el menú 1	88
Tabla 29: Cantidad de ingredientes por plato y sus equivalencias de Huellas Hídricas en el menú 2	89
Tabla 30: Huellas Hídricas totales del menú 1 y 2 para el año 2014	90
Tabla 31: Caudal promedio mensual del río Rímac en el año 2014, requerimiento ambiental y disponibilidad de agua en m ³	92
Tabla 32: Disponibilidad real mensual de agua del caudal del río Rímac correspondiente al campus PUCP	93
Tabla 33: Rangos de índices de escasez de la HH azul expresados en colores.....	94
Tabla 34: Resultados de la Huella Azul distribuidos según días hábiles de cada mes del año 2014.....	95
Tabla 35: Volumen de litros usados al día por cada tipo de población PUCP y comparación con el rango de volumen estándar (50-100 litros).....	97
Tabla 36: Promedios de horas asistidas al día de los tres ciclos académicos del año por cada tipo de población universitaria al campus PUCP.....	98
Tabla 37: Resultados de la Huella Gris distribuidos según los días hábiles de cada mes del 2014.....	100
Tabla 38: Valores finales en m ³ de la Huella Hídrica del campus PUCP en el año 2014 y Huella Hídrica por persona	107
Tabla 39: Disponibilidad real mensual de agua para el campus PUCP con el 5% de disponibilidad del caudal de río Rímac	140



Índice de figuras

Figura 1: Diferencia entre uso y consumo de agua	12
Figura 2: Componentes de la Huella Hídrica.....	13
Figura 3: Caudales promedios mensuales del río Rímac en m ³ /s en el año 2014.....	24
Figura 4: Imagen satelital de la PUCP.....	34
Figura 5: Tendencia de estudiantes universitarios entre años 2013-2016 en la PUCP	38
Figura 6: Las cuatro fases para la evaluación de la Huella Hídrica.....	42
Figura 7: Balance hídrico de la Huella Directa (Huellas Verde y Azul) de la PUCP.....	44
Figura 8: Cantidad de respuestas de la encuesta virtual recibidas cada mes.....	49
Figura 9: Comparación de la HH con la disponibilidad de agua azul (caudal del río)	57
Figura 10: Huella Verde en m ³ de los tres meses de precipitación en el año 2014	61
Figura 11: N° de personas encuestadas según unidades administrativas de la PUCP	64
Figura 12: Volúmenes totales por persona al día de usos de agua en litros en el año 2014	74
Figura 13: Volúmenes totales anuales de agua utilizada en m ³ por cada tipo de población universitaria	74
Figura 14: Valores del consumo de agua de riego de áreas verdes en m ³ en el año 2014...	78
Figura 15: Componentes de la Huella Directa en m ³	80
Figura 16: Composición de la producción de la electricidad en porcentaje en el año 2014 a nivel nacional.....	81
Figura 17: Huella Hídrica en m ³ de cada fuente energética de la electricidad consumida cada mes durante el año 2014 en la PUCP.....	84
Figura 18: Huella Hídrica en porcentaje de los productos de papel comprados en la PUCP en el año 2014.....	87
Figura 19: Huella Hídrica en litros de los ingredientes de los menús 1 y 2.....	90
Figura 20: Huella Hídrica en m ³ del n° de menús 1 y 2 vendidos al día.....	91
Figura 21: Totales porcentuales de los tres elementos de la Huella Indirecta del campus PUCP en el año 2014	91
Figura 22: Comparación entre la disponibilidad real de agua azul para la PUCP y la Huella Azul de la PUCP distribuida según días hábiles de cada mes del 2014.....	96
Figura 23: Comparación entre la disponibilidad real y la Huella Gris repartida según días hábiles de cada mes del 2014	101
Figura 24: Valores finales en m ³ de la Huella Hídrica del campus PUCP en el año 2014 (sin escala logarítmica).....	107
Figura 25: Valores finales en m ³ de la Huella Hídrica del campus PUCP en el año 2014 (con escala logarítmica)	107
Figura 26: Comparación entre la disponibilidad real al 20% y al 5% de agua azul para la PUCP y la Huella Azul de la PUCP.....	140

Índice de mapas

Mapa 1: Ubicación política de la cuenca Rímac.....	21
Mapa 2: Altitud, actividades y contaminación relacionadas con el agua en la cuenca Rímac	23
Mapa 3: Distritos comprendidos en la cuenca Rímac	26
Mapa 4: Ubicación geográfica de la PUCP	33
Mapa 5: Promedio anual de escasez de agua azul en Sudamérica	111



Lista de Siglas y Acrónimos

- ANA Autoridad Nacional del Agua
- BMBF Ministerio Federal de Educación e Investigación
- CAPU Centro de Asesoría Pastoral Universitaria
- CEPREPUC Centro Preuniversitario de la Pontificia Universidad Católica del Perú
- CIGA Centro de Investigación en Geografía Aplicada
- CONAGUA Comisión Nacional del Agua
- COSUDE Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación
- DAF Dirección de Administración y Finanzas de la Pontificia Universidad Católica del Perú
- DARS Dirección Académica de Responsabilidad Social de la Pontificia Universidad Católica del Perú
- ECA Estándares de Calidad Ambiental
- EE.GG. Estudios Generales de la Pontificia Universidad Católica del Perú
- FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
- GIZ Agencia Alemana de Cooperación para el Desarrollo
- HH Huella Hídrica
- IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
- ILPÖ Instituto de Planificación del Paisaje y Ecología de la universidad de Stuttgart
- INEI Instituto Nacional de Estadística e Informática
- INTE Instituto de Ciencias de la Naturaleza, Territorio y Energías Renovables
- INGEMMET Instituto Geológico Minero y Metalúrgico
- MINAGRI Ministerio de Agricultura y Riego
- MINAM Ministerio del Ambiente
- MINEM Ministerio de Energía y Minas
- LIWA Lima Water
- NU, UN Naciones Unidas
- OMS Organización Mundial de la Salud
- ONU-DAES Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas
- PHABSIM Physical Habitat Simulation
- PNUMA Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
- PROAGUA Programa de Agua Potable y Alcantarillado
- PTAR Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
- PUCP Pontificia Universidad Católica del Perú
- SEDAPAL Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima
- TSM Temperatura superficial del mar
- UNDESA United Nations: Department of Economic and Social

- UNESCO Affairs
Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
- USDA-SCS Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
- UTEM Universidad Tecnológica Metropolitana de Chile
- WFN Water Footprint Network
- WWF Fondo Mundial para la Naturaleza



CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

En este primer capítulo se plantea la problemática de escasez y distribución desigual del agua para la población peruana, aun cuando nuestro país cuenta con una amplia oferta de dicho recurso. Para tomar decisiones más idóneas se requiere contabilizar el agua, esto significa describir e informar acerca del uso que se da al agua para producir bienes y servicios requeridos por una sociedad. El país presenta una oferta de agua muy escasa en la vertiente occidental de los Andes, donde se encuentra la capital de Lima. Es en esta ciudad donde se ubica la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). El presente trabajo de investigación busca realizar la evaluación de la Huella Hídrica (HH) del campus PUCP, como una de las herramientas o indicadores de contabilidad, evaluación de Sostenibilidad del consumo de agua que tiene lugar en el campus PUCP, además de elaboración de sugerencias para reducir dicho consumo.

1.1. Introducción

“Hay suficiente agua para todos. El problema que enfrentamos en la actualidad es, sobre todo, un problema de gobernabilidad: cómo compartir el agua de forma equitativa y asegurar la Sostenibilidad de los ecosistemas naturales” (NU, 2006). El agua dulce accesible en el planeta sería un recurso más que suficiente para todos si es que los administradores del agua alrededor del mundo gestionaran correcta y equitativamente un recurso cada vez más escaso y cambiante.

Sin embargo, se debe pensar en las barreras naturales que implantan lugares de aridez donde naturalmente el agua no es nada abundante, y por el contrario los habitantes, bienes y servicios sí lo son, estableciendo territorios sobrepoblados donde escasea el recurso hídrico, como el nuestro. Actualmente también deben tenerse en cuenta tendencias mundiales que engloban fuerzas sociales y

económicas que dificultan aún más la gestión del agua como son las variaciones en tamaño de poblaciones y migraciones, el vertiginoso desarrollo de tecnologías de la información y comunicación, los cambios geopolíticos que implican fronteras nuevas y asociaciones entre naciones, y por último no hay que olvidar los impactos que el cambio climático y los fenómenos meteorológicos, que son variables naturalmente, provocan (Ibíd.).

Este trabajo de investigación se inició durante la década (2005-2015) que las Naciones Unidas (NU) ha denominado como el Decenio Internacional para la Acción “El agua como fuente de vida”, cuyo gran desafío consistió en dirigir la atención hacia políticas y actividades que garanticen a largo plazo una gestión sostenible de los recursos hídricos tanto cuantitativa como cualitativamente (ONU-DAES, s.f.).

Prestando atención a las afirmaciones de las NU, y en el contexto del decenio, pensando localmente y a pequeña escala, se hace referencia a un instrumento que busca favorecer el tema de gestión sostenible de recursos hídricos, el cual es la HH, herramienta de medida del consumo directo e indirecto del agua de los consumos individuales, grupales, de una ciudad o región, entre otros. De igual manera, se puede entender la HH como el volumen en su totalidad de agua dulce (agua tratada para uso humano proveniente de fuentes como ríos, agua subterránea, pozos, lagunas, también lluvia) que se consume para producir los bienes y servicios necesarios para un individuo, grupo o entidad determinada (Hoekstra et al. 2009). La HH presenta tres componentes en cada uno de los consumos directo (donde los componentes se encuentran diferenciados y su cálculo puede realizarse por separado) e indirecto (los componentes se encuentran combinados sin distinción). Estos componentes son la Huella Verde, la Huella Azul y la Huella Gris.

Dicho concepto relativamente nuevo es considerado como un indicador de Sostenibilidad y cuenta con importancia mundial (Hoff et al., 2014).

Recientemente se viene considerando en mayor medida en Latinoamérica y en particular en Sudamérica.

1.2. Planteamiento del problema

Uno de los países con mayor cantidad de agua dulce disponible geográficamente es el Perú y al mismo tiempo posee una situación de estrés hídrico. La causa principal de esta realidad, no es esta disponibilidad geográfica, sino su distribución inconveniente (SuizAgua, s.f. a). Nuestro país ostenta una disponibilidad geográfica de agua interna (agua solo generada en el país) renovable total de 52 299 m³/hab de agua al año (FAO, 2016), sin embargo el consumo real de agua es aproximadamente 500-1 000 m³/hab/año (FAO, 2013) lo que incluye propósitos agrícolas, domésticos e industriales) debido a la inapropiada distribución geográfica, entre otros factores. Según la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y el Ministerio de Agricultura y riego (MINAGRI), la distribución de los recursos hídricos renovables en el Perú representa un gran desafío ya que la costa desértica (ubicada en la vertiente occidental de los Andes), que cuenta solamente con el 2% de la disponibilidad de recursos hídricos totales del país, se halla establecida más del 65% de la población nacional (Sevilla¹, 2014), y más del 80% de la economía del Perú (Ibíd.)

Es importante mencionar que en un contexto de cambio climático, y sabiendo que nuestro país está entre los primeros del mundo más vulnerables a este fenómeno (MINAM, 2010a), uno de los efectos perjudiciales que se dan y seguirán dando en un futuro no muy lejano, será la pérdida acelerada del recurso hídrico, la que ocurre principalmente por el retroceso de la superficie glaciar. Estos efectos ya son reales: en los últimos 40 años los glaciales peruanos han sufrido una pérdida de la extensión glaciar total en cerca de 43% (ANA, 2014). La distribución consuntiva (uso del agua extraída de una fuente de agua

¹ Juan Carlos Sevilla Gildemeister: Jefe de la Autoridad Nacional del Agua. Periodo: abril 2014-agosto 2016

que no regresa en la misma cantidad o calidad a la fuente de la que se extrajo en un primer momento) de agua en nuestro país establece que el 89% del agua utilizada se destina a la agricultura, 9% se dirige al sector poblacional, el 1% se destina al sector industrial e igualmente 1% se consigna al sector minero (Sevilla, 2014).

Si bien el porcentaje dirigido al sector poblacional representa una pequeña parte del uso nacional de agua, es muy importante. Tal es el caso del sector poblacional en la capital del Perú: el mayor porcentaje de la población peruana se asienta en la vertiente occidental de los Andes, sobretodo en la ciudad de Lima, que es la única urbe en el país con una gran concentración de población que provoca una presión significativa sobre todos los recursos naturales (Bernex, 2013). La capital del país, que se ubica en la región costa, cuenta con una limitada oferta de agua, y por el otro, una amplia demanda a causa de un elevado número de población que asciende a 8 751 741 habitantes al año 2014 (INEI, 2015). Esto ocasiona una gran concentración de actividades y servicios muy superiores a los del resto del país.

La reducida oferta de agua para la ciudad de Lima engloba el diverso uso y consumo de agua del sector poblacional donde se ubica el uso y consumo de agua de instituciones privadas de enseñanza (entre otras de otros tipos) como la PUCP, pequeño nodo dentro del gran complejo de entidades, servicios, bienes e individuos de la capital que requieren abastecimiento de agua. Es en la PUCP, espacio en el cual este proyecto de investigación se enfocó, que se propone calcular la HH, considerando el área y actividades en su totalidad. Este cálculo, arrojó datos cuantitativos en el uso de agua en la Universidad. Se identificaron las cantidades que muestren un consumo grande de agua. Luego estos valores de agua se analizaron en el marco de una evaluación de Sostenibilidad. Posteriormente se elaboraron estrategias sugeridas para lograr una reducción de consumo hídrico.

1.3. Justificación

Este proyecto propone prestar atención al tema de la HH por la relación entre consumo y uso de agua: *“el interés en la Huella Hídrica 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”* señala el catedrático Arjen Hoekstra (SuizAgua, 2012). Si se cuenta con datos cuantitativos del consumo de agua, se puede llegar a entender realmente la relación entre cifras finales del consumo, el origen y la cadena de producción de un producto o servicio, y de esta manera identificar aquella(s) fase(s) del proceso en donde se consume o se desperdicia más agua.

En este informe se considera a la HH como uno de los instrumentos para contabilizar el agua de un conjunto de productos o servicios. La contabilidad del agua consiste en evaluar el volumen de agua necesario para producir una o varias unidades de un determinado producto (o servicio). Uno de los objetivos de la contabilidad del agua es apoyar a una sociedad a comprender los recursos hídricos de los que disponen: cuánta agua hay, dónde se encuentra y si los patrones actuales de uso serán sostenibles en el futuro (FAO, 2013). Una vez que se tenga clara la contabilidad o datos cuantitativos del agua, se podrán tomar decisiones más informadas para una adecuada gestión del recurso. Una implementación de HH permitirá buscar acciones de mejora de la eficiencia de procesos productivos, reducción de consumos, acciones de responsabilidad social, entre otros (FAO, 2014).

El cálculo de la HH en una institución educativa, es un aporte a la investigación local y sentaría un precedente general efectivo sobre la importancia de considerar un instrumento de medición dentro de una institución social. Así también colaboraría a generar un fenómeno de sensibilización en las personas

ligadas al campus PUCP en el gasto del agua, si fuera necesario, para lograr una disminución en dicho gasto.

Esta medida es significativamente considerada en países del hemisferio Norte, sobre todo en Europa. Hace unos años un país latinoamericano como Colombia tomó la delantera en la aplicación de la HH. Luego se sumó el Perú, donde empresas privadas ya emplearon esta medida (Ibíd.). Sin embargo, este cálculo solo quedó en aplicación a estas empresas, su incorporación a instituciones como la PUCP, es un proyecto innovador.

1.4. Preguntas de investigación

Este trabajo de investigación trató de dar respuesta a las siguientes preguntas:

- a. ¿A cuánto asciende la HH del campus PUCP, y cuánto es la HH por individuo?
- b. ¿Cuánto representa el componente o la Huella Azul, Verde o Gris en las Huellas Directa e Indirecta del consumo de agua de los individuos, bienes y servicios en el campus PUCP?
- c. ¿Cuáles son las actividades realizadas o los bienes producidos que ocasionan cantidades altas en el consumo de agua (hotspots ambientales²), y las principales razones para este exceso?
- d. ¿Este trabajo de investigación llamará en alguna medida la atención para un consumo futuro responsable y sostenible ambientalmente de agua en nuestro campus universitario?
- e. ¿Cuál es la utilidad de calcular una HH y cómo hacerlo?

1.5. Objetivos

El objetivo general de esta propuesta de investigación fue cuantificar y explicar la HH de los consumos directos e indirectos de agua en el campus de la PUCP.

² Puntos críticos referidos a épocas del año que se identifican en base a dos criterios: que la HH sea significativa, y que exista problemas de escasez de agua y contaminación en el lugar y tiempo en estudio (AgroDer, 2012).

Se plantearon los siguientes objetivos específicos según las preguntas de investigación establecidas:

- a. Cuantificar la Huella Directa (agua que se ve) con sus componentes: las Huellas Azul, Verde y Gris. De igual manera cuantificar la Huella Indirecta (agua que no se ve pero fue requerida para producir un bien u objeto, energía como la electricidad, entre otros), así también con sus componentes de Huellas Azul, Verde y Gris.
- b. Identificar cantidades grandes en el consumo de agua. Reconocer y analizar la situación de Sostenibilidad de los consumos calculados.
- c. Formular respuestas a manera de sugerencias para que los consumos hallados sean más sostenibles ambientalmente en el futuro.
- d. Sensibilizar en primer término a la comunidad universitaria, y personas relacionadas, sobre el uso y consumo elevado de agua, si fuera el caso, en su casa de estudios, poniendo énfasis en la Sostenibilidad del uso del agua en las actividades llevadas a cabo en la PUCP.
- e. Evaluar la utilidad del cálculo de la HH y realizar propuestas sobre su aplicación a otras instituciones.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo, en el primer punto que es marco conceptual, se esclarecen aquellos conceptos que deben tener en consideración para poder comprender mejor la herramienta de la HH. Estos conceptos son: a) la diferencia entre uso consuntivo y no consuntivo de agua, b) el uso poblacional de agua en el Perú, c) la distinción entre estrés hídrico y escasez de agua para nuestro país, d) la diferencia entre el uso y el consumo de agua, e) las Huellas de uso Directo e Indirecto, f) los componentes dentro de la HH, g) la relación entre el agua virtual y la HH, h) otros indicadores llamados Huellas que cumplen la misma función de la HH pero aplicados a otros recursos del planeta, y por último i) el concepto de Sostenibilidad según el cual se analizan los resultados del cálculo de la HH. En el segundo punto que son los antecedentes, se hace referencia al contexto en estudio que otorga importancia a la utilización de la HH, y a previos estudios en los que se ha utilizado este indicador.

2.1. Marco conceptual

2.1.1. Diferencia entre uso consuntivo y no consuntivo de agua

Se hace referencia a uso consuntivo cuando el agua se extrae de una fuente de agua y esta no regresa igualmente en la misma calidad o cantidad de la extraída originalmente de la fuente de agua, como es el caso del riego en la agricultura (AgroDer, 2012). Por lo general este uso puede ser medido de forma cuantitativa (ANA, 2016a). Los usos consuntivos también se dan en el abastecimiento poblacional, en el sector industrial, minero y pecuario, turístico y recreativo (Sevilla, 2014).

Por el contrario, el uso no consuntivo de agua es aquel que, después de utilizarse, el total del recurso hídrico es reintegrado al cuerpo de agua de donde fue extraído en un primer momento en la misma cantidad y calidad, es decir no

contaminada. La generación de energía eléctrica y algunas formas de navegación se consideran usos no consuntivos. (AgroDer, 2012). Otras formas de este uso son los sistemas de refrigeración y caudales medioambientales (ANA, 2016b).

2.1.2. Uso poblacional del agua en el Perú

Del total de agua usada en el país, que como ya se mencionó representa en promedio 500-1 000 m³/hab de agua al año (FAO, 2013. En Sevilla, 2014), el porcentaje de la demanda consuntiva de agua destinada al uso poblacional del país corresponde al 9%, esto es menos de la novena parte del uso que se destina al sector agrícola (89%). Es estimado que con respecto al total del uso poblacional, aproximadamente la tercera parte del uso poblacional de agua se desperdicia, perdiéndose solamente en las conducciones del mismo (Ibíd.), es decir en el conjunto de infraestructura y elementos que tienen la misión de conducir el agua desde su captación hasta su destino final.

Además de los problemas en su distribución geográfica, están las dificultades en su utilización: muchos de los peruanos carecen de una cultura de agua (esto es hábitos, conocimientos y actitudes en una interacción positiva con el agua (ANA, s.f.). Las limitadas buenas prácticas de las personas en cuanto al uso del agua en algunas sociedades (como es el caso de la nuestra) ocasionan situaciones de despilfarro. Una de las causas para este derroche son las establecidas tarifas relativamente bajas del uso de agua (GIZ, 2013).

2.1.3. Distinción entre estrés hídrico y escasez de agua

Según el indicador de escasez de agua renovable per cápita, los países que cuentan con un total de disponibilidad de agua de entre 500 a 1 000 m³/hab de agua al año se encuentran dentro de lo que se considera un nivel de escasez de agua, los países que disponen de un volumen de entre 1 000-1 700 m³/hab de agua al año sufren del nivel de estrés hídrico (FAO, 2013). Según el total de

agua disponible en el Perú señalado en el apartado anterior, específicamente en la costa, nos encontramos en una situación de nivel de escasez de agua. Sin embargo, también puede considerarse que existan zonas en el país que presenten una situación de estrés hídrico, ya que estamos en el límite del rango de este nivel.

Por un lado, la escasez de agua es definida como *“la brecha entre el suministro disponible y la demanda expresada de agua dulce en un área determinada, bajo las disposiciones institucionales (incluyendo la ‘fijación del precio’ del recurso y los costes acordados para el consumidor) y las condiciones de infraestructura existentes”* (Ibíd.). Otro concepto de escasez de agua ocurre cuando los impactos acumulados de todos los usuarios, *“afecta al suministro o a la calidad del agua, de forma que la demanda de todos los sectores, incluido el medioambiental, no puede ser completamente satisfecha. La escasez de agua es pues un concepto relativo y puede darse bajo cualquier nivel de oferta o demanda de recursos hídricos. La escasez puede ser una construcción social (producto de la opulencia, las expectativas y unas costumbres arraigadas) o consecuencia de la variación en los patrones de la oferta, derivados, por ejemplo, del cambio climático”* (ONU-DAES, 2014).

Por otro lado, un concepto de estrés hídrico es el que maneja el PNUMA: *“El estrés hídrico provoca un deterioro de los recursos de agua dulce en términos de cantidad (acuíferos sobre explotados, ríos secos, etc.) y de calidad (eutrofización, contaminación de la materia orgánica, intrusión salina, etc.)”* (MINAM, 2010b). Un último concepto de estrés hídrico se refiere a *“los síntomas de la escasez o desabastecimiento de agua, por ejemplo, aumento de la competencia y de los conflictos entre usuarios, empeoramiento de la calidad y fiabilidad del servicio, pérdida de cosechas e inseguridad alimentaria”* (FAO, 2013). Se exhiben distintos conceptos de cada uno ya que escasez de agua y estrés hídrico son a menudo confundidos en la literatura y se piensa que se refieren a lo mismo.

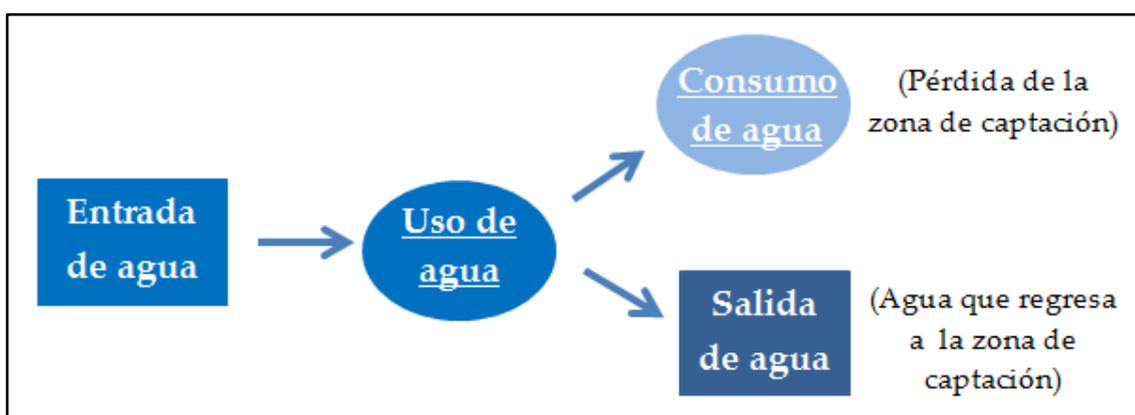
En síntesis se puede afirmar que existen zonas en nuestro país, como la sierra del Perú que sufren de estrés hídrico, situación que es menos grave que la escasez de agua, situación padecida por la costa y en especial por la ciudad de Lima. A la zona de la capital debe agregarse la sobrepoblación que soporta y los bienes y servicios existentes derivados de este exceso de población.

2.1.4. Diferencia entre uso y consumo de agua

Una primordial diferencia que debe tomarse en cuenta en el presente trabajo de investigación es cuando se hace referencia al uso y al consumo de agua. Estos términos pueden parecer sinónimos, pero hay una distinción que es la siguiente: cuando se hace referencia a uso se debe entender como el agua que en su totalidad corre desde que se abre el caño o grifo hasta que se cierra. En contraste, debe entenderse el consumo como *“la pérdida de agua de la masa de agua disponible del suelo de la superficie en un área de captación. Las pérdidas se producen cuando el agua se evapora, vuelve a otra zona de captación o se incorporan al producto.”* (Hoekstra et al., 2010). No se debe entender como que el agua desaparece, porque el agua se mantiene dentro del ciclo hidrológico y siempre vuelve a algún lugar.

En este trabajo, consumo es referido principalmente como evaporación del agua utilizada (agua perdida o retenida por alguna razón en algún lugar como en las plantas, en las manos, cabello, piso, productos, bienes, entre otros) o se incorporan al producto. La HH se centra en el consumo de agua. El consumo de agua se da inmediatamente después de su uso. Como se observa en la figura 1, el agua se utiliza o usa, seguidamente el agua se distingue entre consumo o salida.

Figura 1: Diferencia entre uso y consumo de agua



2.1.5. Huellas Directa e Indirecta de agua

El consumo de agua se divide en dos: la Huella Directa y la Huella Indirecta. La Huella Directa es el consumo del agua que se ve correr ante los ojos, en el aseo personal, en la limpieza general, al cocinar, lavar platos, regar, o simplemente beberla (Araneda et al, 2013). Es el agua de uso doméstico que se consume en el uso de los servicios higiénicos o en los jardines.

La Huella Indirecta es la mayor parte de agua consumida, pero no hay conciencia de ello. Cuando se consume un alimento, se adquieren prendas de vestir o se toma una taza de café, fue necesario un determinado volumen para la elaboración o fabricación de esos productos o servicios. Al considerar solo el consumo de agua directa o que es visible, los consumidores ignorarán que la mayor parte del agua que consumen está asociada a los productos que ellos adquieren, no al agua que es observable al consumirla (Hoekstra et al., 2009).

Está considerado que la Huella Directa representa un 4%, entonces se deduce que la Huella Indirecta significa un 96% del consumo humano total (Mendoza et al., 2014).

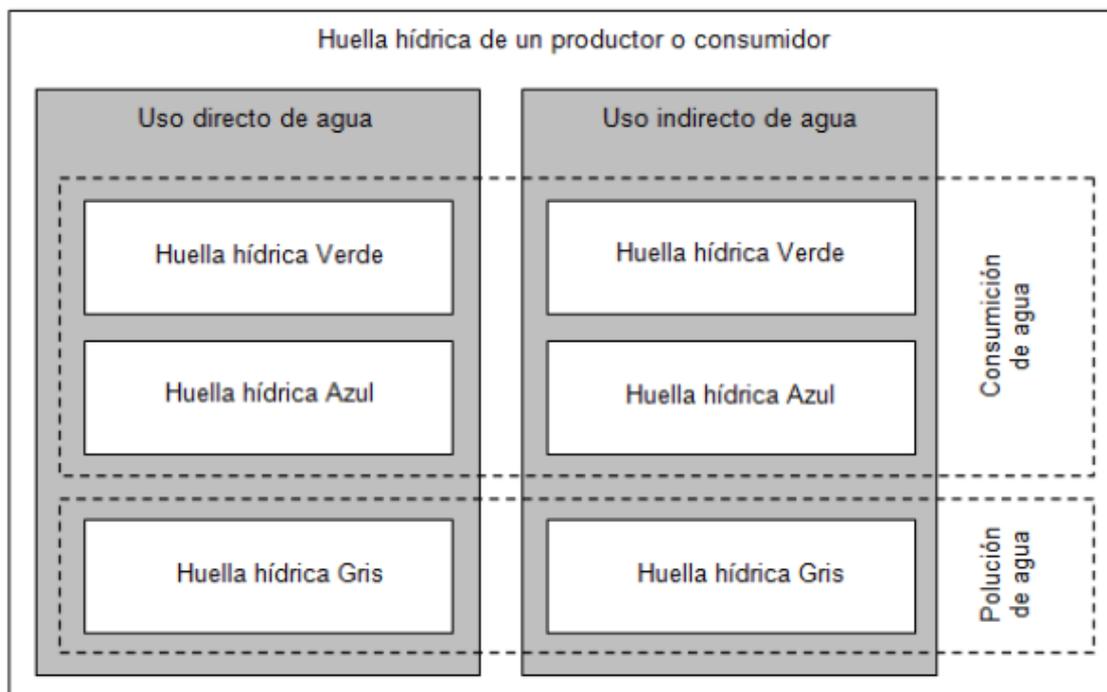
2.1.6. Los componentes de la Huella Hídrica

Las Huellas Directa y la Indirecta, cada una posee tres componentes principales. Los tres componentes son la Huella Verde, la Huella Azul y la Huella Gris. La

división en estos componentes se debe a la fuente de donde proviene el agua o el origen de esta.

Se muestra una esquematización de los componentes de la HH en la figura 2 que exhibe una representación esquemática de los componentes de la HH para un productor o consumidor. En este trabajo de investigación se trata de un grupo de consumidores que es la comunidad universitaria. Se muestra que el uso directo y el indirecto cuentan igualmente con las tres Huellas a diferenciar: la Verde, la Azul, que, en los dos usos, forman parte del consumo (o consumición) de agua; y la Gris es la necesaria para asimilar una determinada carga de contaminantes.

Figura 2: Componentes de la Huella Hídrica



Fuente: Hoekstra et al., 2011. Adaptado por Huella de ciudades, 2015.

A continuación, se explica cada tipo de agua, de donde proviene cada componente de la HH:

- **Agua verde.**- Es el agua de lluvia almacenada en el suelo como humedad, siempre y cuando no se convierta en escorrentía y se añada a las aguas subterráneas, esto es que se mantenga en el suelo o su superficie o la

vegetación. Esta agua almacenada es la parte de la precipitación que se evaporará o que transpiran las plantas. (Hoekstra et al., 2010). Genera la Huella Verde.

- **Agua azul.**- Denominada así a la que se encuentra en los cuerpos de agua superficial y subterráneos (ríos, lagos y acuíferos). Es en estas fuentes del ciclo hidrológico que la humanidad ha tratado de modificar para su provecho construyendo estructuras como canales y presas. En algunos casos se requiere de infraestructura para el almacenamiento y distribución de esta agua para así llegar a los usuarios, razón por la cual se conviene un determinado precio por estos servicios. (MINAGRI et al., 2015). Origina la Huella Azul.
- **Agua gris.**- Es el volumen de agua requerido para diluir o asimilar contaminantes hasta que se considere agua aceptable para estándares locales de calidad de agua. Es decir, el agua contaminada. Este volumen no es real, su cálculo se efectúa para determinar la cantidad necesaria para diluir cierto tipo de contaminante. Genera la Huella Gris.

Además de estos colores de agua, se deben tomar en cuenta y evaluar impactos locales en tiempo y espacio de la extracción del agua, si es que se da un retorno y la calidad de este al ciclo hidrológico, las condiciones de escasez o estrés hídrico actuales en el lugar, los usos locales de agua y el acceso a la población del recurso (WWF México, 2012).

2.1.7. Agua virtual y Huella Hídrica

El concepto de HH está íntimamente ligado al de agua virtual. El agua virtual fue un concepto acuñado en 1993 por John A. Allan, un investigador del King's College de Londres. Se entiende como lo virtual opuesto a lo real o tangible (que se puede ver), que es la cantidad de agua requerida para producir, empacar y transportar todo lo que consumimos como bienes, productos o para posibilitar un servicio. Un ejemplo simple está en la manzana. Para que esta

fruta haya pasado por todo un proceso de producción y llegue al consumidor, se ha necesitado un promedio de 70 litros de agua (como se observa en la tabla 1). Esta cantidad de agua toma en cuenta el agua para el riego agrícola que la manzana requirió para su crecimiento, el agua que se necesitó para su transporte hasta el consumidor. Esta cuantía de agua puede ser variable, lo que va a depender del lugar, y las condiciones en las que el producto se elaboró. Cuando uno posee un bien (un alimento o prenda de vestir), el agua que se requirió para producir el mismo bien no está contenida en ese producto. Por eso al agua virtual también se le conoce como agua invisible (Rocha, 2011). En general, no es conocido que los bienes o productos consumidos han requerido gran cantidad de agua para llegar a su resultado final, mucha más que la que vemos al consumirla. Se tiene un promedio de agua virtual mostrado en la tabla 1 que se ha utilizado para algunos alimentos (Suizagua, 2012).

Tabla 1: Contenido de agua virtual

Producto	Contenido virtual de agua (litros)
Una manzana (100 g)	70
Una rebanada de pan (30 g)	40
Una hamburguesa (150 g)	2 400
Una taza de café (125 ml)	140
Un vaso de leche (200 ml)	200
Un par de zapatos (cuero)	8 000
Una hoja de papel A4 (80 g/m ²)	10
Un microchip (2 g)	32

Fuente: Hoekstra y Chapagain, 2007

Es pertinente aclarar que, aunque los conceptos puedan parecer muy similares, agua virtual y HH son diferentes. La HH es una noción más amplia que engloba al concepto de agua virtual. El agua virtual o también conocido como el “agua invisible” vendría a entenderse también como agua de consumo humano que se ocupa solo de las Huellas Verde y Azul. Por su parte, la HH es un indicador de consumo de agua que estudia los tres componentes de esta: las Huellas Verde, Azul y Gris (Hoekstra y Mekonnen, 2012). Entonces, volviendo al ejemplo de la

manzana, los 70 litros señalados en la tabla 1 no incluyen lo que viene a ser la Huella Gris, esto es el agua que se requirió para absorber los contaminantes generados en su crecimiento y transporte hacia los lugares donde el consumidor la conseguirá.

2.1.8. Familia de Huellas (Ecológica, de Carbono e Hídrica): conjunto de indicadores para medir las demandas humanas

Así como la HH, existen otras herramientas que miden las demandas humanas sobre los recursos de la Tierra. En las últimas cuatro décadas, los países alrededor del mundo han experimentado crecimiento económico, mejoras en el bienestar humano y reducción de la pobreza. Estos cambios han sido alcanzados a expensas de las condiciones de los ecosistemas y su habilidad para sostener la vida. Es así que ahora el consumo indiscriminado y desperdicio de la humanidad va a un ritmo más rápido de lo que la Tierra puede aguantar y regenerar (Galli et al., 2012).

Las Huellas Ecológica, de Carbono e Hídrica, forman parte de una familia de huellas que constituyen un conjunto de indicadores que son capaces de realizar un seguimiento de la presión humana sobre el planeta desde diferentes perspectivas. Estos indicadores presentan una base cuantificable sobre la cual se discuten sobre todo temas en relación a los procesos de producción y a los límites en la utilización de los recursos globales (Ibíd.).

Lo que busca la Huella Ecológica es, en términos generales, calcular las demandas del hombre sobre la naturaleza, lo que equivale al *“área biológicamente productiva requerida para producir los recursos utilizados y absorber los residuos generados de una determinada población”* (Badii, 2008). La metodología de la Huella Ecológica se centra en calcular una determinada superficie que debe soportar “la vida” de cierto grupo de personas. Pero además muestra claramente el grado de dependencia material de los seres humanos con respecto a la naturaleza (Bórquez, 2010).

La Huella de Carbono puede ser entendida como un indicador para calcular la cantidad total de las emisiones directas o indirectas de GEI despedidas a la atmósfera, medidos en CO₂ equivalente³, producto de actividades humanas. Su cálculo considera a cada una de las etapas de un ciclo productivo (Ibíd.).

Utilizar estos indicadores de la familia de Huellas, posibilita realizar un seguimiento del uso y sobreexplotación actual de los recursos, y la presión que este uso genera sobre los recursos de cada uno de los tres compartimentos que soportan la vida en la Tierra: la litósfera (Huella Ecológica), la hidrósfera (Huella Hídrica) y la atmósfera (Huella de Carbono) (Galli et al., 2013). Con estos indicadores lo que se busca es una educación, una sensibilización en las personas con relación a la manera de explotación de los recursos para que se puedan tomar mejores decisiones de uso de estos.

2.1.9. Concepto de Sostenibilidad

En términos generales, la Sostenibilidad se considera como *“un paradigma para pensar en un futuro en donde las consideraciones ambientales, sociales y económicas estén equilibradas en la búsqueda de una mejor calidad de vida. Por ejemplo, una sociedad sostenible depende de un ambiente sano que provea alimentos y recursos, agua potable y aire limpio para sus ciudadanos”* (UNESCO, s.f.). La importancia de este concepto radica en que una sociedad debe asegurar un futuro próspero para sus ciudadanos, utilizando responsablemente y racionalizando la explotación de los recursos necesarios para el ser humano. Además de cuidar y conservar el medio ambiente en donde este se desarrolla y vive.

En un contexto de HH, significa comparar la HH calculada con los recursos de agua dulce disponibles en la cuenca. Asimismo, referirse a la Sostenibilidad

³ La huella de carbono se mide en CO₂ equivalente: medida estandarizada que incluye el efecto total de todos los GEI en el clima. Se define como la concentración del CO₂ que produciría el mismo nivel de impactos en la atmósfera que una mezcla dada de CO₂ y otros GEI.

relacionada a la HH, es referirse a tres diferentes dimensiones (Hoekstra et al., 2011):

- **Sostenibilidad ambiental:** Los caudales de los ríos y las aguas subterráneas deben permanecer dentro de ciertos límites en el contexto de la esorrentía natural, a fin de mantener los ecosistemas dependientes de los ríos y del agua subterránea.
- **Sostenibilidad social:** Debe asignarse una cantidad mínima de agua dulce disponible en la tierra para las necesidades humanas básicas (estas son lo mínimo que una persona debe tener, de acuerdo a los derechos humanos para poder vivir tranquilamente), lo que implica que solamente pueden asignarse a los bienes de lujo (lo contrario a las necesidades básicas) la fracción de suministro de agua dulce disponible que resta después de haber cubierto las necesidades humanas básicas de agua.
- **Sostenibilidad económica:** La distribución y uso del agua deben ser económicamente eficientes. Los beneficios de una Huella Verde, Azul o Gris resultantes de utilizar el agua para un determinado fin deben ser mayores que el costo total (incluidos costos asociados) que puede tener el acceso al uso de agua. Si esto no se cumple, la HH es insostenible económicamente (Hoekstra et al., 2010).

2.2. Antecedentes

2.2.1. Contexto nacional de la disponibilidad de agua en Lima: vertiente del Pacífico y la cuenca del río Rímac

Anteriormente se señaló que nuestro país en su totalidad cuenta con más de 70 000 m³/hab. de agua al año, lo que representa la mayor disponibilidad geográfica de agua dulce per cápita en América Latina (Sevilla, 2014). Este dato difundido por la Autoridad Nacional de Agua (ANA) da la impresión para cualquier lector de que, dentro de América Latina en el Perú tenemos una situación privilegiada de reserva del recurso hídrico, pero la distribución tan

desigual para su aprovechamiento por parte de la población, hace que esta cantidad de agua no tenga la importancia debida. Solo en la vertiente occidental del Perú o la vertiente del Pacífico, el promedio de la cantidad total de metros cúbicos disponibles alcanza aproximadamente los 2 900 m³/hab de agua al año (Ibíd.). Esto es el 4% del volumen de agua total disponible a nivel nacional destinado a más del 53% de la población peruana asentada en las ciudades de la costa que reciben agua de la vertiente del Pacífico.

Dentro de esta vertiente se encuentra la cuenca del Río Rímac, considerada como una de las cuencas más importantes del Perú. Es fuente significativa de abastecimiento de agua para uso humano, agrícola y energético de la ciudad de Lima, del cual dependen 29 distritos capitalinos (MINAM, 2012). Este cuerpo de agua no es la única fuente de abastecimiento de agua para la capital, ya que es sabido que los ríos de las cuencas Chillón, Lurín y en especial la del Mantaro también suministran agua a la ciudad de Lima.

Efectivamente, modificando la disponibilidad geográfica del agua y agregando un gran volumen de agua a la vertiente del Pacífico desde la vertiente del Atlántico, se represa el recurso hídrico proveniente de la cuenca del Mantaro, perteneciente a la vertiente oriental del Perú. En el distrito de Marcapomacocha, provincia de Yauli, departamento de Junín, existen represas como Huascacocha y Antacoto que reservan el agua, para luego ser transportada a través del túnel Trasandino hacia el río Rímac. Se trata de aproximadamente 190 MMC⁴ de agua represada anualmente. De esa reserva se traslada cierto volumen al río Rímac, el que va a abastecer a la mayor parte de la capital (SEDAPAL, 2012).

La cuenca del río Rímac comprende parte de las provincias de Lima, Callao, Huarochirí y una muy pequeña proporción a la provincia de Yauli. Se origina en la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes a una altitud máxima de 5,508 msnm en el nevado Paca y aproximadamente a 132 km al noreste de la ciudad de Lima, desembocando por el Callao, en el Océano Pacífico. Presenta

⁴ MMC: millones de metros cúbicos.

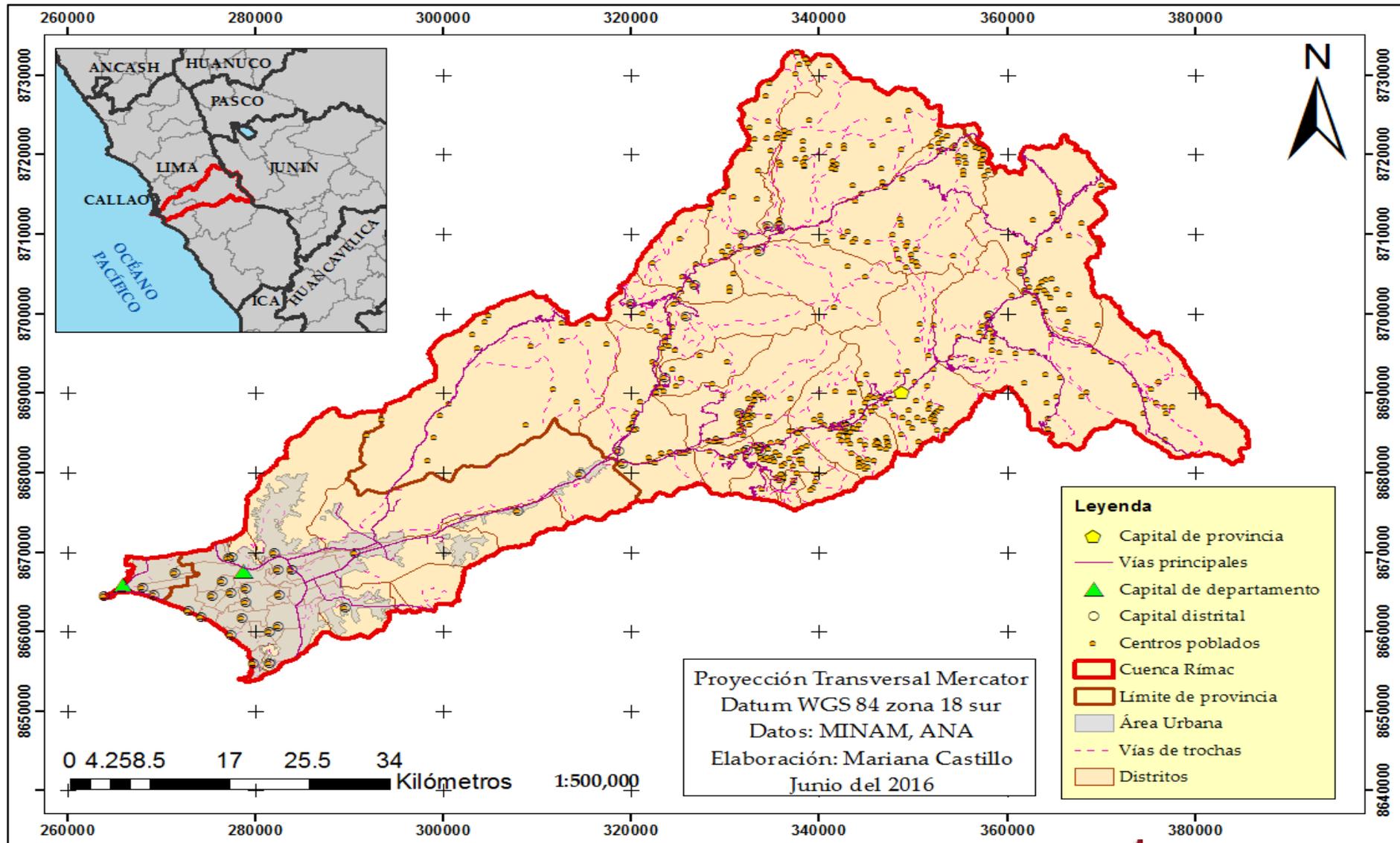
un área aproximada de 3 312 km² (MINEM, 1997), y una población calculada en 4 922 726 habitantes⁵.

A continuación se muestra el mapa 1, mapa de ubicación política de la cuenca Rímac, dentro del departamento de Lima.



⁵ Cifra trabajada con las Estimaciones y Proyecciones del INEI al 2014, y en el programa ArcGis, como parte de un trabajo para un proyecto de la ANA, para el cálculo de población de las cuencas Chillón, Rímac y Lurín. en junio del 2016.

Mapa 1: Ubicación política de la cuenca Rímac

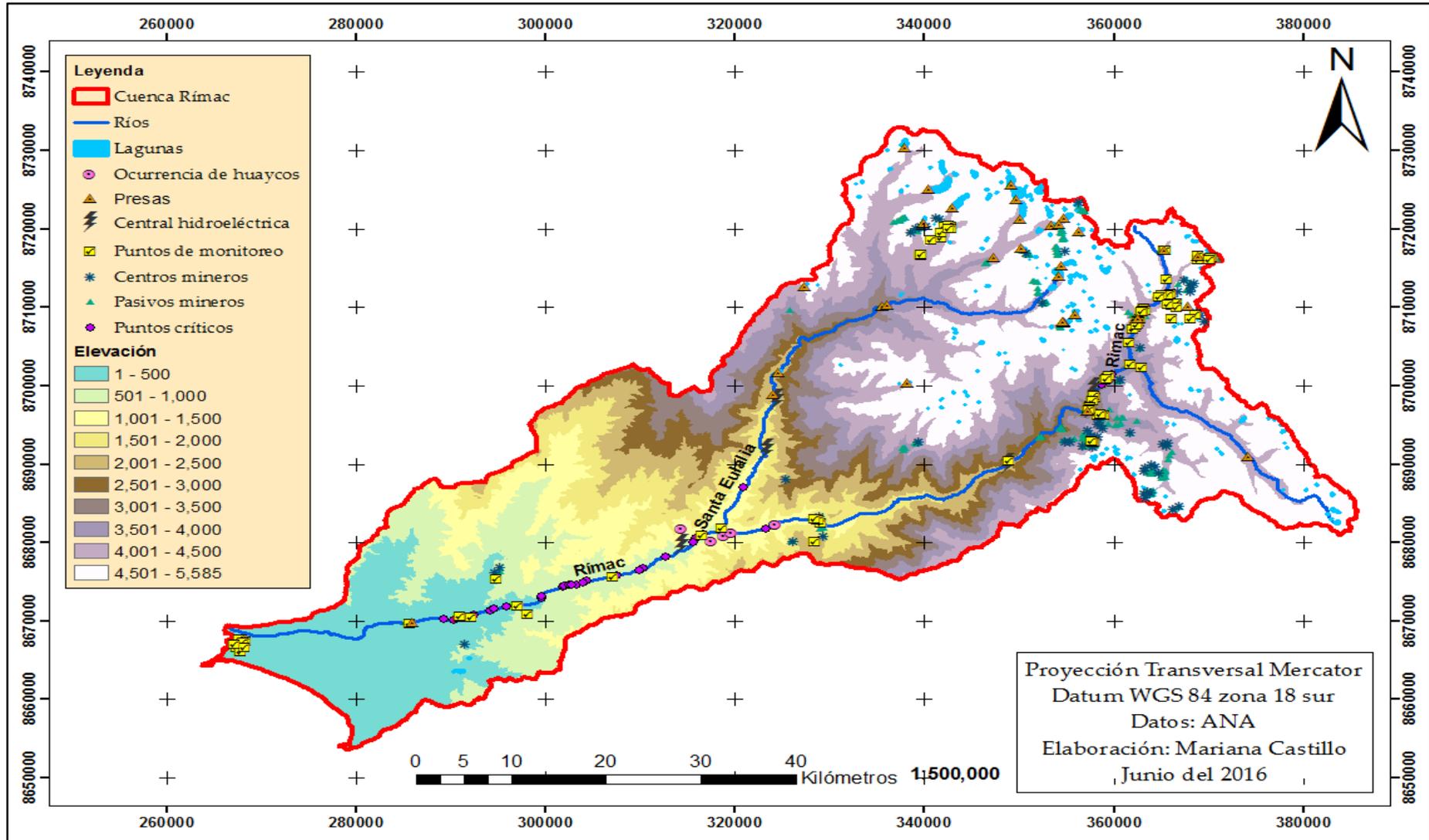


Se muestran los centros poblados, ubicados en la parte media y alta de la cuenca. Las vías de trochas se ubican también en estas dos zonas de la cuenca. En la parte baja, pegada al mar se muestra la zona urbana que se extiende hasta poco menos de la parte media de la cuenca, siguiendo una vía principal.

Existen dos tipos de climas en la cuenca: desde la desembocadura del río en el Océano Pacífico hasta Chosica se puede considerar como cuenca seca, la que tiene como principal característica las esporádicas precipitaciones; estas condiciones climáticas abarcan el 27% de la cuenca Rímac y es en esta parte donde se encuentra la capital de Lima y el distrito de San Miguel donde se halla el campus PUCP. El mapa 2 muestra la temática sobre actividades relacionadas con el agua y la contaminación en esta cuenca.

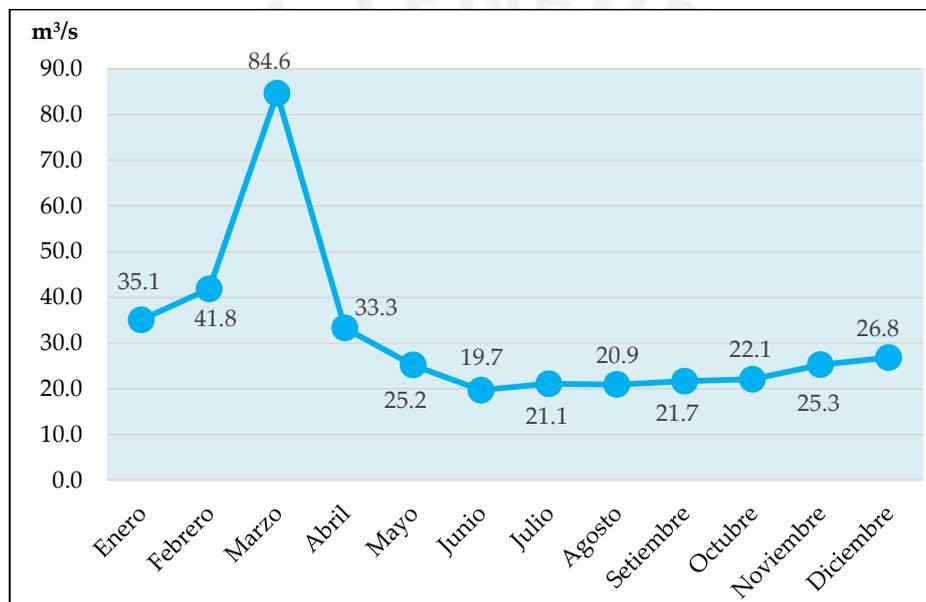


Mapa 2: Altitud, actividades y contaminación relacionadas con el agua en la cuenca Rímac



Se aprecia en el mapa anterior el río principal que es el Rímac con una longitud de 169.4 km, y un afluente principal que es el río Santa Eulalia con 65.8 km de largo. Se muestra en la figura 3 los promedios de los caudales mensuales del río primordial de la cuenca que es el Rímac a lo largo del año estudiado (MINAGRI y ANA, 2015). Estas medidas de caudales fueron tomadas en la estación hidrológica de Chosica, ubicada en el distrito de Chaclacayo, provincia y departamento de Lima. Estos volúmenes incluyen aportes de otras cuencas, como la del río Mantaro⁶.

Figura 3: Caudales promedios mensuales del río Rímac en m³/s en el año 2014



Fuente: Por el autor

El caudal promedio anual es de 31.46 m³/s. Los caudales en los meses de enero y febrero son altos con respecto a los demás meses, menos en el mes de marzo, cuando el caudal promedio se dispara y es muy abundante. Aun así, los promedios mensuales muestran una pequeña variación en los meses de mayo a diciembre. Los meses de mayores valores del caudal se deben a las abundantes precipitaciones que ocurren en la sierra (en la parte más alta de la cuenca) que

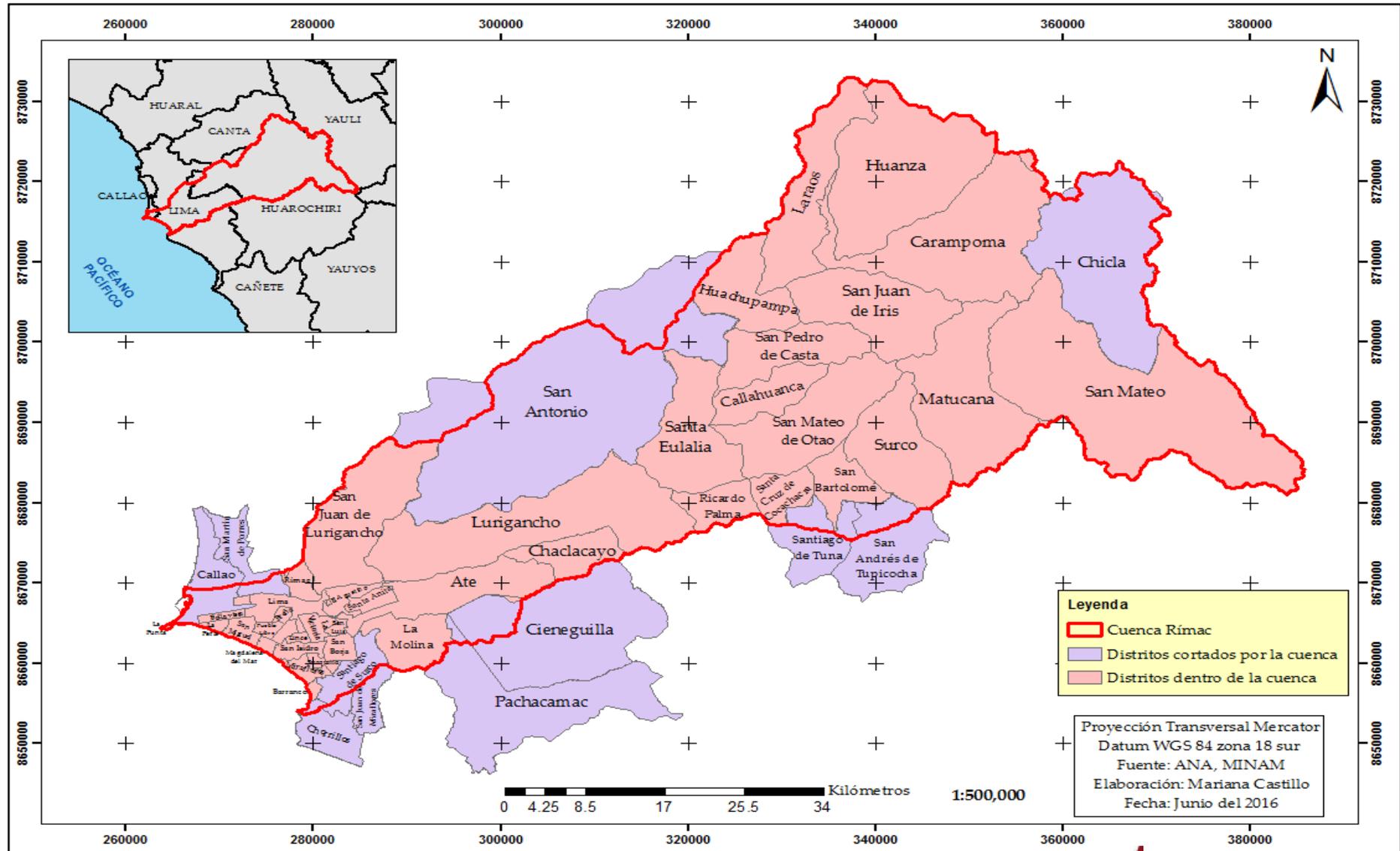
⁶ Comunicación personal con el ingeniero Carlos Verano, profesional en la ANA y coautor del Compendio Nacional de Estadísticas de Recursos Hídricos. Setiembre del 2016.

alimentan a los nevados que originan el río Rímac. El caudal del río en todo el año asciende a 377.57 m³/s.

Retornando al mapa, las pequeñas lagunas de la cuenca se ubican en la parte alta de la cuenca, cerca de los nevados de la Cordillera de los Andes. Cerca de ellas, mayormente cerca de las lagunas del norte de esta cuenca se asientan las presas. Un pequeño número de presas se asientan a lo largo de los ríos Rímac y Santa Eulalia. Los puntos de monitoreo de contaminación del agua se localizan a lo largo del río principal, sobre todo en la parte alta de la cuenca y un grupo de puntos ubicados cerca de la desembocadura del río Rímac. Otro grupo de puntos de monitoreo no está localizado a lo largo de alguno de los dos ríos, sino al norte del río afluente Santa Eulalia, dentro de la sub cuenca del mismo nombre. Los puntos críticos desplegados en el mapa se refieren a los puntos de tendencia al desbordamiento del río, el cual es el tramo del río Rímac comprendido entre los 1 000 y 500 msnm, donde también se encuentran los puntos de ocurrencia de huaycos. Las centrales hidroeléctricas se ubican entre los 1 000 y 3 000 msnm, se encuentran presentes muy cerca a los dos ríos de esta cuenca. Esta cuenca soporta una amplia actividad minera, ubicada sobre todo en la parte alta de la cuenca, como se puede observar en el mapa, entre otras. Igualmente se observan los pasivos mineros los que se hallan lindantes a los centros mineros actuales. La minería es particularmente intensa en las zonas más altas, tanto en la parte principal de la cuenca Rímac como en la sub cuenca de Santa Eulalia (MINAGRI et al., 2010).

El ente administrativo que se encarga de regular el uso de los recursos hídricos en la cuenca del río Rímac, es la Administración Local de Agua Chillón-Rímac-Lurín, que depende de la Autoridad Nacional del Agua-ANA, adscrita al Ministerio de Agricultura (Ibíd.). El siguiente mapa muestra los distritos considerados para el establecimiento de la población de la cuenca Rímac.

Mapa 3: Distritos comprendidos en la cuenca Rímac



El mapa 3 es importante para el cálculo de la población de la cuenca. Se observa que los distritos de la parte media y alta de la cuenca son de mayor tamaño que aquellos de la cuenca baja, llegando al mar, pero la relación tamaño-población es inversamente proporcional en la gran mayoría de estos distritos. Aquellos de la zona urbana albergan una población muy numerosa. Los distritos en color rosado son los que entran en su totalidad en la cuenca. Los distritos en color lila son los distritos partidos por los límites de la cuenca.

Debe mencionarse que aquellos distritos que incluían un porcentaje menor a 0.5 km² (más aún si estos distritos se ubicar en la parte alta de la cuenca y cerca de esta donde hay menos densidad poblacional por metro cuadrado, a diferencia de los distritos de la parte baja de la cuenca, cerca de esta o del área metropolitana de Lima) dentro de la cuenca Rímac no han sido incluidos en territorio de esta. Como es el caso del distrito que colinda con Carampoma, hacia el noreste de la cuenca. Este distrito es Marcapomacocha, perteneciente a la provincia de Yauli, departamento de Junín. El porcentaje equivalente a 0.5 km² representaba a 5 habitantes, cifra que se decidió no incluir en la población total de la cuenca.

La relación de los distritos en color lila se muestran en la tabla 2, dentro de sus respectivas provincias del departamento de Lima y con sus porcentajes de territorio dentro de la cuenca, los que se establecieron con la ayuda del software ArcGis. Los porcentajes mostrados en la columna de % de territorio dentro de la cuenca, se tomaron para aplicarlos en el cálculo de la porción de la población total de cada uno de estos distritos, cifra que debió incluirse en el total de habitantes la cuenca Rímac. Se presentan 11 distritos que pertenecen a tres provincias del departamento de Lima. Se observa que el distrito de Chicla (distrito de la cuenca alta) en la provincia de Huarochirí tiene el mayor porcentaje de área dentro de los límites de la cuenca, con un equivalente a 7 471 habitantes, y por el contrario, el distrito de Pachacamac en la provincia de Lima

(distrito de la cuenca baja) tiene un área muy pequeña dentro de esta, correspondiendo a 2 304 habitantes.

Tabla 2: Distritos cortados por los límites de la cuenca Rímac

Provincia	Distrito	% de territorio dentro de la cuenca
Huarocharí	Chicla	98.1
	San Antonio	75.8
	Santiago de Tuna	35.1
	San Andrés de Tupicocha	21.4
Lima	Santiago de Surco	84.4
	San Martín de Porres	25.5
	Cieneguilla	15.1
	Chorrillos	7.4
	San Juan de Miraflores	2.2
	Pachacamac	1.9
Provincia Constitucional del Callao	Callao	40.9

Fuente: Por el autor

2.2.2. Estudios previos de Huella Hídrica en empresas del Perú y Colombia dentro de proyectos de SuizAgua

En América Latina, un rol importante y el primero en la implementación de la HH lo tiene la Fundación Suizagua Andina, un proyecto promovido por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), alianza público-privada que apoya a los países de la región en el tema de la ejecución de la HH. Esta fundación trabaja con el sector privado de Colombia, Perú y Chile para medir y reducir su HH (SuizAgua, s.f. b).

Colombia, país que en el tema de la HH nos lleva ventaja y experiencia (FAO, 2014), fue el primer país en Latinoamérica que empezó a trabajar dicho tema en el año 2010, que es cuando nació SuizAgua Colombia, asociación público-privada de la COSUDE con cuatro empresas suizas operando en Colombia. A partir de ese año, vienen trabajándose diversos proyectos nacionales como el

que se llevó a cabo en primer lugar en Colombia: evaluación de la Huella Hídrica en la Cuenca del Río Porce, en coordinación con autoridades locales. Asimismo, posteriormente está el trabajo de SuizAgua con la máxima autoridad en hidrología y meteorología de Colombia que es el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (SuizAgua, s.f. c).

En cooperación con SuizAgua y la ONG peruana Agua Limpia, desde fines del 2012 se han venido realizando medidas de huellas hídricas de empresas privadas que operan en el Perú, las que mostraron una verdadera preocupación por la gestión del agua en el país, desarrollando acciones de responsabilidad social y extendiendo su impacto positivo a nivel social, económico y ambiental. Estas son empresas como la compañía de productos alimenticios Nestlé; el grupo empresarial de mercadeo de soluciones en construcción, infraestructura, agricultura y minería Mexichem presente en el país con el nombre de Pavco, la mayor empresa peruana productora de cemento Unacem y la empresa agroindustrial líder Camposol (SuizAgua, s.f. d).

Como producto de la medición de la HH en estas empresas, SuizAgua y Agua Limpia han creado un manual compilatorio de buenas prácticas que estas compañías han venido efectuando. El objetivo de este manual es motivar a otras empresas a ejecutar iniciativas semejantes para alcanzar una buena gestión del recurso hídrico en el país (SuizAgua, 2015). Existen cuatro pasos a seguir, o componentes a realizar para alcanzar una gestión eficiente del agua: medición, reducción, responsabilidad social corporativa y comunicación (Ibíd.). La medición de la HH viene a ser el instrumento del primer componente. Es el primer paso que debe darse para lograr una gestión sostenible del agua.

Las acciones de reducción de HH pueden ser directas o indirectas. Las primeras están las dirigidas a reducir los consumos directos de agua (administrativos, riego de áreas verdes, entre otros). Algunos ejemplos son una reducción de usos de agua en procesos productivos y no productivos; mejora de la calidad de aguas residuales, reutilización de agua en procesos productivos y no

productivos (SuizAgua, 2015). Las segundas son acciones de reducción en los gastos de energía, combustibles y transporte. En estas acciones no siempre las empresas pueden influir para modificar formas de producción o cambiar las tecnologías utilizadas (Ibíd.).

2.2.3. El caso similar de medición de HH de la Universidad Tecnológica Metropolitana de Chile (UTEM)

Además de empresas, existen instituciones educativas que también han realizado la medición de su HH. Tal es el caso del trabajo de dos estudiantes de la carrera de Ingeniería Civil en Prevención de Riesgos y Medio Ambiente de la UTEM, que, utilizando la metodología de evaluación de HH propuesta por la Red Internacional del Agua (Water Footprint Network), que es la misma metodología que se aplica para este proyecto de tesis, concluyeron que la HH de la Universidad del año 2012 fue de 65 816 m³/año, lo que corresponde a un consumo total de más de 65 millones de litros de agua anual. Además concluye el estudio, que cada uno de los estudiantes de la Universidad consumió un promedio de 42 litros diarios de agua durante año 2012 (UTEM, 2014).

La estimación de la HH de la UTEM consideró los procesos educativos y administrativos de sus tres campus ubicados en la Región Metropolitana del Chile y, para el alcance del estudio, se analizó la huella de la cadena operacional (Huellas Azul y Gris, la Huella Verde no se incluyó en este trabajo) y la huella del agua de cadena de suministro en su conjunto (consumo de k/w hora por año y consumo de toneladas de papel por año, esto es la Huella Indirecta). Es así que la UTEM se convirtió en la primera institución de educación superior de Chile en estimar la HH de sus procesos educativos (Ibíd.).

Posteriormente se dieron a conocer los impactos que dicha medición tuvo en el lapso de tiempo hasta hoy en la UTEM. Luego de medir su HH, en el mismo trabajo de investigación se elaboraron propuestas de estrategias de reducción de la HH. Respecto de la huella hídrica directa se propusieron soluciones

sanitarias, en eficiencia energética. Conjuntamente se propusieron campañas de sensibilización, sobre gestión del recurso hídrico, y de contextualización y difusión (Barraza y Becerra, 2013). El programa de Sustentabilidad de esta universidad acogió el proyecto de medición de la huella hídrica. Esto desencadenó que más alumnos de esa universidad emprendieran tesis de titulación utilizando otros indicadores de medición de demandas humanas como son la huella de carbono y huella ecológica de la misma institución educativa, lo que convierte a la UTEM en la primera universidad latinoamericana en contar a la fecha con el cálculo de los tres indicadores⁷.

Debe recalarse que, aunque hay una importante similitud en la metodología y los objetivos planteados entre el trabajo de investigación chileno y el trabajo de investigación presente, los alcances y dimensiones entre uno y otro trabajo son diferentes. Por un lado, en el caso de la UTEM, si bien se trata de un estudio en los tres campus ubicados en lugares distintos, la población universitaria chilena representa aproximadamente un poco menos de la quinta parte de la población PUCP, lo que significa que la ubicación espacio-poblacional es mayor en el caso de la PUCP. Por otro lado, la UTEM no considera la huella hídrica verde dentro de la medición de HH, así como tampoco los servicios suministrados por terceros en la universidad, como sí es el caso de la PUCP. El riego de áreas verdes es importante en nuestra universidad debido a la cantidad considerable de ellas. En cuanto a los servicios suministrados por terceros, se hace referencia a las empresas prestadoras de servicios o proveedores en limpieza, comida, entre otros.

Considerando que la UTEM y la PUCP son instituciones educativas diferentes en muchos aspectos como el área, población, oferta de carreras, entre otras, la medición de la HH de una universidad sudamericana, en un país próximo sienta un precedente y es un ejemplo para realizar la misma medición en la PUCP.

⁷ Comunicación personal con Víctor Barraza y Camila Becerra. Noviembre del 2015.

CAPÍTULO III

3. ÁREA DE ESTUDIO

Este capítulo describe datos sobre la ubicación geográfica de la PUCP, lugar de medición de la HH. La universidad constituye el área de estudio de este trabajo. Se incluye un mapa de la universidad y una imagen satelital de la misma. También se reseñan las características generales del medio natural en el que se localiza la universidad como el clima, geología y geomorfología del área metropolitana de Lima. Por último, se detalla el medio humano, datos sobre la población y áreas académicas de la PUCP.

3.1. Localización geográfica

La PUCP se ubica en el distrito de San Miguel, provincia de Lima, departamento de Lima. Cuenta con una extensión territorial total de 413 902 m², dividida en área no construida: 193 464 m² (considera áreas verdes, veredas, pistas, áreas de deportes y estacionamientos) y área construida: 220 438 m² (considera edificios y casetas) (PUCP, s.f.).

Como se puede observar en el mapa 4, el distrito de San Miguel limita al noreste con el Cercado de Lima, al este con los distritos de Magdalena del Mar y Pueblo Libre, al sur con el océano Pacífico y al oeste con la Provincia Constitucional del Callao.

Mapa 4: Ubicación geográfica de la PUCP

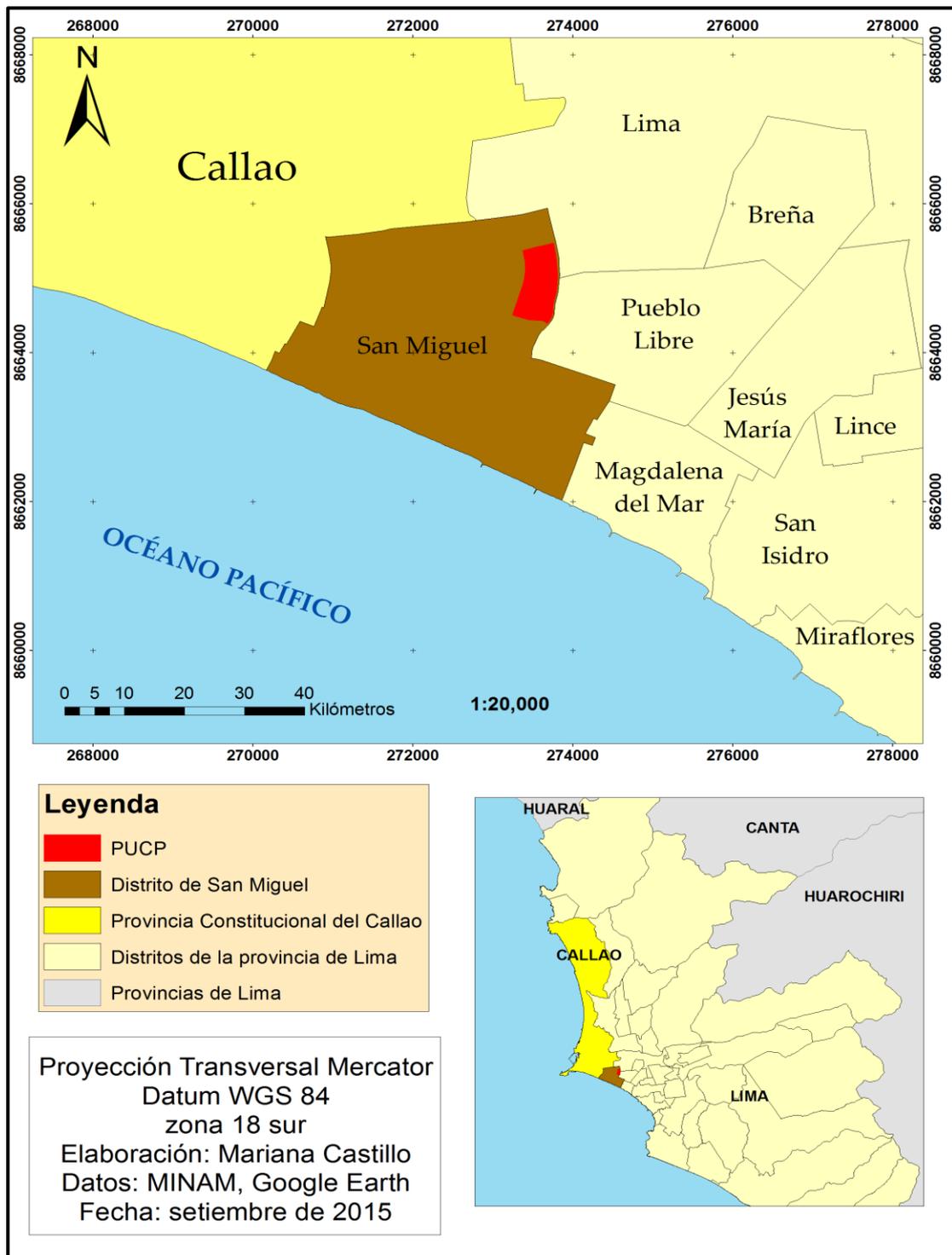
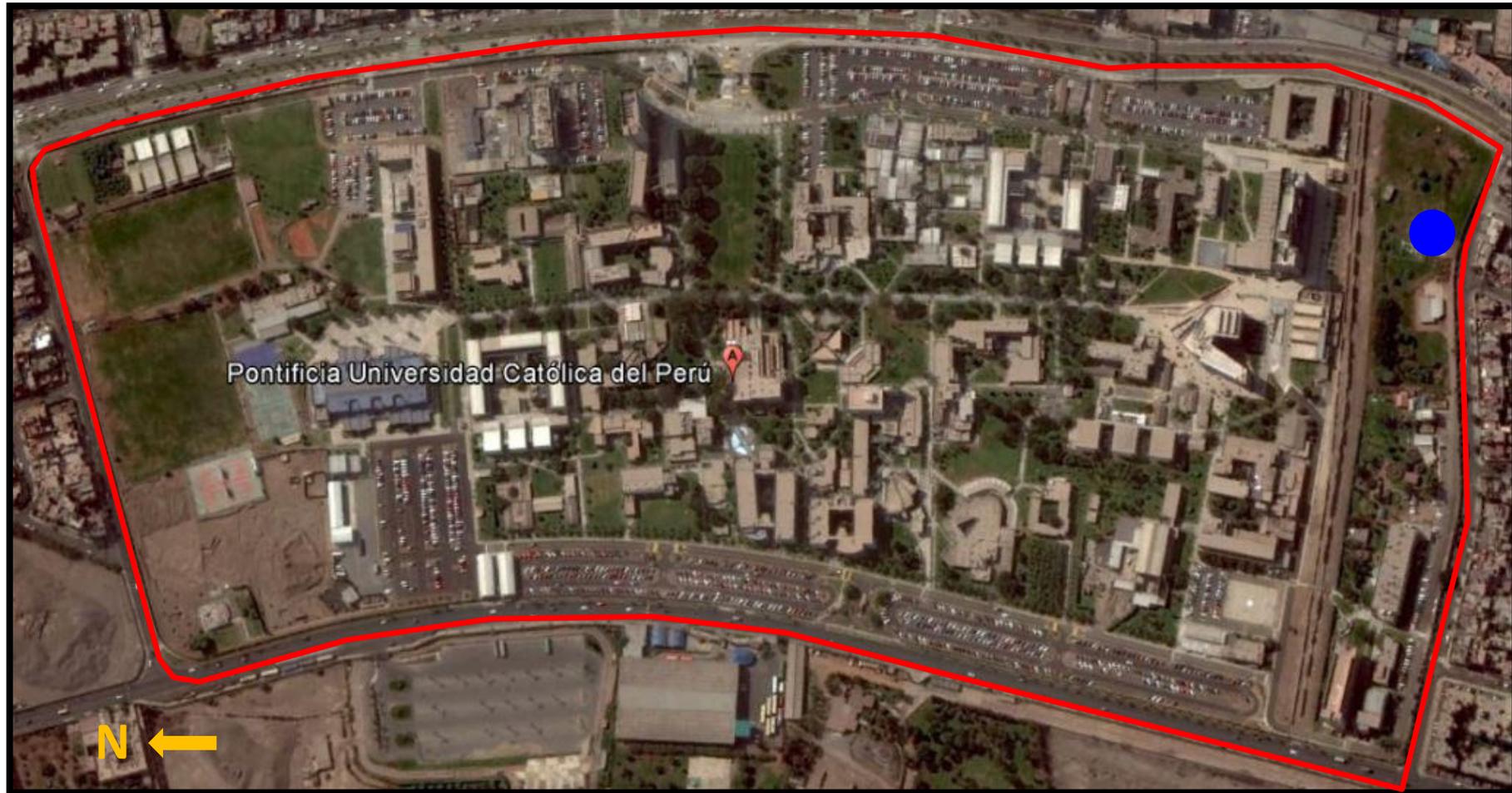


Figura 4: Imagen satelital



Fuente: Google Earth Pro

Fecha de captura de imagen: 27/11/2015. Fecha de imagen de Google Earth Pro: 30/06/2015

En la imagen satelital se observa la PUCP delimitada en su totalidad por la línea roja, y en sus límites, rodeándola, cuatro vías del distrito de San Miguel que definen sus límites: dos avenidas importantes como son la Avenida Universitaria al este, y la Avenida José de la Riva Agüero por el oeste de la PUCP. Las otras dos calles son Tulipanes por el norte, y al sur se encuentra la calle Urubamba.

Nótese el pequeño círculo celeste ubicado dentro y al sureste de la PUCP, con esta marca (no muestra la ubicación exacta) se ha querido mostrar el lugar aproximado donde se encuentra un pozo que, además del servicio de agua provisto por el Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL) a la universidad, también abastece de agua potable a la PUCP. Según el Sr. Abel Sermeño, gasfitero de la universidad, se utiliza este pozo cuando el flujo de agua que SEDAPAL brinda a la universidad es insuficiente para que las actividades de la universidad se desarrollen con normalidad. Este pozo se encuentra bajo administración de SEDAPAL y su abastecimiento de agua se da a toda la red de agua de la universidad. Esto significa que el agua del pozo se destina a todas las actividades en las que se involucra agua dentro de la universidad.

3.2. Descripción del medio natural

Se hace referencia a algunas características generales de la zona de estudio, la que es la ciudad de Lima. San Miguel, distrito limeño que encierra a la PUCP se encuentra en la zona litoral de la capital, con una altitud de 45 msnm. Por su cercanía al mar, toda el área del distrito, incluida la Universidad, presenta un clima muy húmedo (Butrón et al., 2013).

Clima

Se puede encontrar en la zona de estudio, según la clasificación climática de Thorntwhite, un clima de tipo árido (deficiencia de lluvias en todo el año, ambiente atmosférico húmedo), el cual es un clima propicio de distritos cercanos al mar. Dicho clima posee una temperatura promedio de 18 °C que varía considerablemente durante el día debido a la temperatura superficial del mar (TSM) y humedad atmosférica (la que bordea el 90%). En la capital se presentan

los días menos soleados de toda la franja costera a lo largo del año (SENAMHI, 2008).

Geología, geomorfología y suelo

El área metropolitana de Lima está localizada sobre los abanicos de deyección cuaternarios de los ríos Rímac y Chillón, encuadrados en rocas sedimentarias del Jurásico Superior al Cretáceo Inferior y rocas intrusitas del batolito andino (SEDAPAL, 2010). La unidad geomorfológica sobre la que se asienta la mayor parte del área de estudio corresponde a las laderas y crestas marginales de la Cordillera de los Andes, de topografía abrupta (Ibíd.). Según el mapa geológico de Lima elaborado por el Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), el suelo del distrito de San Miguel se formó por depósitos aluviales en la serie del Pleistoceno del sistema Cuaternario de la era del Cenozoico (INGEMMET, 1992).

3.3. Descripción del medio humano

Al 2014, se cuenta con una población universitaria de 35 915 personas. Dentro de este total poblacional se pueden encontrar distintos tipos de población (ver tabla 3). La información en esta tabla es pública y aparece en la página web de la universidad. Centrando el análisis en los estudiantes (filas de la 2 a la 5), la gran mayoría está compuesta por el grupo de los estudiantes de pregrado los cuales estudian 49 distintas carreras, seguido por los estudiantes de maestría de la escuela de posgrado, quienes asisten a 76 diferentes programas de maestría. El grupo más reducido lo conforman los estudiantes de doctorados de la escuela de posgrado, que se encuentran distribuidos en 13 programas de doctorado. La cifra de los estudiantes de la fila 6 es el resultado de la resta de los estudiantes que vinieron de intercambio a la PUCP menos los estudiantes que salieron de intercambio para otras universidades.

Tabla 3: Población universitaria de la PUCP en el 2014

1	Tipo de población	Cantidad de personas
2	Estudiantes de CEPREPUCP	2 652
3	Estudiantes de pregrado	20 016
4	Estudiantes de maestrías	5 366
5	Estudiantes de doctorados	206
6	Estudiantes de intercambio del exterior y del interior	465
7	Personal docente	2 223
8	Personal administrativo	2 787
9	Personal predocente ⁸	1 600
10	Personal obrero ⁹	600
11	Total	35 915

Fuente: Dirección de Informática - Oficina de Estadística
Citado de la PUCP en cifras 2015

Es importante señalar que el total de personas de la comunidad universitaria no necesariamente refleja la cantidad real, ya que una misma persona (sobre todo en el caso de docentes y personal administrativo) puede ser considerada y contada para dos tipos de población, repitiéndose. Igualmente en el caso del total no se ha tomado en cuenta los alumnos de Educación Continua (actividades parte de la formación permanente de la persona, como diplomaturas, cursos, talleres e idiomas. Estas actividades no conducen a ningún grado académico), ya que no hay una forma exacta de computar la asistencia exacta de este tipo de población al campus universitario.

Los tipos de población de las filas 9 y 10 no se encuentran en la información de la página web de la universidad. La cifra del grupo de predocentes fue especialmente solicitada y entregada por la Oficina de Estadística de la Dirección de Informática. Dado que es un número considerable, se resolvió incluir este tipo de población en el total.

La cifra del grupo del personal obrero es una cifra referencial, que fue dada por los mismos trabajadores de cada rubro, ya que la universidad no maneja el número de trabajadores que empresas proveedoras y concesionarios tienen laborando en el

⁸ Elaboración propia.

⁹ *Ibíd.*

campus PUCP. Se considera dentro del grupo de personal obrero a los trabajadores que por medio de proveedores (empresa especializada contratada) y concesiones laboran dentro de la universidad. Algunas de las principales empresas proveedoras de trabajadores en la universidad en el año 2014 fueron:

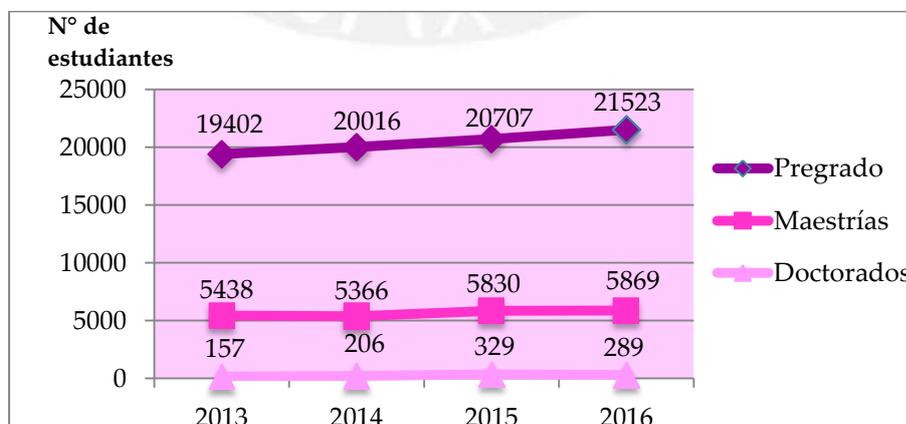
- Eulen del Perú de servicios complementarios, en el rubro de limpieza y jardinería
- G4S Perú S.A.C. en el rubro de seguridad y vigilancia
- Perú office S.A. en el rubro de impresiones y copias

Asimismo, se contaron con concesiones como:

- Charlotte S.A. en el servicio de cafetería en el edificio Mac Gregor
- Joceci SAC en el servicio de snacks en Estudios Generales (EE.GG.) Letras y el área del Centro Preuniversitario de la PUCP (CEPREPUCP).
- Prosana S.R.L en el servicio de comedores de EE.GG. Letras y Ciencias Administrativas.

Regresando al número de los estudiantes, principal tipo de población del lugar de estudio, se ha resuelto mostrar en la figura 5 la tendencia de cantidad de estudiantes matriculados en la PUCP. Se incluyen cifras de los tres grupos de pregrado y posgrado, considerando el año previo y los dos años posteriores de estudio (2013, 2014, 2015 y 2016).

Figura 5: Tendencia de estudiantes universitarios entre años 2013-2016 en la PUCP



Fuente: PUCP. Citado de la PUCP en cifras 2016

Se observa que el grupo de estudiantes de pregrado es el grupo que presenta ampliamente mayor cantidad de estudiantes, los que tienden a un ligero aumento a lo largo de los cuatro años analizados. Del 2013 al 2014 se dio un aumento de 3.7%. Luego, para el 2015 ocurrió un aumento 3.3%. Para el siguiente año el aumento fue de 3.9% El grupo de los estudiantes de maestrías presentan una tenue disminución de 1.3% del año 2013 al 2014, un aumento considerable de 8.6% del año 2014 al 2015 y del 2015 al 2016 se dio un leve aumento de 0.7%. El grupo más pequeño de los estudiantes de doctorados es reducido en los cuatro años de corte, y presenta un aumento de 31% del año 2013 al 2014, seguido de un 60% de aumento del 2014 al 2015 y una reducción de 13,8% al 2016. Como ya se indicó, los estudiantes son el tipo de población principal de la PUCP, por lo que se creyó pertinente incluir un pequeño análisis temporal de sus cantidades.

Para comprender la organización de la oferta de estudios de la PUCP, se expone la cantidad de áreas académicas en la tabla 4, en donde se muestra que los Departamentos académicos son entidades relativamente independientes que agrupan a docentes licenciados, magísteres o doctores, los que, según sea el caso de su área de conocimiento, enseñan en las 11 Facultades (Arquitectura y Urbanismo, Arte, Artes Escénicas, Ciencias e Ingeniería, Ciencias y Artes de la Comunicación, Ciencias Contables, Ciencias Sociales, Derecho, Educación, Gestión y Alta dirección, Letras y Ciencias Humanas) las que conjuntamente abarcan las 49 carreras de pregrado ofrecidas a los estudiantes. Los Estudios Generales se separan en dos: EE.GG. Letras y EE.GG. Ciencias y básicamente funcionan como otras dos Facultades de pregrado. La escuela de posgrado engloba a los estudios de maestría y doctorado. Entre estos dos se ofrecen más de 80 programas de posgrado. Aparte de estas áreas académicas, existen otros centros de servicio a la comunidad universitaria como el Centro de Salud, el Centro de Asesoría Pastoral Universitaria (CAPU), el Centro de Investigación en Geografía Aplicada (CIGA), el Instituto de Ciencias de la Naturaleza, Territorio y Energías Renovables (INTE), el Centro de Estudios Orientales, por mencionar algunos.

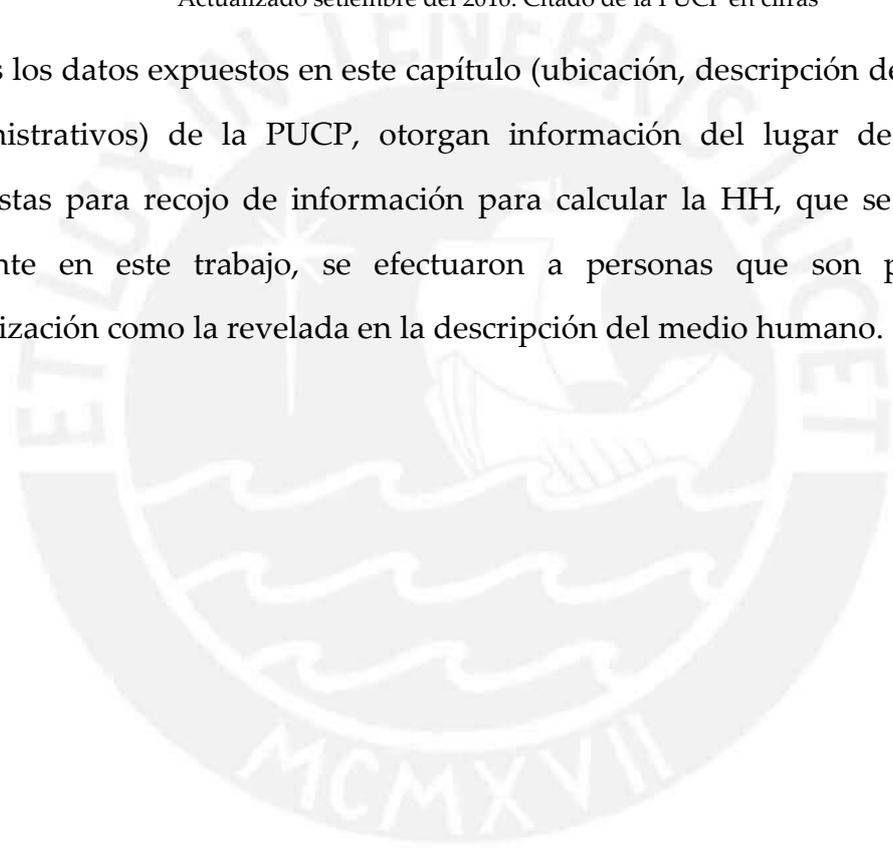
Se han detallado todas estas áreas académicas porque son los lugares donde se ubicaron los encuestados para establecer la muestra de los usos de agua que se explica más adelante.

Tabla 4: Áreas académicas en el campus PUCP

Área	Cantidad
Departamentos académicos	15
Facultades	11
Estudios Generales	2
Escuela de posgrado	1
Carreras	49

Fuente: Dirección de Informática - Oficina de Estadística
Actualizado setiembre del 2016. Citado de la PUCP en cifras

Todos los datos expuestos en este capítulo (ubicación, descripción del lugar, datos administrativos) de la PUCP, otorgan información del lugar de análisis. Las encuestas para recojo de información para calcular la HH, que se detallan más adelante en este trabajo, se efectuaron a personas que son parte de una organización como la revelada en la descripción del medio humano.



CAPÍTULO IV

4. ASPECTOS METODOLÓGICOS

En este capítulo se explica la metodología seguida para realizar este trabajo de investigación, así como la base de ésta. El modelo seguido fue la metodología de la Water Footprint Network (WFN), modelo internacional que tiene relativamente pocos años de existencia pero actualmente cuenta con una aceptación internacional general. La metodología se encuentra detallada según cada fase (cuatro en total) de evaluación de la HH.

Metodología

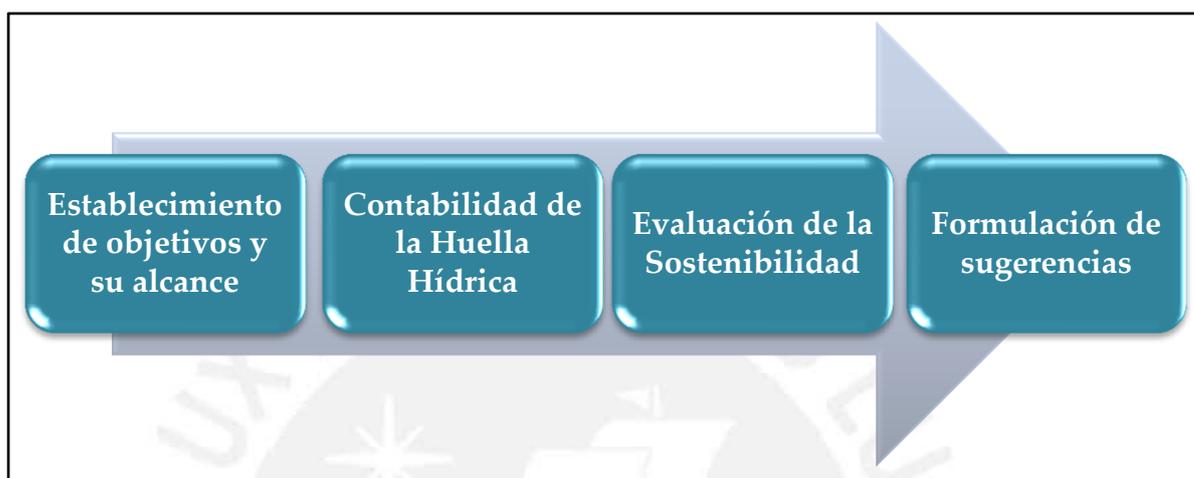
La metodología empleada en el presente trabajo de investigación se basó en el método de evaluación de la HH de la WFN el que brinda una acertada y amplia información espacio-temporal real de cómo el agua es apropiada para distintos propósitos humanos (Hoekstra et al., 2011). El referido método de evaluación de la WFN fue creado por el mismo inventor del concepto de huella hídrica (WFN, s.f.). Esta organización internacional y red global que busca proveer soluciones basadas en la ciencia para transformar la manera en que se utiliza y comparte el agua dulce en el planeta. El manual de esta metodología recibió la colaboración de 130 organizaciones alrededor del mundo para su instauración (Hoekstra et al., 2011). Esta metodología se eligió, entre otras¹⁰, por su énfasis en el análisis de Sostenibilidad que se realizó posterior al cálculo de la HH, así como también en la Sostenibilidad de la producción y consumo a un nivel macro (Hoekstra, 2015) y además por ser la más utilizada y accesible. La Sostenibilidad en diferentes actividades realizadas en el campus es lo que el presente trabajo de investigación buscó analizar, o destacar como uno de sus objetivos finales.

El Manual de evaluación que se utilizó como referencia principal fue la versión más reciente del Manual de HH: The Water Footprint Assessment Manual. Setting

¹⁰ Algunas metodologías son: ISO 14046 de la Organización Internacional para la Estandarización, la Herramienta Global del Agua perteneciente al Consejo Empresarial Mundial.

the Global Standard de Arjen Hoekstra et al. del año 2011. Como referente secundario se usó el Manual para la evaluación de la HH, de Huella de Ciudades del año 2015, la que es una versión resumida y en español de The Water Footprint Assessment Manual. Dicha metodología presenta cuatro fases de evaluación, las que están representadas en la figura 6:

Figura 6: Las cuatro fases para la evaluación de la Huella Hídrica



Fuente: Hoekstra et al., 2010.

Este trabajo de investigación cubrió las cuatro fases de evaluación. La primera fase ya se encuentra parcialmente establecida en el capítulo I al mencionar los objetivos de la evaluación de la HH, los que son los mismos de este trabajo de tesis. La segunda fase engloba toda recolección de datos y cálculos para hallar la Huella Directa, la Huella Indirecta y los componentes de cada una. En la tercera fase se analizan la Sostenibilidad de los resultados de la HH desde un enfoque ambiental y social. La última fase consiste en una serie de sugerencias o estrategias para reducir el consumo de agua que resultó del cálculo de la HH en la PUCP.

4.1. Establecimiento del alcance

En primer lugar, se definieron los alcances y límites del estudio. El alcance espacio-temporal fue el campus principal PUCP (excluyendo otras sedes e institutos de la universidad) durante el año 2014. Se abarcaron los usos y consumos directos (riego, usos personales y laboratorios) e indirectos (electricidad,

papel y comida) de agua efectuados dentro de sus instalaciones durante el año 2014 por parte de la comunidad universitaria.

4.2. Contabilidad de la Huella Hídrica

En el presente caso de estudio, en la contabilidad de la HH se debe considerar una división esencial que establece dos grandes tipos de Huellas: la Huella de uso Directo y la Huella de uso Indirecto. Estas dos Huellas engloban cada una los tres componentes: las Huellas Azul, Verde y Gris.

En el caso del uso directo, fue posible contabilizar por separado los componentes de la Huella Azul, la Verde y la Gris. En el caso de la Huella Indirecta los tres componentes se encuentran indistintamente combinados, por lo que no se hizo distinción de color de Huellas en los cálculos.

El producto final fue una cantidad de agua, que en el caso de una institución que comprende un grupo de consumidores, se expresó en unidades de volumen de agua por unidad de tiempo.

4.2.1. Cálculo de la Huella Directa

Recapitulando, la Huella Directa es el uso de agua (para aseo, limpieza) de la población universitaria que corre ante los ojos de las personas. Se trata de la mayoría de los usos de agua en cualquier tiempo y ubicación. Deben diferenciarse los componentes de la Huella Azul, Verde y Gris.

Para una correcta contabilidad de la Huella Directa, y para haber podido tener en cuenta todos los factores que existen en un sistema como la PUCP y que debieron ser tomados en cuenta, se estableció un balance hídrico del uso directo de agua y su HH, esto es la consideración de las entradas y salidas, así como las pérdidas de agua del sistema en estudio que en este caso sería la PUCP. Para una mejor comprensión de este balance hídrico, se elaboró la figura 7, donde las entradas de agua están conforman por tres fuentes de colores verde o azul, según se cuenten para la Huella Verde o Azul: el agua de precipitaciones (fuente que se considera para el cálculo de la Huella Verde), el abastecimiento principal de agua que es la

suministrada por SEDAPAL y el agua proveniente de su pozo (estas dos fuentes se consideran para el cálculo de la Huella Azul). Estas tres fuentes se encuentran seguidas de flechas de entrada hacia el sistema PUCP que tienen un tamaño de flecha proporcional a la cantidad de agua ingresante. Señaladas con flechas delgadas hacia afuera, están las evaporaciones que son de tres tipos: la cantidad de lluvia evaporada (lo que conforma la HH Verde), la cantidad de agua de riego que se evaporó y la evaporación de usos personales (estas dos evaporaciones juntas conforman la HH Azul).

Figura 7: Balance hídrico de la Huella Directa (Huella Verde y Azul) de la PUCP



Debe tenerse en cuenta que la Huella Gris es una cantidad de agua que no es real, es una cuantía simbólica necesaria para diluir el contaminante considerado, en consecuencia su cálculo no forma parte del balance hídrico de la universidad, por lo que no se incluye en la figura 7.

El agua de las salidas, es toda aquella que no es consumida. Luego de utilizada, es desechada y/o contaminada, se dirige a una Planta de Tratamiento de Agua residual de Lima (PTAR) y su destino final es el mar. Estas salidas son: agua de

riego, agua de usos personales y agua de laboratorios. La Huella Directa de la universidad vendría a ser la diferencia de las entradas menos las salidas de agua del sistema PUCP.

Huella Verde

Esta Huella es la más pequeña ya que como se señaló, se refiere al agua de la precipitación almacenada en el suelo y en la vegetación. Este es el volumen de agua evaporada de los recursos globales de agua (SuizAgua, 2012).

Para la cuantificación de la huella verde, se requirieron los siguientes datos:

- Superficie de cobertura de áreas verdes en el campus PUCP
- Datos promedio mensuales de precipitación de cada mes del año 2014 (estos datos conforman el agua de precipitaciones en el balance hídrico).

El dato de superficie de cobertura de áreas verdes se obtuvo de la página web de la PUCP. Los datos promedio mensuales de precipitación se solicitaron a la estación meteorológica Hipólito Unanue de la PUCP, los que fueron entregados en su totalidad. Con estos datos se halló, para cada mes, la precipitación efectiva (dato principal para hallar la Huella Verde) con la siguiente fórmula, que tiene dos opciones según sea el caso (si la precipitación en la región de estudio es menor o igual a 250 mm al mes, o si esta es mayor a 250 mm al mes). Estas dos opciones de fórmula están basadas en el método de precipitación efectiva del Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA SCS) (Hess, 2010), método utilizado por la WFN:

$$\begin{array}{ll} \text{a) } P_{\text{eff}} = P (125 * 0.2P) / 125 & \text{si } P \leq 250 \text{ mm} \\ \text{b) } P_{\text{eff}} = 125 + 0.1P & \text{si } P > 250 \text{ mm} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} \text{a) } \\ \text{b) } \end{array}} \right\} \text{*Hectáreas de} \\ \text{áreas verdes}$$

Donde:

P_{eff} = precipitación efectiva (en mm)

P = precipitación

La precipitación efectiva se define sencillamente como precipitación útil (absorbida por la vegetación) o aprovechable para la vegetación. La precipitación

no es necesariamente útil o conveniente en el momento, ritmo o la magnitud en la que la planta la recibe (FAO, s.f.).

Seguidamente, los doce datos de precipitación efectiva debieron convertirse de mm a m³/ha (multiplicando cada dato por 10 000 y luego dividiéndolo entre 1 000, o multiplicando el dato solo por 10). Este resultado debió multiplicarse por las hectáreas de áreas verdes del campus PUCP para obtener el resultado final en m³, unidad que indica un volumen de agua.

Entonces la fuente entrante de agua de precipitaciones del balance hídrico, es la entrada de agua con la que se calcula la Huella Verde. Esta Huella es la evaporación de agua de la escasa precipitación que existe en Lima. Ya que es tan escasa, cerca de toda la precipitación en su totalidad constituye la Huella Verde, por lo que este componente de la HH es muy pequeño.

Huella Azul

La fórmula general para hallar la Huella Azul es:

$$\text{Huella Azul} = \text{Afluyente para Huella Azul} - \text{Efluyente}$$

Donde:

Afluyente para Huella Azul son las fuentes de agua provenientes de SEDAPAL y del pozo que este maneja que ingresan y abastecen de agua potable al sistema PUCP.

Efluyente es, en este caso, toda el agua que ya ha sido utilizada por la comunidad universitaria para aseo, enseñanza en laboratorios, riego de las áreas verdes de la PUCP y que es desechada.

El resultado obtenido fue la diferencia del agua que ingresó (afluyente para el cálculo de la Huella Azul) al sistema PUCP menos el agua que se utilizó (efluente). Este resultado equivale al consumo que, tal como se ha explicado líneas arriba, es el agua evaporada de los usos de agua (Huella Azul).

Para efectos del cálculo del Afluyente para la Huella Azul se consideraron:

- a. Datos mensuales solicitados y obtenidos de la Dirección de Administración y Finanzas (DAF) de la universidad, relacionados al abastecimiento de agua por SEDAPAL durante el 2014.
- b. Datos mensuales solicitados y obtenidos de la Dirección de Infraestructura de la Oficina de Mantenimiento de la universidad, relacionados al abastecimiento de agua por el pozo de SEDAPAL durante el mismo año.

Para efectos del cálculo del Efluente de la Huella Azul se consideraron:

- a. **Usos personales de agua por parte de la comunidad universitaria**

Esta parte del trabajo de investigación, y la que más tiempo demandó, fue la recopilación de datos de hábitos de consumo de agua de la población universitaria, la cual se realizó con los siguientes métodos de recojo de información:

- **Encuesta virtual:** encuesta que contiene preguntas sobre los usos y hábitos que involucraron utilización de agua tales como el tiempo de duración de cada vez que se usó al día el lavatorio, las veces que se descargó el tanque del inodoro al día, usos extras que implicaron empleo de agua como lavado de trastes, entre otras. Esta encuesta fue enviada por correo electrónico a la población PUCP. Se coordinó con cada secretario académico o encargado afín de la mayoría de las facultades, para enviar un correo electrónico masivo a todos los estudiantes de cada facultad. Además se mandó correos electrónicos a los profesores en cada facultad cuya dirección de correo electrónico figuraba en la página web de la universidad. Esta encuesta, incluida en la sección Anexo, incluyó once preguntas (con un tiempo aproximado de respuesta de 4 minutos).
- **Encuestas realizadas personalmente** a alumnos, personal administrativo, personal de limpieza de instalaciones, autos, personal de cafeterías, entre otros que fueron aleatoriamente escogidos. Esta encuesta fue la misma que la que se envió por correo electrónico, la que igualmente se agregó en la sección Anexo.

a.1. Muestra para la identificación de usos de fuentes de agua de la comunidad universitaria

La población que se estudió y de donde se obtuvo una muestra de individuos para análisis fue la comunidad universitaria que se matriculó y/o trabajó en el campus PUCP en cualquiera de los tres ciclos del año académico 2014 (2014-0, de enero a febrero; 2014-1, de marzo a julio; y 2014-2, de agosto a diciembre) Como ya fue señalado anteriormente, se trató de un universo de 35 925 individuos.

La muestra se consideró en términos generales para cinco grandes grupos: estudiantes, docentes, predocentes, personal administrativo y personal obrero que trabajó en la universidad por medio de empresas proveedoras o concesionarias (personal de limpieza, de mantenimiento, agentes de seguridad, personal de cafetería, jardineros, entre otros). Estos cinco grupos se encontraron repartidos en las trece facultades y la escuela de posgrado, con sus respectivas cafeterías, además de otros centros como los señalados en el capítulo 3.

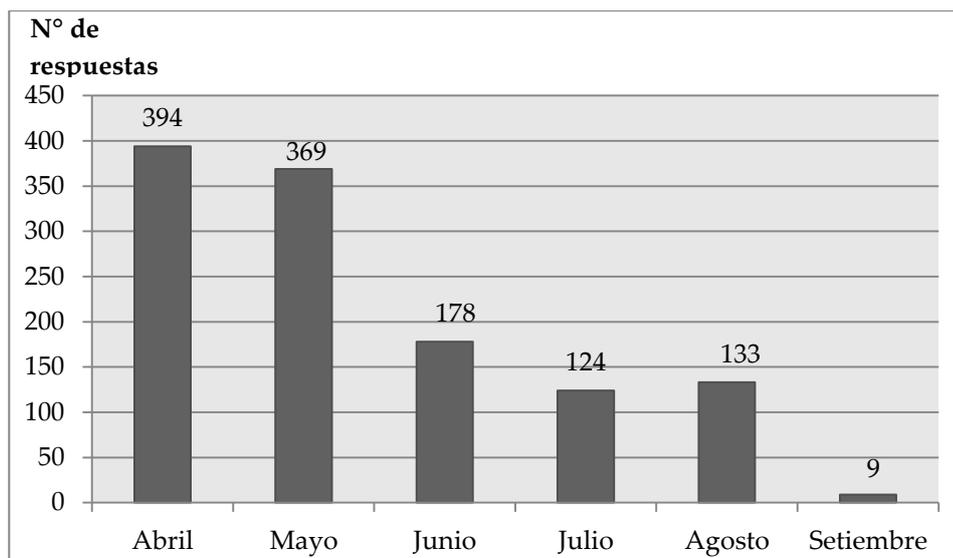
a.1.1. Delimitación de la muestra

Se ha determinado que el establecimiento de las encuestas de uso de agua por individuo que se llevaron a cabo, va a servir de delimitación y fijación del tamaño de la muestra. Del universo señalado, se tomó un subconjunto de la población total universitaria. Esta muestra de la población es probabilística o aleatoria, es decir, que todos los individuos de la población tienen la misma probabilidad de ser seleccionados (Sampieri et al., 2010).

Una de las herramientas más importantes para esta parte del análisis, ha sido la creación de la encuesta virtual que ha estado disponible por de 6 meses, tiempo que se ha tomado como referente para albergar el número de respuestas totales de la muestra. Asimismo, debe tomarse en cuenta que se entregaron encuestas de manera personal dentro del mismo lapso de tiempo señalado.

Se muestra en la figura 8 la frecuencia de respuestas recibidas en cada mes (abril-setiembre) lapso que la encuesta estuvo disponible en la web durante el año 2015:

Figura 8: Cantidad de respuestas de la encuesta virtual recibidas cada mes



El total de respuestas recibidas ascendió a 1207. El número de respuestas recibidas cada mes que la encuesta estuvo disponible fue disminuyendo, a excepción de agosto. Para el último mes disponible, el total de respuestas disminuyó considerablemente, no recibiendo más respuestas después de setiembre. Esto determinó que en el mes de octubre se retirara la encuesta disponible en la web. El tiempo de seis meses de disponibilidad de la misma, junto con una cantidad considerable de encuestas (140 aproximadamente) entregadas personalmente, determinó el número de la muestra del universo de la población universitaria para posterior análisis del consumo directo.

El número de respuestas recibidas virtualmente disminuyó en aproximadamente 88 respuestas (7.3%) debido a respuestas enviadas erróneamente, ya sea repetidas, incompletas o simplemente vacías. Al número final de encuestas virtuales se agregó la cantidad de encuestas personalmente efectuadas.

b. Uso de agua en laboratorios de enseñanza en el campus PUCP

En cuanto a los laboratorios con los que cuenta el campus, un consumo significativamente alto se da en tres de ellos (esto se estableció luego de consultar con docentes de algunas facultades, y confirmado por un docente de la facultad de Ingeniería) razón por la cual se eligieron. Estos tres laboratorios pertenecen a la

facultad de Ingeniería Civil, los cuales son el de Hidráulica, el de Estructuras Antisísmicas y el de Mecánica de Suelos. Los usos totales fueron dados por los profesores encargados del funcionamiento de cada laboratorio.

c. Uso de agua para riego de áreas verdes del campus PUCP

Para la cuantificación de este tercer componente del efluente se requirieron los siguientes datos:

- Área aproximada de la cobertura en las áreas verdes (pastos y árboles).
- Datos meteorológicos promedios mensuales para cada mes del año 2014 de humedad (%), horas de sol al día (horas/día), viento (km/día), temperatura mínima y máxima (°C).

Esta parte fue cuantificada con el software CROPWAT, este “es un software desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), basado en la ecuación FAO Penman-Monteith (Trezza, s.f.) para determinar el volumen de agua evapotranspirada por una serie de cultivos en distintas locaciones y contextos climáticos alrededor del mundo. Este software es utilizado por los investigadores de la WFN para la cuantificación de la Huella Verde y su uso no tiene costo (Huella de Ciudades, 2015). El software CROPWAT requiere los datos meteorológicos promedio mensuales anteriormente señalados, los que estuvieron disponibles para el campus PUCP. En un primer momento se consideró usar la información meteorológica de la estación Hipólito Unanue de la PUCP (la misma que se utilizó para calcular la Huella Verde) pero al no contar con todos los datos que el programa CROPWAT requiere para un posterior cálculo, se optó por recopilar los datos de la estación meteorológica de Lima-Callao Aeropuerto Internacional Jorge Chávez.

Una vez insertados los datos meteorológicos al programa CROPWAT para cada mes del año en estudio, además de datos de altitud, latitud y longitud de la estación meteorológica con la que se trabaja, el programa calcula automáticamente los datos de radiación y evapotranspiración (ET_o) de un cultivo referencial (alfalfa) que es similar (en cuanto a requerimientos de agua) a la vegetación

predominante en las áreas verdes del campus PUCP. La ETo del cultivo es un dato que resulta de la ecuación que refleja el intercambio de energía y del flujo de calor de grandes extensiones uniformes de vegetación (Allen et al., 1998). Este dato (ETo) está calculado por día, entonces debe multiplicarse por el total de días de cada mes para obtener la evapotranspiración mensual (mm/mes que luego se transformó a m³/ha).

Luego se debió introducir el coeficiente único del tipo de vegetación (K_c), este coeficiente integra los efectos de la transpiración del cultivo y la evaporación del suelo, esto es, incorpora las características del cultivo y los efectos promedios de la evaporación en el suelo. Asimismo representa un promedio de semanas o más tiempo, de la evaporación en el suelo y la transpiración (Íbid.). La FAO publicó una lista de valores K_c para varios tipos de vegetación. El tipo de vegetación predominante en las áreas verdes del campus PUCP es el pasto que presenta un K_c promedio de 0.9. También se tomó en cuenta el coeficiente de los árboles existentes en la universidad que es igual a 0.9 por lo que se mantiene el mismo decimal. Algunas principales especies arbóreas (en sus nombres comunes) son el ficus, la ponciana, la palmera hawaiana, el molle brasileño, el árbol del fuego, entre otros (Bruno, 2014).

Con estos datos se puede calcular el CWR (Crop Water Requirements), dato principal en esta sección. Este término se refiere a la estimación de la cantidad de agua que un cultivo utiliza teniendo en cuenta el efecto del clima y las características del cultivo. (Allen et al., 1998). Entonces la fórmula para hallar el CWR es la que sigue:

$$\checkmark \text{ CWR [m}^3\text{]} = \text{Kc} \times \text{ETo [m}^3\text{]}$$

Cuando se tiene el valor final del requerimiento de agua de la planta o CWR, se debe restar a este valor el de la Huella Verde. Esto significa que el requerimiento total de agua que tiene la planta es el agua de riego y la precipitación juntas, entonces para saber solamente el agua de riego, debió sustraerse el agua de precipitación o la Huella Verde.

Para calcular la Huella Azul se necesitó, como se observa en esta sección, un trabajo importante que encierra mucha información obligatoria para el cálculo de este componente. Sin embargo, como se verá más adelante, no es la Huella más significativa para la constitución de la HH.

Huella Gris

Recordando, la Huella Gris es el volumen (ficticio) de agua dulce requerido para diluir la carga de contaminantes hasta un punto en que la calidad de agua se encuentre dentro de los estándares aceptables (SuizAgua, 2012). Debe tomarse en cuenta que este estándar lo determina el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua, publicado en diciembre del 2015 por Decreto Supremo N°015-2015 MINAM.

La Huella Gris puede medirse según diferentes parámetros de contaminación. Para hallar esta Huella, se debe escoger el parámetro que requiera el mayor volumen de agua para ser diluido a un nivel aceptable establecido por la ley (ECA para agua). Se optó por la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) el cual es el parámetro de contaminación orgánico más utilizado y el más común en los desagües de la ciudad de Lima, principalmente en el sector doméstico y residencial (Luduvic, 2001), del cual el campus PUCP es parte. La DBO es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable (IDEAM, 2007). La DBO es uno de los criterios más utilizados para evaluar la calidad de agua (Jouanneau et al., 2014). La ecuación, que debe efectuarse en litros debido a que los datos de concentraciones son dados en litros, para hallar la huella gris es la siguiente:

$$\checkmark \quad \text{Huella Gris} = \frac{(\text{Vol del efl} * C \text{ del efl}) - (\text{Vol del afl} * C \text{ del afl})}{C_{\text{max}} - C_{\text{nat}}}$$

Donde:

- Vol del efl = volumen del efluente. Es el volumen del efluente descrito para la ecuación b en la cuantificación de la Huella Azul.

- $C_{del\ efl}$ = concentración del efluente en base al parámetro o contaminante usado para la cuantificación. Se refiere a la calidad de agua del efluente de la actividad con respecto al parámetro considerado. Se refiere al promedio de agua de 20 PTARs (Moscoso, 2011).
- $Vol\ del\ afl$ = volumen del afluente. Es el volumen del afluente descrito para la ecuación b en la cuantificación de la Huella Azul.
- $C_{del\ afl}$ = concentración del afluente. Se refiere a la calidad de agua potable que es distribuida en el campus tomando en cuenta el contaminante considerado. Esta es el promedio de las 2 bocatomas de la planta de tratamiento de agua La Atarjea perteneciente a SEDAPAL (MINSAL, 2011).
- C_{max} = concentración máxima del parámetro utilizado para la cuantificación en el cuerpo receptor según la normativa ambiental considerada. Esta cantidad está determinada por el ECA para agua, valor ubicado en la categoría 3, subcategoría D1.
- C_{nat} = Concentración natural libre de impactos antropogénicos del parámetro utilizado para la cuantificación. Esta concentración mide el DBO del río Rímac en la bocatoma laguna Ticticocha (MINSAL, 2011).

Todas estas variables son necesarias para el cómputo de la Huella Gris, que como se muestra más adelante, es una cantidad de agua muy grande.

4.2.2. Cálculo de la Huella Indirecta

En la Huella Indirecta ya se encuentran la Huella Azul, la Verde y la Gris indistintamente combinadas en el producto o bien. Para la cuantificación de esta Huella se consideraron tres elementos principales que son fuente Huella Indirecta (energía eléctrica, papel, alimentos). Entonces se necesita la cantidad de materiales y sus equivalencias hídricas correspondientes. Las equivalencias de los productos puede ser encontrados en la base de datos o bibliografía de la Water Footprint Network.

Para esta Huella se obtuvieron:

- a. Datos de consumo de energía eléctrica (una de las principales fuentes de agua indirecta en la universidad) solicitados a la DAF de la PUCP.
- b. Datos de consumo de papel (otra de las principales fuentes de agua indirecta en la universidad) solicitados a la DAF de la PUCP.
- c. Mediante las encuestas realizadas al personal de cafetería, se promedió dos de los menús más vendido en el año 2014, con la correspondiente entrada, refresco y adicional (pan u otro) de cada uno. Esto es para calcular el agua de consumo indirecto contenida en los productos alimenticios que se consumen en la PUCP.

4.3. Evaluación de la Sostenibilidad

Una vez que se encuentran realizados todos los cálculos y se tiene el valor de las HHs, se dio una interpretación a los datos hallados mediante la evaluación de la Sostenibilidad. De acuerdo a las dimensiones del concepto de Sostenibilidad explicado en el capítulo II, en este trabajo de investigación se abordaron solo las dimensiones ambiental y social, la económica no se analizó ya que para este estudio no se ha requerido ningún tipo de costos a la administración de la PUCP. Tampoco se ha solicitado ni manejado ningún tipo de facturación de agua. Se considera que las cuestiones económicas relacionadas al costo del agua que se usa en el campus universitario, son importantes para dicho uso, pero quedan fuera del ámbito de investigación del presente trabajo. Asimismo debe señalarse que dada la significancia de las Huellas Gris y Azul en este estudio, se analizó la Sostenibilidad de estas dos Huellas. La Huella Verde se dejó sin análisis debido a su exigua existencia en el campus PUCP.

La evaluación de Sostenibilidad debe hacerse a nivel de cuenca hidrográfica, esto significa que se debe tomar en cuenta la cuenca entera del río que abastece de agua al lugar de estudio. A este nivel es razonable comparar la Huella Azul estudiada con la disponibilidad del agua azul de la cuenca correspondiente al campus PUCP, o comparar la Huella Gris calculada y la capacidad de asimilación de contaminantes en el volumen de agua correspondiente a la universidad (Hoekstra et al., 2011). Igualmente, una buena evaluación de sostenibilidad temporal debe

ser mensual: los datos de escurrimiento y de HH deben estar preparados por cada mes (Ibíd.). Ya que el caudal de los ríos (del río Rímac en especial) y la asistencia al campus de la PUCP varían mensualmente. Por esta razón los resultados no son los mismos en el transcurso del año estudiado.

Sostenibilidad de la Huella Azul: dimensión ambiental

Para el análisis de Sostenibilidad ambiental de la Huella Azul, se requirieron los datos de escurrimiento natural de agua azul de la cuenca hidrográfica Rímac (se ha considerado como escurrimiento natural al caudal del río principal de esta cuenca, el río Rímac) que abastece de agua a la ciudad en estudio (Huella de Ciudades, 2015). En este caso se tomó como ciudad en estudio a la cuenca Rímac, y dentro de esta, una muy pequeña porción es el campus PUCP (el campus de la PUCP se ha estimado como un porcentaje del conjunto de los distritos que se encuentran dentro del área de la cuenca Rímac).

Otro dato requerido es el valor del requerimiento ambiental del ecosistema (también conocido como caudal ecológico o caudal ambiental). Este concepto se refiere a cierta cantidad de agua (que se encuentra distante de ser exactamente la misma para cada río) que se debe dejar intencionalmente para que el ecosistema tenga la cantidad, calidad y correcta distribución de los flujos de agua necesarios para sostener el funcionamiento de dicho ecosistema y el sustento y bienestar humanos dependientes de este (Hoekstra et al., 2011). La importancia de este concepto yace en la protección que se debe otorgar a los ecosistemas de agua dulce, así como al mantenimiento de los servicios y bienes provistos por estos ecosistemas (Arthington et al., 2006). Para establecer dicha cantidad de agua, no hay una proporción absoluta del caudal del río que debe asignarse para el requerimiento ambiental de un ecosistema (que en este caso es una cuenca hidrográfica) para todos los casos. Existe una prolija y variada bibliografía sobre numerosos métodos y técnicas que se aplican para establecer la porción y porcentaje del escurrimiento natural de agua que debe destinarse para el requerimiento ambiental de la cuenca, dependiendo de varias condiciones del río en estudio. Hay autores que deciden que la proporción destinada para el

requerimiento ambiental o caudal ecológico debe decidirse por temporada según las condiciones del río. Es así que un estudio destinó un mínimo de 55% y un máximo de 94% del caudal natural del río Amarillo (China) a requerimientos ambientales en la cuenca del mismo nombre según diferentes objetivos del estudio (Yang et al., 2009). Otros autores como Forlong en 1994 en ríos de Nueva Zelanda sustentan un porcentaje de 30% - 75% para requerimientos ambientales (I. G. Jowett, 1997). Donald L. Tennant en 1976 sostiene que un 30% del caudal destinado a requerimientos ambientales es un porcentaje satisfactorio (Ibíd.).

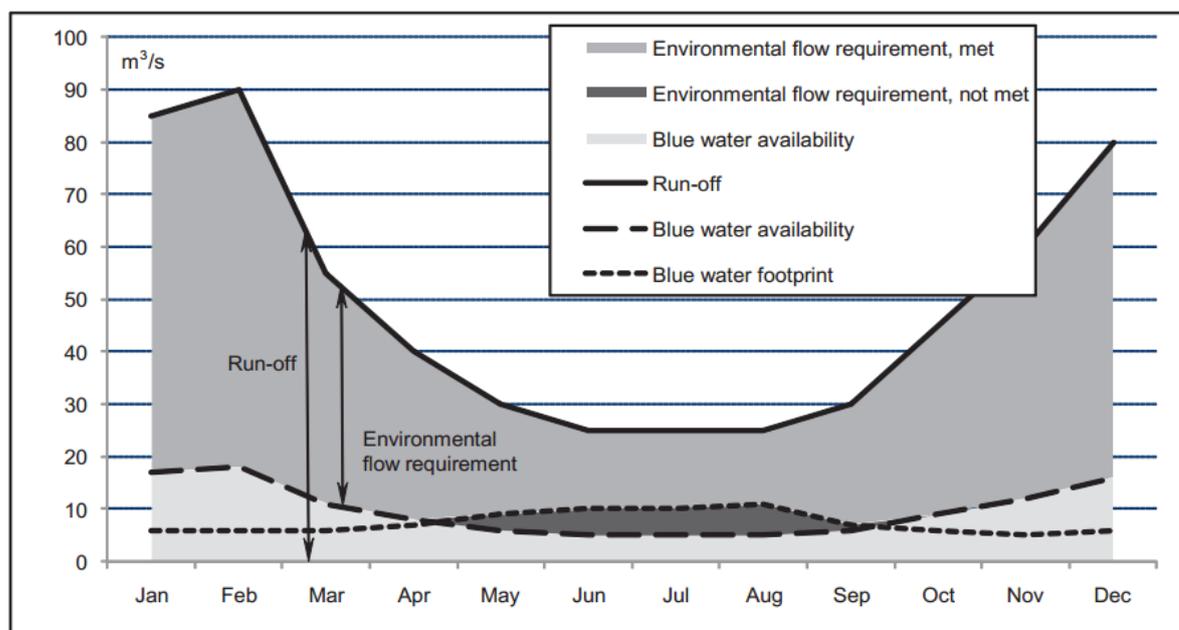
En este trabajo de tesis se tomó la “regla del 20%”. Este estándar se eligió ya que es sugerido por el creador del concepto de HH y del Manual de la metodología utilizada (Hoekstra et al., 2011) . Bajo la regla de 20%, se sostiene que el 80% del escurrimiento natural de agua azul se asigna para el requerimiento ambiental del ecosistema, entonces el 20% restante se considera como el agua disponible para uso humano, es decir la disponibilidad real, sin que esta consideración afecte la integridad del o los ecosistemas que dependan del recurso hídrico. Esta “regla” debe tomarse como una medida precautoria general (Hoekstra y Mekonnen, 2011). Existen otros autores que defienden este porcentaje, como D. Richter que sugiere proteger un 80% de los flujos diarios para mantener la integridad ecológica en la mayoría de ríos (Richter, 2011). Entonces un análisis de Sostenibilidad de la Huella Azul busca comparar lo siguiente:

- ✓ **Porcentaje de la disponibilidad de agua azul (el 20% del escurrimiento natural de agua) con la Huella Azul**

Los datos del escurrimiento natural de la cuenca deben ser mensuales para poder identificar hotspots ambientales. Los hotspots ambientales, como ya se señaló, son los periodos específicos y anómalos en el año en análisis en que la Huella Azul, componente de la HH, es mayor a la disponibilidad real de agua de la cuenca. En otras palabras, el requerimiento ambiental de la cuenca no está siendo respetado y se está usando agua que corresponde al ecosistema. Dicha Huella no es sostenible ambientalmente y debe ser reducida (Hoekstra et al., 2010). La figura 9 ilustra esta idea, en ella se observa la disponibilidad variante de agua durante un año. La HH

en este caso, para los meses de mayo-agosto aproximadamente sobrepasa sus límites de disponibilidad real, transgrediendo el requerimiento ambiental de la cuenca. Durante estos meses la HH sería insostenible ambientalmente.

Figura 9: Comparación de la HH con la disponibilidad de agua azul (caudal del río)



Fuente: Hoekstra et al., 2011

Sostenibilidad de la Huella Azul: dimensión social

En el marco del decenio que se mencionó en la sección de introducción del presente trabajo de investigación: Decenio Internacional para la Acción "El agua como fuente de vida" (2005-2015), la Asamblea General de las NU sobre el Derecho Humano al Agua y al Saneamiento, llevado a cabo en Julio del año 2010 (UN, s.f. a) establecieron un rango de volumen de agua referente a la cantidad mínima de agua dulce disponible para "las necesidades humanas básicas", esto es usos personales y domésticos tales como agua como bebida, lavado de ropa, preparación de alimentos, higiene personal y del hogar (UN, s.f. b). El rango de volumen de agua establecido por persona por día es entre 50-100 litros. Dicho volumen se tomó como estándar referencial para establecer la Sostenibilidad social de la Huella Azul. En este trabajo de tesis se comparó este volumen estándar con cada promedio de litros consumidos en un día de asistencia al campus PUCP de cada uno de los cinco grupos de población universitaria. El promedio de litros

consumidos en un día de cada tipo de población debe estar por encima del rango estándar, ya que este sirve para cubrir las necesidades básicas.

La razón de la aplicación de este rango de agua está en una de las principales características que las Naciones Unidas le atribuyó al uso del agua es que este uso debe ser **suficiente** y continuo para usos personales y domésticos (Ibíd.). El agua utilizada en el campus PUCP para uso personal y doméstico debe ser un uso secundario a la principal actividad ofrecida en el campus PUCP (la educación, atendimento a clases). Existen salvedades a esta principal actividad que no requiere uso de agua, como las materias que sí hacen uso de agua para actividades de enseñanza (clases en laboratorios, lavado de instrumentos de aprendizaje como en el caso de la Facultad de arte). Otra excepción es el uso del agua que tiene el personal obrero, ya que en su actividad principal en el campus PUCP, la que es su trabajo, interviene mucho el uso de agua (para limpieza de infraestructura, de autos, preparación de comida, riego, entre otros)

Sostenibilidad de la Huella Gris

Los datos requeridos y el procedimiento para el análisis de Sostenibilidad de esta HH son los mismos que en la dimensión ambiental de la Huella Azul. La comparación es la siguiente:

- ✓ **Porcentaje de la disponibilidad de agua azul (el 20% del escurrimiento natural de agua) con la Huella Gris.**

El porcentaje de la disponibilidad real del escurrimiento natural de agua de la cuenca, esto es el caudal del río Rímac, destinado para el funcionamiento del campus PUCP, se ha considerado que tiene por sí solo la capacidad de depuración, o de asimilación de la contaminación del agua generada por las actividades realizadas en la universidad (Huella de Ciudades, 2015).

La identificación de hotspots ambientales tienen la misma lógica que aquellos en la Huella Azul: son los periodos del año en que la contaminación hídrica, esto es la Huella Gris, sobrepasa la disponibilidad real de agua correspondiente para la

universidad, no siendo suficiente el volumen de agua para disolver los contaminantes generados por el campus PUCP.



CAPÍTULO V

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se exhiben los resultados de todos los cálculos realizados para la investigación obtenidos mediante la metodología propuesta. Luego se discuten dichos resultados según el análisis y cálculos realizados.

5.1. Resultados

5.1.1. Contabilidad de la Huella Hídrica

5.1.1.1. Cálculo de la Huella Directa

Huella Verde

Los cálculos de la Huella Verde, también entendida como Huella de precipitación, se presentan en la tabla 5.

Tabla 5: Datos mensuales para hallar la Huella Verde

Mes del 2014	Precipitación del 2014 [mm] ¹¹	Precipitación efectiva [mm]	Precipitación efectiva [m ³ /ha] ¹²	Área con vegetación [ha]	Huella Verde [m ³]
Enero	0	0	0	17.64	0
Febrero	0	0	0		0
Marzo	1.02	1.01	10.18		179.63
Abril	0	0	0		0
Mayo	0	0	0		0
Junio	0.25	0.24	2.49		44.08
Julio	0.25	0.24	2.49		44.08
Agosto	0	0	0		0
Setiembre	0	0	0		0
Octubre	0	0	0		0
Noviembre	0	0	0		0
Diciembre	0	0	0		0
Total	1.52	1.51	15.18	267.79	

Fuente: Por el autor

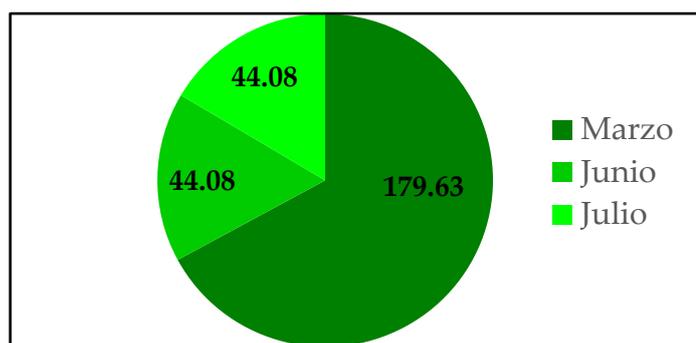
¹¹ mm: milímetros

¹² m³/ha: metros cúbicos por hectárea

La columna de la precipitación del 2014 con unidad de milímetros fueron los datos solicitados a la estación meteorológica de la universidad. Se observan datos mayores a cero sólo en tres meses (marzo, junio y julio). La columna de precipitación efectiva en unidades de milímetros presenta solamente, para los tres meses mencionados, los valores resultados de efectuar la fórmula a) (la primera opción de la fórmula para hallar la precipitación efectiva mostrada en la metodología de la Huella Verde). Se puede observar que hay una diferencia casi imperceptible de la precipitación del 2014 con respecto a la precipitación efectiva (pero finalmente la primera es mayor que la segunda). La columna de precipitación efectiva en unidades de metros cúbicos por hectárea muestra los mismos valores de la columna anterior convertidos de milímetros a metros cúbicos por hectárea (multiplicados por 10). La columna del área con vegetación de la PUCP no varía al tratarse siempre de la misma superficie estudiada. La columna de Huella Verde, y el valor final de esta, es el producto de la multiplicación de los datos de la columna de precipitación efectiva en m^3/ha por los de la columna de área con vegetación. Así se elimina la unidad de hectáreas y queda la Huella Verde en m^3 que es el valor de **267.8**, valor redondeado que en este caso coincide con el agua de precipitaciones.

Los únicos tres meses de precipitación en el año 2014 se muestran en la figura 10. Con respecto al total de precipitación anual, la precipitación del mes de marzo representa el 67%. Los meses de junio y julio presentan la misma cantidad de precipitación, con un 16% en cada mes.

Figura 10: Huella Verde en m^3 de los tres meses de precipitación en el año 2014



Huella Azul

Para el cálculo de la Huella Azul, debe tomarse en cuenta el afluente para el cálculo de la Huella Azul que constituye dos fuentes entrantes de agua al sistema PUCP (agua de SEDAPAL y agua del pozo de SEDAPAL), y restarle el efluente, como lo establece la fórmula para hallar la Huella Azul. Las fuentes de entrada que componen el afluente son:

a. Datos mensuales relacionados al abastecimiento de agua por SEDAPAL durante el 2014

Los datos recibidos de la Dirección de Administración y Finanzas de la PUCP sobre el abastecimiento de agua por SEDAPAL, se registraron en la tabla 6.

Tabla 6: Abastecimiento mensual de agua en el campus PUCP proveniente de SEDAPAL en el año 2014

Mes del 2014	Consumo total (m ³)
Enero	32 852
Febrero	31 798
Marzo	33 029
Abril	37 484
Mayo	37 025
Junio	35 782
Julio	35 961
Agosto	28 472
Setiembre	32 210
Octubre	32 971
Noviembre	34 520
Diciembre	32 917
TOTAL	405 021

Fuente: Dirección de Administración y Finanzas de la PUCP

b. Datos mensuales relacionados al abastecimiento de agua por el pozo de SEDAPAL durante el mismo año.

Se presenta en la tabla 7 los datos del abastecimiento por el pozo de SEDAPAL, entregados por la Oficina de Mantenimiento de la Dirección de Infraestructura de la PUCP. Estos datos no son los correspondientes al año 2014. Al solicitar dicha información se conoció que SEDAPAL contaba a la fecha con un medidor de agua

que no funcionaba correctamente desde mediados del año 2013, marcando una misma cifra todos los meses hasta la actualidad.

Tabla 7: Abastecimiento mensual de agua en el campus PUCP proveniente del pozo perteneciente a SEDAPAL en el año 2014

Mes y año	Consumo total (m ³)
Julio del 2012	7 743
Agosto del 2012	7 196
Setiembre del 2012	9 756
Octubre del 2012	7 257
Noviembre del 2012	9 805
Diciembre del 2012	12 166
Enero del 2013	11 196
Febrero del 2013	12 000
Marzo del 2013	16 554
Abril del 2013	16 461
Mayo del 2013	14 956
Junio del 2013	14 664
TOTAL	139 754

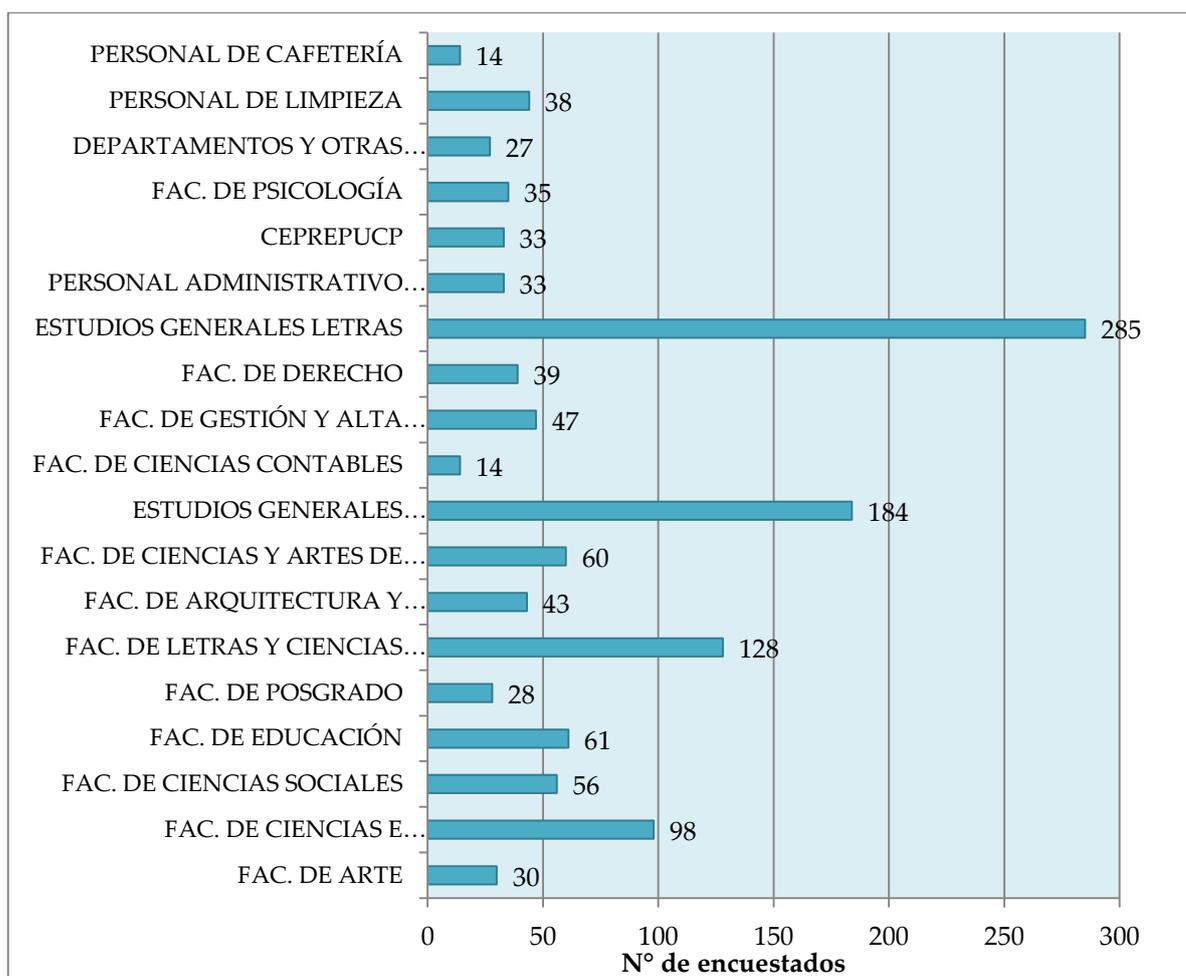
Fuente: Dirección de Infraestructura-
Oficina de Mantenimiento de la PUCP

Para el cálculo del efluente (las salidas de agua del sistema PUCP), dato que se resta del afluente para la Huella Azul, se consideran los siguientes usos:

a. Usos personales de agua por parte de la comunidad universitaria

A continuación se muestra el total de encuestas realizadas en la PUCP, durante agosto y noviembre del año 2015, con respecto a usos del año 2014. Como ya se mencionó, las entrevistas se efectuaron de manera electrónica y personalmente. La entrevista virtual se elaboró y subió a la plataforma de Google Drive, como un documento de tipo Google Forms. El link de la encuesta es lo que se difundió por correos electrónicos. La entrevista personal se realizó con la encuesta impresa, la cual se repartió entre la población universitaria. Las respuestas totales de personas encuestadas sobre usos de agua, para cada unidad administrativa, se muestran en la figura 11.

Figura 11: N° de personas encuestadas según unidades administrativas de la PUCP



Se presentan diecinueve unidades administrativas. El total de los encuestados asciende a 1 259. El número mayor de encuestados se encuentra en Estudios Generales Letras con un 22.6% del total de encuestados, seguido de la otra facultad de Estudios Generales Ciencias, representando un 14.6% del total de encuestados. En el otro extremo, se ubica la facultad de Ciencias Contables y el personal que trabaja en cafeterías, las dos unidades con el mismo y menor número de encuestados, representando un 1.1% del total de encuestados.

Para calcular los resultados se reagrupó posteriormente el total de respuestas de las encuestas en cinco grandes grupos, esto según la información disponible de tipos de población de la PUCP y fuentes personales, los cuales son:

- **Alumnos:** se incluyó los alumnos del centro preuniversitario de la PUCP, los de pregrado, que incluyen los de intercambio nacional e internacional, y los de posgrado (maestrías y doctorados).
- **Personal docente:** aquí se incluyó a los profesores, cualquiera que sea su tiempo de trabajo en la PUCP (tiempo parcial por asignatura, tiempo parcial convencional o tiempo completo)¹³.
- **Personal predocente:** se incluyen a los jefes de práctica. Sus horas asistidas son equivalentes al tiempo parcial por asignaturas de los docentes.
- **Personal administrativo:** Se consideró en este grupo, a los trabajadores administrativos de la universidad, trabajadores de diversas unidades académicas, del Centro de Salud, del CAPU, entre otros.
- **Personal obrero:** se cuenta al personal de seguridad, de mantenimiento, de limpieza, los trabajadores en la zona de estacionamiento (limpian vehículos), los que laboran en las cafeterías, los anfitriones de Los Portales, entre otros.

Se necesitaron los siguientes datos para calcular los resultados:

- Información uniformizada y promediada de las respuestas, trabajadas en el programa Excel.
- Información sobre el calendario académico de inicio y fin de actividades 2012-2017 en lo referido a la duración y cantidad exacta de las semanas y los días con los que cuentan los ciclos en análisis: 2014-0 (verano), 2014-1 y 2014-2. Según este documento, el ciclo de verano tuvo una duración de 5.86 semanas, con 41 días calendario. Los ciclos regulares 2014-1 y 2014-2 tuvieron una misma duración de 16.86 semanas, con 118 días calendario cada uno (PUCP, s.f b).
- Información acerca del suministro del agua (potencia y flujos de agua) y grifería obtenida gracias al gasfitero de la PUCP, el Sr. Sermeño¹⁴, y algunos datos (como la potencia del bebedero y caños de baños) fueron calculados por experiencia propia.

¹³ Esta distinción se dio gracias al ingeniero Edric Jugo de la Oficina de Estadística de la Dirección de Informática de la PUCP.

¹⁴ Abel Sermeño, comunicación personal, octubre-diciembre del 2015.

Los promedios numéricos de cada respuesta a las preguntas realizada a los encuestados de cada tipo de población universitaria se muestran en las tablas 8-10.

Tabla 8: Promedios de respuestas de alumnos a preguntas de la encuesta

1	Preguntas de la encuesta	Alumnos Pregrado (N° = 830)	Alumnos Posgrado (N° = 28)	Alumnos CEPREUCP (N° = 26)
2	Horas asistidas en ciclo 2014-0 al día	7.23	6.85	7
3	Hora asistidas en ciclo 2014-1 al día	5.94	5.72	6
4	Horas asistidas en ciclo 2014-2 al día	6.03	7.76	7
5	Tiempo (en segundos) de veces de lavado de manos al día	82.83	64.42	88.6
6	Litros/día usados en lavado de manos (segundos de duración de lavado por 0.2 litros/segundo)	16.57	12.88	17.72
7	Descargas del inodoro o urinario por día	2.74	2.50	2.19
8	Litros de descargas de tanque o urinario por día (descarga/día por promedio de 4.75 litros/descarga)	13.02	11.88	10.41
9	Litros usados en lavados extras de cara y dientes (segundos de duración de lavados extras por 0.2 litros/segundo)	15	8.40	22
10	Litros de otros usos por día (segundos de duración de lavados extras por 0.2 litros/segundo)	1	1	0
11	Litros de uso de ducha por 0.18 litros/segundo	1.62	0	0

Fuente: Por el autor

Se ha considerado a tres grupos de alumnos, debido a asistencias con periodos de tiempo distintas durante cada uno de los tres ciclos académicos. Según horarios observados para cada grupo de alumnos, se ha considerado en promedio una asistencia de tres días para alumnos de Pregrado y Posgrado, y una asistencia de cinco días para alumnos de CEPREUCP durante el ciclo 2014-0. Es por esa razón que el promedio de asistencia de horas semanales se ha dividido entre 3 o 5 según sea el caso. El valor numérico que aparece en las filas 2-4 es resultado de esta división. El promedio de asistencia para los ciclos 2014-1 y 2014-2 es el mismo para alumnos de Pregrado y CEPREUCP: 5 días por semana, y para alumnos de Posgrado es de 3 días por semana.

La fila 5 representa la multiplicación de las veces de lavado de manos por la duración de este lavado para obtener los segundos totales de lavado de manos al día. La fila 6 es la multiplicación del valor de la fila 5 por el flujo de agua por segundos que el caño de tipo controlado del lavatorio tiene en promedio (0.2 litros/segundo) para obtener el volumen total de agua por lavado de manos.

El valor de la fila 7 es el promedio de las veces que se descargó el inodoro o urinario (inodoro para mujeres y urinario para hombres). En la fila 8 se multiplican las veces promedio de descarga del inodoro o urinario por el promedio de la descarga (4.75 litros) del tanque del inodoro que utilizan las mujeres (7 litros) y la descarga del urinario utilizado mayormente por los varones (2.5 litros). Esto es para conseguir el volumen de agua total de descargas de urinarios o inodoros. Cabe aclarar que las cantidades de descarga de inodoro y urinario para las mujeres y los varones son un promedio de estos en edificios antiguos y nuevos. En edificios antiguos se da una descarga de 8 y 3 litros respectivamente. En edificios nuevos la descarga es de 6 y 2 litros respectivamente.

En la fila 9 se multiplica el tiempo en segundos de lavados de cara y dientes por el flujo del caño del lavatorio para lograr el volumen de agua resultante de lavado de cara y dientes. La fila 10 muestra otros usos de agua (lavado de artículos de dibujo, de instrumentos, utensilios de cocina, entre otros) utilizando el agua que sale del lavatorio, usos que se multiplican por el flujo de agua del caño del lavatorio para obtener el resultado en litros de usos extras de agua. Por último, en la fila 11 se multiplica el tiempo de uso de ducha (que es más utilizada por los estudiantes en el campus universitario de lo que puede pensar) por el flujo del agua de esta para tener el resultado del volumen de agua ocasionado por el uso de duchas.

Tabla 9: Promedios de respuestas de docentes y jefes de práctica a preguntas de la encuesta

1	Preguntas de la encuesta	Docentes (N° = 251)	Jefes de práctica (N° = 32)
2	Horas asistidas en ciclo 2014-0 al día	6.34	4.95
3	Horas asistidas en ciclo 2014-1 al día	7.65	4.7
4	Horas asistidas en ciclo 2014-2 al día	7.71	4.09
5	Tiempo (en segundos) de veces de lavado de manos al día	66.49	62.93
6	Litros/día usados en lavado de manos (segundos de duración de lavado por 0.12 litros/segundo)	7.98	7.55
7	Descargas de tanque o urinario por día	2.37	2.17
8	Litros de descargas de tanque o urinario por día (descarga/día por promedio de 4.75 litros/descarga)	11.26	10.31
9	Litros usados en lavados extras de cara y dientes (segundos de duración de lavados extras por 0.12 litros/segundo)	7.10	4.32
10	Litros de otros usos por día (segundos de duración de lavados extras por 0.12 litros/segundo)	0.44	0.43

Fuente: Por el autor

La tabla 9 representa las respuestas de los docentes y los jefes de práctica. Se juntaron estos dos tipos de población debido a que los dos tienen la consigna de enseñar. Además tienen usos de agua personales parecidos. Para los tres ciclos académicos se ha estimado un promedio de tres días de asistencia a la semana para los docentes y un promedio de dos días de asistencia a la semana para los jefes de práctica, esto se justifica por los comentarios de los encuestados y por los horarios universitarios que se observó personalmente de estos dos grupos por años.

Los procedimientos registrados en la tabla 9 son los mismos que en la tabla 8, con la excepción de que el flujo del caño de lavatorio de tipo manual para los profesores y jefes de práctica es de 0.12 l/s. Se eliminó el uso de la ducha porque no hubo ninguna respuesta mayor a cero en estos dos grupos de la comunidad universitaria.

Tabla 10: Promedio de respuestas de personal administrativo, obreros y trabajadores en la zona de estacionamiento a preguntas de la encuesta

1	Preguntas de la encuesta	Adminis- trativos (N° = 125)	Obreros (N° = 76)	Trabajadores en la zona de estacionamien- to (N° = 9)
2	Horas asistidas en el año 2014	7.27	8.75	8.35
3	Tiempo (en segundos) de veces de lavado de manos al día	96.93	188.75	172.27
4	Litros/día usados en lavado de manos (segundos de duración de lavado por 0.12 litros/segundo)	19.39	37.73	34.45
5	Descargas de tanque o urinario por día	2.95	4.4	3.38
6	Litros de descargas de tanque o urinario por día (descarga/día por promedio de 4.75 litros/descarga)	14.01	20.9	8.45
7	Litros usados en lavado de cara, dientes, platos y regado de plantas (segundos de duración de lavado por 0.12 litros/segundos). Solo cara y dientes para administrativos	9.83	254	90
8	Segundos de uso de ducha por 0.18 litros/segundo	0	91.29	108
9	N° de ambientes y baños que limpia por día (aulas y oficinas) (solo operarios de limpieza)	16.11		
10	Litros usados en la limpieza por día, (solo operarios de limpieza)	1.77		
11	Litros de descarga del inodoro para limpieza de baños al día por 4.75 litros, (solo operarios de limpieza)	23.75		
12	Vehículos que limpia por día por litros usados por vehículo (solo trabajadores en la zona de estacionamiento)			107.8

Fuente: Por el autor

En la tabla 10 se muestran los valores de las respuestas de administrativo, obreros y trabajadores de la zona de estacionamiento. Un pequeño subgrupo que se ubicó dentro del tipo de población obreros son los lavadores de carros. En la tabla 10 se separa y se muestra este grupo de trabajadores debido a su peculiar situación laboral: no son contratados ni por la universidad ni por empresa proveedora o concesionaria alguna. Otra razón para su separación es la importante cantidad de agua utilizada por los individuos de este grupo.

Se incluyeron preguntas destinadas solo para un tipo de población. Estas están explícitamente señaladas: las tres penúltimas preguntas están dirigidas solo para los operarios de limpieza dentro del grupo de obreros. La última pregunta está dirigida solo al grupo de los trabajadores en la zona de estacionamiento. En el caso de estos tres grupos, se ha considerado que laboran en promedio seis días a la semana igualmente en los tres ciclos académicos, por lo que se incluye una sola pregunta respecto de las horas asistidas a la semana para el año 2014. El procedimiento para cada pregunta es esencialmente el mismo que el elaborado en las tablas 8 y 9.

Una diferencia mostrada en la tabla 10 es que el promedio de veces de descarga de tanque o urinario por día para el grupo de trabajadores en la zona de estacionamiento solo se multiplicó por 2.5 litros, cantidad promedio de descargas de urinarios ya que este grupo está conformado en su totalidad por varones, por lo que se ha considerado un solo promedio de solo urinario. Otra diferencia es que hay más usos en el lavatorio como el lavado de platos y el regado de plantas (entiéndase macetas o plantas de interiores). El uso de la ducha es muy extendido en los tipos de población obreros y trabajadores en la zona de estacionamiento. Se suma la cantidad de litros de las tablas anteriores para cada tipo de población universitaria y los totales aparecen en la tabla 11.

Tabla 11: Litros por persona por tipo de población universitaria

Tipo de población	Personal obrero	Alumnos	Personal administrativo	Docentes	Jefes de práctica
Litros por persona	389.07	43.5	43.23	26.77	22.71

Fuente: Por el autor

Seguidamente, se muestran las tablas 12-16, cada una para cada tipo de población universitaria para el año 2014. En todas estas tablas se muestran los días de asistencia a la PUCP, los litros por persona y los m³ de agua utilizados por persona (se señalan cifras en litros cuando la cantidad de agua usada es baja. Se utilizan metros cúbicos cuando la cantidad de agua usada es muy grande). También se incluye la cantidad de personas de cada tipo de población universitaria, el valor

total de litros de agua de cada tipo de población de la PUCP y este último valor en m³.

Tabla 12: Total de litros por persona y totales utilizados por el alumnado en cada semestre académico y en todo el año 2014

Ciclo académico	Días por ciclo	Litros por persona	m ³ por persona en el ciclo	Cantidad de personas	Cantidad total de litros	Cantidad total en m ³
2014-0	17.58	764.73	0.76	28 705	232 476 915	232 476.92
2014-1	84.3	3 667.05	3.67			
2014-2	84.3	3 667.05	3.67			
Total	186.18	8 098.83	8.10			

Fuente: Por el autor

Se ha estimado que para el ciclo 2014-0, la asistencia del alumnado a la universidad presenta un promedio de tres días por semana, esta es la cifra de días en los horarios dados en las facultades, además es la cifra máxima de días de dictado de clases que se encuentra permitida para este periodo. La cifra de la columna de días por ciclo es el producto de las semanas de dictado en el ciclo por tres. Es el mismo procedimiento para los ciclos 2014-1 y 2014-2, con la diferencia que el promedio de asistencia por el alumnado para estos dos ciclos es de cinco días a la semana, por lo que el número en la columna de días por ciclo se multiplica por el total de semanas de ciclo por cinco.

Las columnas con la cantidad de personas, la cantidad total de litros y esta cantidad en metros cúbicos es solamente una cifra por columna ya que en total se maneja una cifra de alumnos totales en el año. La fila de los totales es la suma de cada dato de las tres primeras columnas. La cantidad total de litros se halla multiplicando el total de días por ciclo por los litros por persona de la tabla 12 por la cantidad de personas del tipo de población universitaria.

Tabla 13: Total de litros por persona y totales utilizados por los docentes en cada semestre académico y en todo el año 2014

Ciclo académico	Días por ciclo	Litros por persona	m ³ por persona en el ciclo	Cantidad de personas	Cantidad total de litros	Cantidad total en m ³
2014-0	17.58	470.62	0.47	2 223	7 066 182.97	7 066.18
2014-1	50.58	1 354.03	1.35			
2014-2	50.58	1 354.03	1.35			
Total	118.74	3 178.67	3.18			

Fuente: Por el autor

Para los profesores se ha dado un promedio de tres días de asistencia por semana para los tres ciclos del 2014, esto se estableció así debido a promedios de las respuestas de los profesores a la encuesta. Los demás datos han tenido el mismo procedimiento de la tabla 12.

Tabla 14: Total de litros por persona y totales utilizados por los jefes de práctica en cada semestre académico y en todo el año 2014

Ciclo académico	Días por ciclo	Litros por persona	m ³ por persona en el ciclo	Cantidad de personas	Cantidad total de litros	Cantidad total en m ³
2014-0	11.72	264.99	0.26	1 600	2 863 692.16	2 863.69
2014-1	33.72	762.41	0.76			
2014-2	33.72	762.41	0.76			
Total	79.16	1 789.81	1.79			

Fuente: Por el autor

En cuanto a los jefes de práctica se ha proporcionado un promedio de dos días de asistencia a la semana en los tres ciclos académicos, esto debido al conocimiento de sus posibles horarios y de las respuestas a la encuesta. Luego son los mismos procedimientos de las tablas 12 y 13.

Tabla 15: Total de litros por persona y totales utilizados por el personal administrativo en cada semestre académico y en todo el año 2014

Ciclo académico	Días por ciclo	Litros / persona	Litros / persona en el ciclo (m ³)	Cantidad de personas	Cantidad total de litros	Cantidad total de litros (m ³)
2014-0	35.16	1 539.21	1.54	2 787	28 974 222.5	28 974.22
2014-1	101.16	4 428.50	4.43			
2014-2	101.16	4 428.50	4.43			
Total	237.48	10 396.20	10.4			

Fuente: Por el autor

Los días de asistencia por semana para el personal administrativo son seis por semana en los tres ciclos académicos. Los procedimientos en la tabla 15 son los mismos que en las tablas 12-14.

Tabla 16: Total de litros por persona y totales utilizados por el personal obrero en cada semestre académico y en todo el año 2014

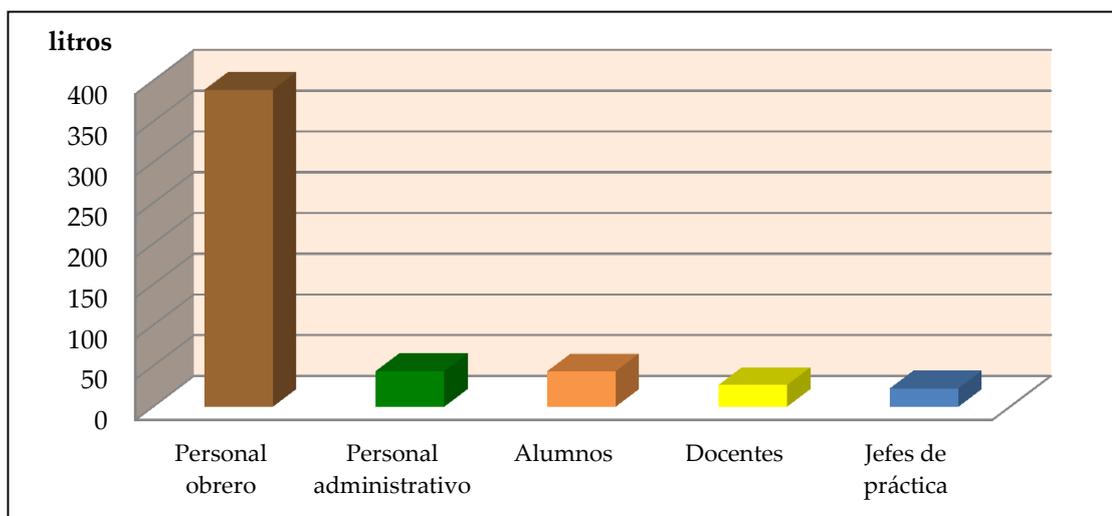
Ciclo académico	Días por ciclo	Litros / persona	Litros / persona en el ciclo (m ³)	Cantidad de personas	Cantidad total de litros	Cantidad total de litros (m ³)
2014-0	35.16	13 679.7	13.7	610	55 437 806.2	55 437.81
2014-1	101.16	39 358.32	39.43			
2014-2	101.16	39 358.32	39.43			
Total	237.48	92 560.20	92.56			

Fuente: Por el autor

Para el personal obrero se ha estimado un promedio de seis días de asistencia a la semana para cada uno de los tres ciclos académicos. Los procedimientos realizados en la tabla 16 son los mismos que en las tablas 12-15. La suma de la cantidad total de litros de todos los tipos de población (tablas 12-16) alcanza los **326 829 m³**.

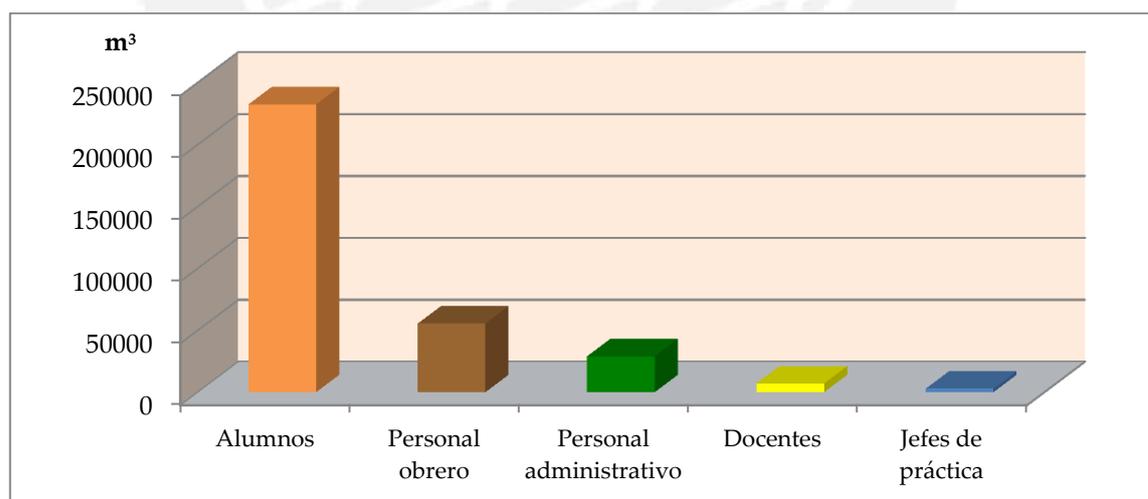
Se muestra en la figura 12 el total de m³ por persona al día utilizados en usos personales de agua, y en la figura 13 el promedio anual de litros usados por cada tipo de población universitaria en el año 2014:

Figura 12: Volúmenes totales por persona al día de usos de agua en litros en el año 2014



El mayor volumen total de litros diarios por persona de usos de agua le pertenece en primer lugar al personal obrero, luego se encuentra el alumnado, en tercer lugar está el personal administrativo, en cuarto lugar se encuentran los docentes y por último están los jefes de práctica con la menor asistencia de días por semana y por ende de uso de litros de agua.

Figura 13: Volúmenes totales anuales de agua utilizada en m³ por cada tipo de población universitaria



El orden de mayor y menor uso de agua del total de litros diarios por persona al día indicado en la figura anterior cambia cuando se saca el volumen total anual por tipo de población universitaria. Se debe tomar en cuenta la cantidad de

personas en cada tipo de población y sus días de asistencia a la semana durante cada ciclo académico del año 2014, junto con el total de litros diarios por persona, para llegar al volumen total en metros cúbicos de cada tipo de población. Es así que, como se muestra en la figura 13, el mayor promedio lo tiene el alumnado (por ser un enorme número de población), en segundo lugar se ubica el personal obrero, luego se encuentra el personal administrativo, seguido de los docentes y por último se sitúan los jefes de práctica.

b. Uso de agua en laboratorios de enseñanza en el campus PUCP

El segundo componente del efluente está conformado por las cantidades mostradas en la tabla 17 que son las utilizadas por cada laboratorio durante el periodo de un año (2014). La mayor cantidad de agua usada se encuentra en el laboratorio de mecánica de suelos, la que es cercana al laboratorio de hidráulica. Estructuras antisísmicas presenta el menor uso de agua.

Tabla 17: Cantidad de agua usada por los laboratorios PUCP

Laboratorio	Cantidad de agua (m ³ /año)
Mecánica de Suelos	120
Hidráulica	100
Estructuras antisísmicas	60
TOTAL	280

Fuente: Por el autor

c. Uso de agua para riego de áreas verdes del campus PUCP

Para el tercer componente del efluente se presentan los datos trabajados en el software CROPWAT. Para hallar el uso de agua para regar las áreas verdes de la universidad, los datos están representados en la tabla 18. Las columnas de esta tabla con encabezado de input son los datos que se introducen al software. Así se tiene: la temperatura mínima y máxima en grados Celsius, la humedad en porcentaje, el viento en unidad de kilómetros por día y las horas sol en unidad de kilómetros por día. Las columnas con encabezado de output (en negrita) son los datos calculados por el software automáticamente (una vez que se ingresan los datos de las columnas de input) . Se tiene: la radiación en unidad de megajoules (o

megajulios) por metro cuadrado por día y la evapotranspiración en unidad de milímetros por día. La columna de días por mes muestra el número de días que tiene cada mes. La última columna de ETo es el producto de la multiplicación del número de días del mes por la evapotranspiración (ETo) en milímetros por día. Esto es el total para cada mes, para tener el resultado de la evapotranspiración en milímetros por mes. La última fila muestra los promedios de cada columna de datos.

Tabla 18: Datos mensuales del uso de agua para riego calculados en el software CROPWAT

Mes	Input					Output		Días por mes	ETo (mm /mes)
	Min Temp (°C)	Max Temp (°C)	Humedad (%)	Viento (km /día)	Horas sol (horas /día)	Radia -ción (MJ/m ² /día)	ETo (mm /día)		
Enero	20.9	27.4	80	350	5.1	18.1	4.1	31	127.1
Febrero	20.2	26.9	79	281	6.0	19.4	4.19	28	117.32
Marzo	20.2	26.9	80	295	6.2	19	4.09	31	126.79
Abril	17.7	23.4	84	293	5.8	16.9	3.15	30	94.5
Mayo	19.2	23.3	79	329	3.9	12.7	2.94	31	91.14
Junio	19	22.6	79	331	1.4	8.8	2.56	30	76.8
Julio	15.8	18.9	84	298	1.0	8.55	1.96	31	60.76
Agosto	15.1	18.8	84	305	0.9	9.3	2.02	31	62.62
Setiembre	15	19.3	84	300	1.4	11.1	2.24	30	67.2
Octubre	16.1	20.8	82	324	2.5	13.6	2.75	31	85.25
Noviembre	17.6	22.6	80	324	3.7	15.8	3.28	30	98.4
Diciembre	18.5	24.2	79	362	4.8	17.6	3.72	31	115.32
Promedio	17.9	22.9	81.1	316.0	3.6	14.2	3.1		93.6

Fuente: Por el autor

Seguidamente, se tabulan los datos obtenidos en la tabla 19. Se convierten los datos de la columna de ETo de milímetros por mes a metros cúbicos por hectárea (multiplicándolo por 10) en la columna de ETo en m³/ha. En la columna del coeficiente único de vegetación (Kc) se introduce el valor de 0,9. La siguiente columna de CWR en m³/ha es el producto de la multiplicación de los valores de la columna Kc con los valores de la columna ETo en m³/ha. Los valores de la columna siguiente de CWR en m³ son el producto de multiplicar los valores de la

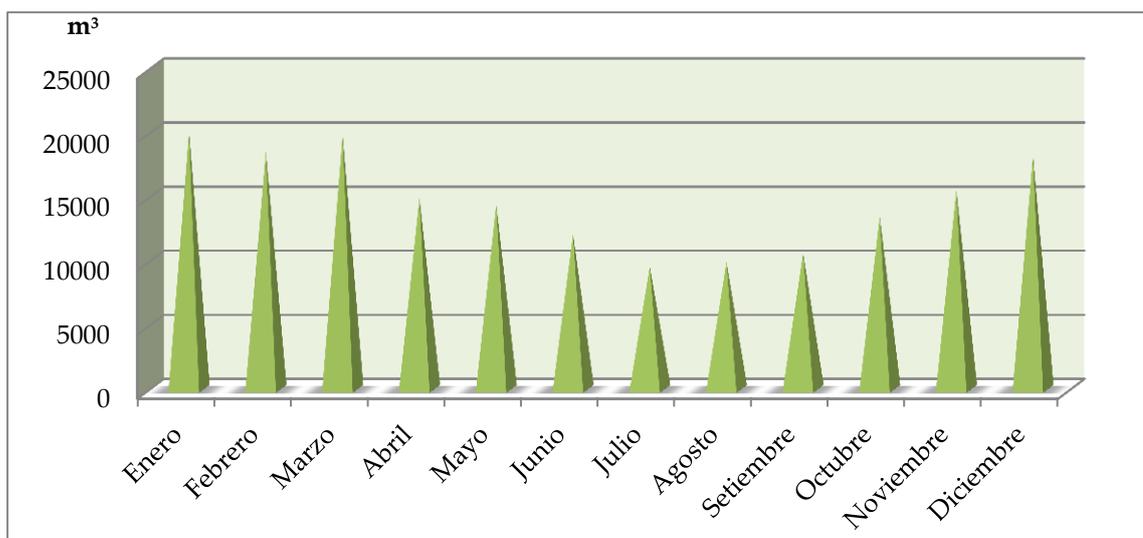
columna de CWR en m³/ha por las hectáreas del campus PUCP (17.54 has). La columna de Huella Verde muestra el valor de esta Huella ya calculada que se restará al valor CWR en m³ (en los meses en donde hay Huella Verde) para obtener el resultado final de cantidad de agua de riego para áreas verdes. En la última fila se muestra el total de agua de riego, esto es la suma de esta agua de riego de los doce meses del año 2014. Los resultados del agua de riego de áreas verdes se plasmaron en la figura 14 para una mejor apreciación de esta agua de riego en cada mes del año 2014.

Tabla 19: Variables y total del uso de agua para riego de áreas verdes

Mes del 2014	ETo (mm /mes)	ETo (m ³ /ha)	Kc	CWR (m ³ /ha)	CWR (m ³)	Huella Verde (m ³)	Agua de riego áreas verdes (m ³)
Enero	127.1	1 271	0.9	1 143.9	20 064.01	0	20 064.01
Febrero	117.32	1 173.2	0.9	1 055.88	18 520.14	0	18 520.14
Marzo	126.79	1 267.9	0.9	1 141.11	20 015.07	179.63	19 835.44
Abril	94.5	945	0.9	850.5	14 917.77	0	14 917.77
Mayo	91.14	911.4	0.9	820.26	14 387.36	0	14 387.36
Junio	76.8	768	0.9	691.2	12 123.65	44.08	12 079.57
Julio	60.76	607.6	0.9	546.84	9 591.57	44.08	9 547.49
Agosto	62.62	626.2	0.9	563.58	9 885.19	0	9 885.19
Setiembre	67.2	672	0.9	604.8	10 608.19	0	10 608.19
Octubre	85.25	852.5	0.9	767.25	13 457.57	0	13 457.57
Noviembre	98.4	984	0.9	885.6	15 533.42	0	15 533.42
Diciembre	115.32	1 153.2	0.9	1 037.88	18 204.42	0	18 204.42
Total agua de riego							177040.56

Fuente: Por el autor

Figura 14: Valores del consumo de agua de riego de áreas verdes en m³ en el año 2014



El total de la Huella Azul es de **40 635 m³**, este total resulta de la diferencia del afluente para el cálculo de la Huella Azul, (agua provista por SEDAPAL y agua proveniente del pozo de SEDAPAL) menos el efluente (agua de usos personales, agua usada en laboratorios y agua usada para riego de áreas verdes). La Huella Azul representa el 7.5% con respecto al agua de las entradas para el cálculo de la Huella Azul.

Huella Gris

Para calcular el tercer componente de la HH, esto es agua artificial o simbólica que es necesaria para la disolución del contaminante elegido (DBO), se debe llegar al resultado de esta ecuación:

$$\checkmark \quad \text{Huella Gris} = \frac{(\text{Vol del efl} * C \text{ del efl}) - (\text{Vol del afl} * C \text{ del afl})}{C_{\text{max}} - C_{\text{nat}}}$$

Los valores de la ecuación son entonces:

$$\checkmark \quad \text{Huella Gris} = \frac{(332\,694\,000 \text{ litros} * 409 \text{ mg/litro}) - (545\,042\,800 \text{ litros} * 6.25 \text{ mg/litro})}{15 - 4.2 \text{ mg/litro}}$$

$$= \frac{132\,665\,328\,500 \text{ mg/litro}}{10.8 \text{ mg/litro}} = 12\,283\,826\,713 \text{ litros}$$

Por lo tanto, el resultado matemático es de **12 283 826 713 litros, o 12 283 826.7 m³** de agua para disolver el contaminante DBO del agua del campus PUCP durante el año 2014.

Balance hídrico de la Huella Directa con resultados

Se compilan los resultados ya calculados y mostrados anteriormente en la tabla 20 para una mejor visualización de las entradas y salidas para la contabilidad de la Huella Directa. El agua de precipitaciones constituye en este caso la Huella Verde que asciende a 267.8 m³. Las entradas de SEDAPAL y de su pozo – las salidas compuestas de tres fuentes (agua para riego de áreas verdes, agua de usos personales y agua de uso en laboratorios) constituyen la Huella Azul que equivale a 40 635 m³.

Tabla 20 : Valores finales de afluentes y efluentes del campus PUCP en el año 2014

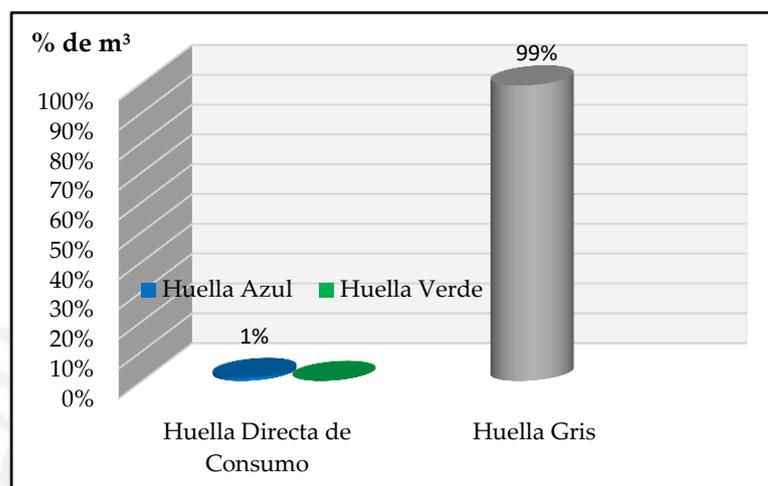
ENTRADAS (M³)		SALIDAS (M³)	
Origen	Valor	Origen	Valor
Agua de precipitaciones	267.8	Agua para riego de áreas verdes	177 041
Agua de SEDAPAL	405 021	Agua de usos personales	326 819
Agua del pozo de SEDAPAL	139 754	Agua de uso en laboratorios	280
Total	545 043	Total	504 140

La Huella Gris es un cálculo que resulta en un valor de agua simbólico. Se encuentra fuera del balance hídrico de la PUCP, pero para fines de mostrar el total de la Huella Directa, se suman en la tabla 21. La cantidad total es la suma en m³ de los tres componentes de la Huella Directa. También se señalan los porcentajes de cada huella con respecto al total de la Huella Directa. La figura 15 reúne todos los valores de la Huella Directa con sus porcentajes, que para diferenciarla de la Huella Gris, se le ha llamado Huella Directa de Consumo.

Tabla 21: Componentes de la Huella Directa del campus PUCP en m³ y sus porcentajes en el 2014

Huella Verde	%	Huella Azul	%	Huella Gris	%	Total: Huella Directa
267.8	0.002	40 635	0.3	12 283 826.7	99.7	12 324 729.5

Figura 15: Componentes de la Huella Directa en m³



Habiendo calculado los volúmenes de agua de cada uno de los tres componentes de la Huella Directa, se puede observar que la Huella Gris es enorme en comparación con la Huella Azul y Verde. Esto es debido a que, como ya se manifestó, en el sector residencial (del que es parte la PUCP) hay una contaminación elevada que requiere de importantes volúmenes de agua para diluir estos contaminantes.

5.1.1.2. Cálculo de la Huella Indirecta

Una vez calculada la Huella Directa, se pasa al cómputo de la Huella Indirecta, esta es el agua contenida en los bienes o servicios consumidos por las personas.

a. Datos de consumo de energía eléctrica en la PUCP solicitados a la DAF

El primer elemento para el cálculo de esta Huella es la energía eléctrica o electricidad. Los datos solicitados acerca de la energía eléctrica consumida se exhiben en la tabla 22.

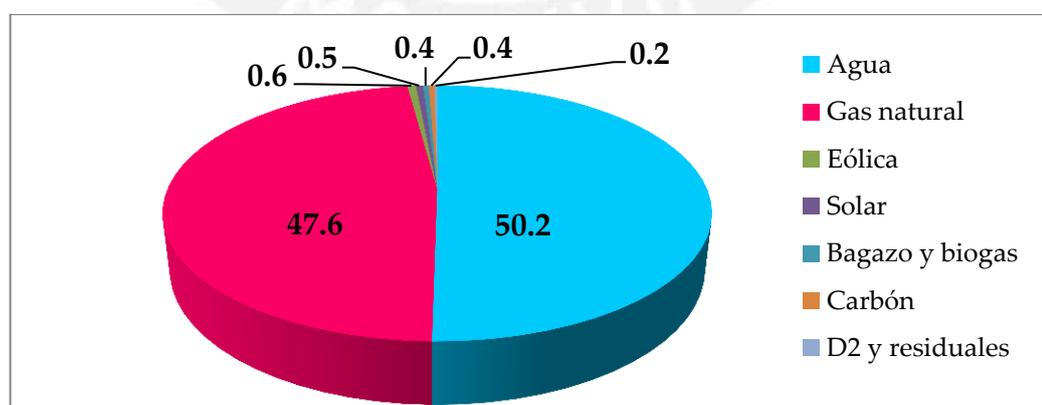
Tabla 22: Consumo mensual de energía eléctrica en el campus PUCP en el año 2014

Mes del año 2014	Electricidad (kw/h) ¹⁵
Enero	508 148.6
Febrero	716 114.8
Marzo	803 971.8
Abril	934 691
Mayo	919 084.4
Junio	942 214.35
Julio	878 527.53
Agosto	804 338.37
Setiembre	676 611.6
Octubre	976 224
Noviembre	969 432.8
Diciembre	864 433.2
Total	9 993 792.45

Fuente: Dirección de Administración y Finanzas de la PUCP

Para determinar la HH de la energía eléctrica se debió buscar la composición de la producción de la electricidad (fuentes energéticas que conforman la electricidad) y el porcentaje de una de ellas en la energía eléctrica. Luego se debió buscar en la literatura la HH de cada fuente energética. Estas se consiguieron del Anuario Estadístico de Electricidad 2014 (MINEM, 2015). Se detalla en la figura 16 la composición de la producción de energía eléctrica a nivel nacional en el año 2014.

Figura 16: Composición de la producción de la electricidad en porcentaje en el año 2014 a nivel nacional



Fuente: MINEM, 2014
Adaptación: Por el autor

¹⁵ Unidad de energía eléctrica Kw/h: kilovatios o kilowatts por hora

Las dos principales fuentes energética de la composición de la producción de la energía eléctrica son el agua (energía hidroeléctrica) y el gas natural, que representan el 50.2% y el 47.6% respectivamente de la producción total de electricidad. Luego se encuentran muy pequeños porcentajes de energía eólica (0.6%), energía solar (0.5%), bagazo y biogás (0.4%), carbón (0.4%) y D2 y residuales (0.2%), completando el 99.9%.

En la literatura sobre equivalencias de fuentes de energía en HH (Gerbens-Leenes et al., 2008) se halla la HH equivalente a cada fuente energética. Cabe resaltar que esta HH se debe a las operaciones requeridas para la generación de dichas fuentes energéticas. Debido a sus porcentajes significativos se consideraron estas fuentes: la energía hidráulica (agua), el gas natural, la energía eólica, la energía solar y el carbón, (no se tomaron en cuenta el bagazo y biogás y el D2 y residuales debido a sus insignificantes porcentajes. Tampoco hay en la literatura HH equivalente a estas fuentes energéticas). Las equivalencias de HH de las fuentes energéticas consideradas se muestran en la tabla 23.

Tabla 23: Equivalencias de Huella Hídrica de las fuentes energéticas de la electricidad según sus porcentajes

Fuente energética	HH en m ³ /GJ ¹⁶
Agua (energía hidroeléctrica)	22.3
Gas natural	0.11
Energía eólica	0
Energía solar	0.27
Carbón	0.16
Total	22.84

Fuente: Por el autor

Se tienen las equivalencias de HH en unidades de m³/GJ. Entonces cualquier total de electricidad debe convertirse de kw/h a GJ antes de realizar cualquier operación matemática. Si se sabe que 1 GJ = 277.78 kw/h, entonces el total de cada mes se debe dividir entre 277.78.

El siguiente cálculo consiste en estimar la HH de cada fuente energética de la electricidad consumida en la universidad de cada mes del año 2014. Lo que debe

¹⁶ Medida de energía, trabajo y calor GJ: gigajoule o gigajulio

hacerse es nuevamente la operación matemática de regla de tres simple por cada porcentaje de cada fuente energética en cada total de electricidad de cada mes, Como resultado se tienen los valores mensuales de HH mostrados en la tabla 24. La columna de electricidad (GJ) muestra la energía eléctrica de cada mes convertida a esta unidad. La columna de HH en m³ es la multiplicación de los valores de la columna de electricidad en GJ por el total de la HH (m³/GJ) del total de las fuentes energéticas que componen la electricidad de cada mes. Así se tiene el total anual de HH de la electricidad en la última celda de la fila de totales.

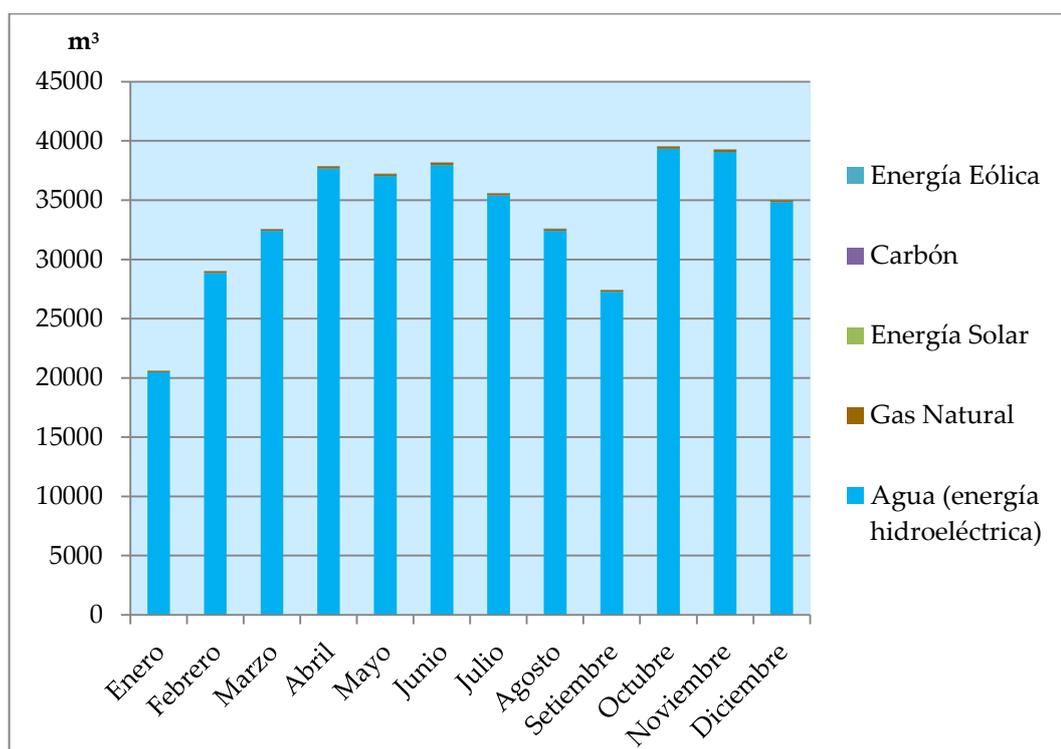
Tabla 24: Huella Hídrica en m³ de de la electricidad consumida cada mes durante el año 2014

Mes del 2014	Electricidad (GJ)	HH (m ³)
Enero	1 829.32	20 577.93
Febrero	2 577.99	28 999.71
Marzo	2 894.28	32 557.56
Abril	3 364.86	37 851.15
Mayo	3 308.68	37 219.15
Junio	3 391.94	38 155.81
Julio	3 162.67	35 576.76
Agosto	2 895.59	32 572.40
Setiembre	2 435.78	27 399.99
Octubre	3 514.38	39 533.07
Noviembre	3 489.93	39 258.05
Diciembre	3 111.93	35 006.00
Total	35 977.37	404 707.58

Fuente: Por el autor

Para una mejor apreciación visual, se colocan las totalidades anteriores en la figura 17, con las cantidades de HH de cada fuente energética de la electricidad disgregados en cada mes. Cada barra muestra el total de HH por cada mes. La fuente energética con mayor valor es el agua; la energía solar, el carbón y el gas natural son cifras muy pequeñas y apenas se aprecian en la figura 17. Una quinta fuente energética mostrada (pero no aparece en la misma figura) es la energía eólica, que, como se mostró en la tabla 23, su HH es de cero en todos los casos.

Figura 17: Huella Hídrica en m³ de cada fuente energética de la electricidad consumida cada mes durante el año 2014 en la PUCP



La energía eléctrica es consumida para el alumbrado del campus PUCP y para el funcionamiento de todos los artefactos o electrodomésticos eléctricos.

a. Datos de consumo de papel en la PUCP solicitados a la DAF

El segundo elemento a tomar en cuenta para la Huella Indirecta es el papel. La tabla 25 detalla los datos entregados por la DAF con relación a las compras anuales de papel.

Tabla 25: Papel comprado en el campus PUCP en el año 2014

Descripción del artículo	Gramaje (gramos)	N° de hojas por paquete	Total de paquetes adquiridos
Papel amarillo A4	75	500	190
Papel bond A3	80	1 000	65
Papel bond A4	75	1 000	150
Papel bond A4 con membrete CENTRUM	75	1	4 000
Papel bond A4 report	80	1 000	19 450
Papel bond A4 membretado	80	1 000	100
Papel bulky A4	52	1 000	2 000
Papel celeste A4	75	500	150
Papel kimberly A4	180	1	3 000
Papel kimberly A4 con membrete CENTRUM	180	1	6 000
Papel kraft (pliego)	50	1	3 500
Papel rosado A4	75	500	110
Papel verde A4	75	500	100
Papelógrafo	56	1	22 000
TOTAL	1 208	7 005	70 815

Fuente: Dirección de Administración y Finanzas de la PUCP

En la columna de la descripción del artículo se pueden ver los tipos de papel adquiridos por la PUCP. La siguiente columna del gramaje (como se le llama al peso de la hoja de papel) de cada artículo de papel ha sido parcialmente completada. Algunos pesos de los artículos fueron buscados en internet ya que no se especificó el peso de todos en el momento de la entrega de la información. La columna de N° de hojas por paquete muestra las unidades contenidas en cada paquete y en la siguiente columna del total de paquetes adquiridos se observa el N° total de paquetes comprados de cada artículo.

El total del peso de los artículos (necesario para la multiplicación de la HH del papel) se muestra en la tabla 26. La columna del total de gramaje en gramos es el

producto de una doble multiplicación de las cantidades de las columnas de la tabla 25 (gramaje en gramos, n° de hojas por paquete y total de paquetes adquiridos) para así calcular el gramaje final de cada artículo de papel. La columna de gramaje en toneladas en la conversión desde gramos a toneladas (se sabe que 1 tonelada es igual a 1 000 000 gramos). En la literatura se halló el promedio de la HH del papel para Brasil, país que es el principal exportador de la pulpa (Fernández, 2008) que es la materia prima sustancial para la fabricación del papel en el Perú. La HH para el papel de escribir y de impresión proveniente de Brasil es de 518.5 m³/t (van Oel y Hoekstra, 2012). Entonces en la última columna de la tabla 26 aparece el valor de la multiplicación de cada valor de la columna de gramaje en toneladas por la cifra de HH. El total de esta última columna representa la HH del papel adquirido en un año por la PUCP.

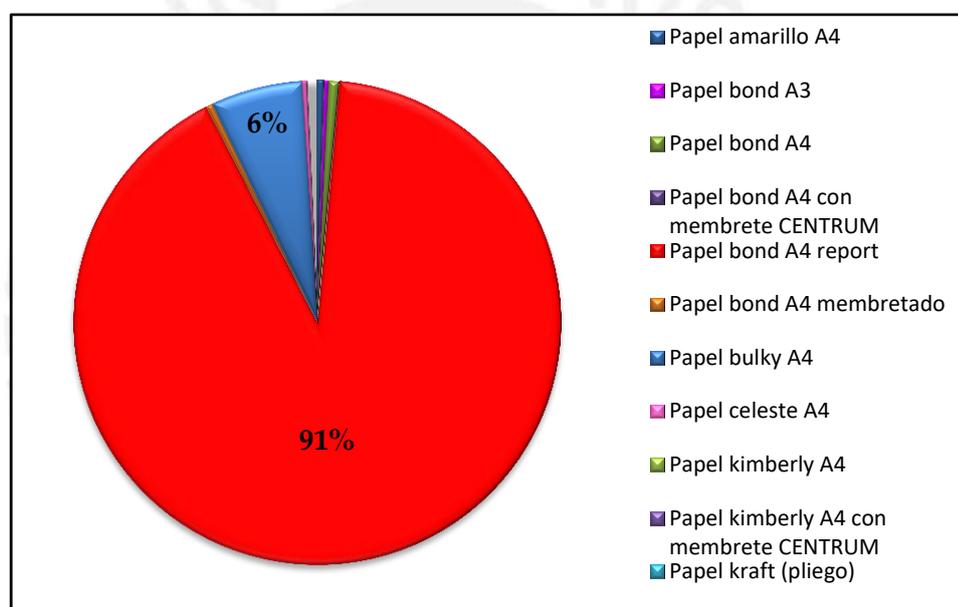
Tabla 26: Gramaje de cada unidad de los artículos de papel comprados en el 2014, y sus pesos totales

Descripción del artículo	Total de gramaje (gramos)	Gramaje (toneladas)	HH de cada artículo (m ³)
Papel amarillo A4	7 125 000	7.13	3 694.31
Papel bond A3	5 200 000	5.2	2 696.2
Papel bond A4	11 250 000	11.25	5 833.13
Papel bond A4 con membrete CENTRUM	1 050 000	1.05	544.43
Papel bond A4 report	1 556 000 000	1 556	806 786
Papel bond A4 membretado	8 000 000	8	4 148
Papel bulky A4	104 000 000	104	53 924
Papel celeste A4	5 625 000	5.63	2 916.56
Papel kimberly A4	540 000	0.54	279.99
Papel kimberly A4 con membrete CENTRUM	1 080 000	1.08	559.98
Papel kraft (pliego)	175 000	0.18	90.74
Papel rosado A4	4 125 000	4.13	2 138.81
Papel verde A4	3 750 000	3.75	1 944.38
Papelógrafo	1 232 000	1.23	638.79
TOTAL	170 9152 000	1 709.15	886 195.31

Fuente: Por el autor

En la figura 18 se detalla la HH de cada artículo de papel comprado en todo el año 2014. Se observa un gran volumen de HH (806 786 m³) del artículo papel bond A4 report, lo que representa el 91% con respecto al volumen de HH total del papel (886 195.31 m³). Le sigue el papel bulky A4 con 53 924 m³ esto significa el 6% del volumen total. En el otro extremo se observa la HH más pequeña que pertenece al artículo papel kraft (pliego) con un volumen de 90.74 m³ lo que representa el 0.01% del volumen total. Todos los tipos de papeles adquiridos por la PUCP mostrados en esta parte se utilizan principalmente para fines de impresión de documentos, clases, lecturas, exámenes, prácticas, entre otros.

Figura 18: Huella Hídrica en porcentaje de los productos de papel comprados en la PUCP en el año 2014



b. Datos de los dos menús más vendidos en el año 2014 según las encuestas realizadas al personal de cafetería

El tercer elemento considerado para el cómputo de la Huella Indirecta son los alimentos que se consideraron como parte de los menús que se preparan en el campus PUCP. Es por esta razón que en la tabla 27 se señalan las comidas (platos) que contienen alimentos preparados para los dos menús más vendidos a la comunidad universitaria en el 2014.

Tabla 27: Menús más vendidos en el año 2014

N°	Unidades vendidas al día	Plato de entrada	Plato de segundo	Extras
1	1 900	Tequeños	Arroz chaufa	Refresco
2	835	Papa a la huancaína	Lomo saltado	Refresco y pan

Fuente: Por el autor

Para calcular la HH de los dos menús más vendidos, deben considerarse los principales ingredientes de cada uno y sus pesos aproximados por plato servido. Los ingredientes considerados por plato (entrada, segundo y extra) en los menús están mostrados en la tabla 28 y 29, señalando el peso (gramos o mililitros según sea el caso) del ingrediente empleado (el que se estimó con cocineros, debe tomarse en cuenta que se trata de un aproximado) y sus equivalencias hídricas. Posteriormente, se ubica en la base de datos de la página web de la Red de la HH (WFN, s.f b) las equivalencias hídricas de los ingredientes elegidos. Las HHs de los alimentos se encuentran señaladas para un kilo del producto, por lo que se requirió considerar a un kilo como 1 000 gramos y hacer la operación matemática de la regla de tres simple para encontrar la HH de la porción del kilo del alimento utilizada. En el caso de los huevos se utilizaron dos unidades, en el caso de tomate uno y en el caso de la cebolla media unidad. El total especificado en la última fila de las tablas 30 y 31 muestra la suma de las HHs de cada producto, esto es la HH total del menú 1 y de menú 2.

Tabla 28: Cantidad de ingredientes por plato y sus equivalencias de Huellas Hídricas en el menú 1

Ítem del menú	Ingrediente	Peso por ingrediente	HH por peso (litros)
Tequeños	Queso	50 g	158.9
Arroz chaufa	Arroz	250 g	624.25
	Pollo	200 g	865
	Huevos (2)	120 g	392
Refresco	Agua	250 ml o gr	250
Total HH			2 290.15

Fuente: Por el autor

Tabla 29: Cantidad de ingredientes por plato y sus equivalencias de Huellas Hídricas en el menú 2

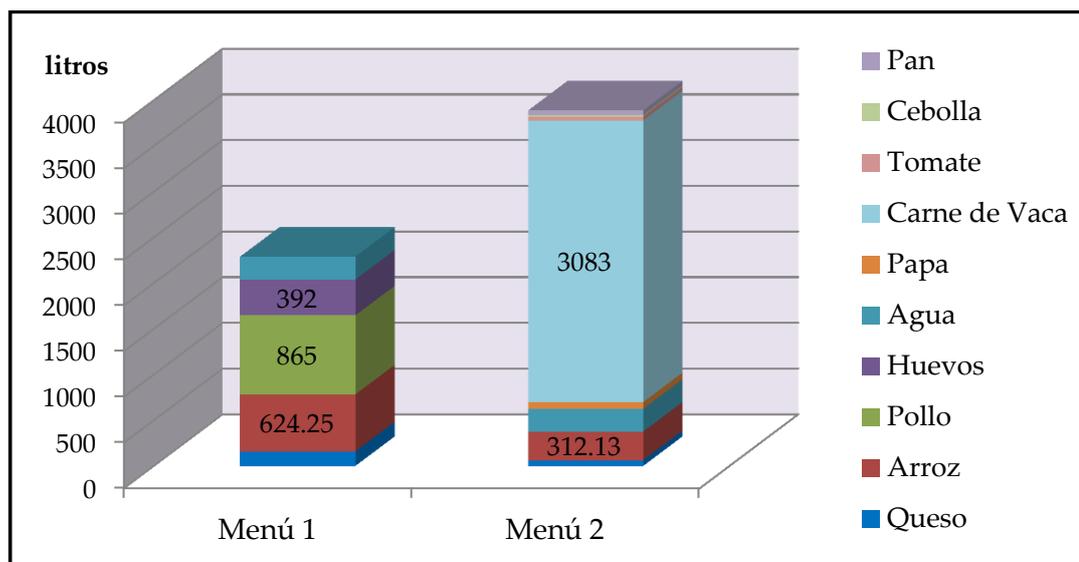
Ítem del menú	Ingrediente	Peso por ingrediente	HH por peso (litros)
Papa a la huancaína	Papa	250 g	72.5
	Queso	20 g	63.56
Lomo saltado	Carne de vaca	200 g	3 083
	Tomate (1)	200 g	42.8
	Cebolla ¹⁷ (1/2)	50 g	17.3
	arroz	125 g	312.15
Refresco		250 ml o g	250
Pan		30 g	48.24
Total HH			3 889.53

Fuente: Por el autor

Se consigue una mejor visualización con la figura 19, en la que se puede observar la diferencia de cantidades de la HH de cada uno de los ingredientes utilizados en la preparación de las comidas de los menús 1 y 2. Los ingredientes con HHs mayores a 300 m³ se etiquetan con su valor en el gráfico. El primer menú tiene una HH total más pequeña en comparación con el segundo menú (41.1% menos). De los ingredientes del menú 1, el pollo para el plato de chaufa es el que carga una HH mayor (37.8% de la HH del menú 1), seguido del arroz (27%) también para el plato de chaufa; la menor HH es del agua para preparar el refresco. En el menú 2, la carne de vaca para la preparación de plato de lomo saltado carga una HH muy grande (79.3% de la HH del menú 2), la segunda mayor HH es la del arroz (8%) igualmente para el plato de lomo saltado como en el menú anterior; una HH muy pequeña y la menor le pertenece a la cebolla, que se incluye en el plato de lomo saltado.

¹⁷ La cebolla no se encontró en la base de datos de la waterfootprint.org, por lo que obtuvo su huella hídrica de una infografía de la ANA:
http://www.ana.gob.pe/media/453423/huella_hidrica.pdf consultado en mayo del 2016.

Figura 19: Huella Hídrica en litros de los ingredientes de los menús 1 y 2



Los resultados finales para cada uno de los dos menús se muestran en la tabla 30. Se multiplican los datos de las columnas de HH total del menú en litros por los datos de la columna de N° de menús vendidos al día y a su vez por los datos de la columna de N° de días en el ciclo, que son los días hábiles en el año de estudio. El producto de esta doble multiplicación se incluye en la columna de HH anual en litros. En la última columna de HH anual en m³ se convierten las unidades de litros a m³.

Tabla 30: Huellas Hídricas totales del menú 1 y 2 para el año 2014

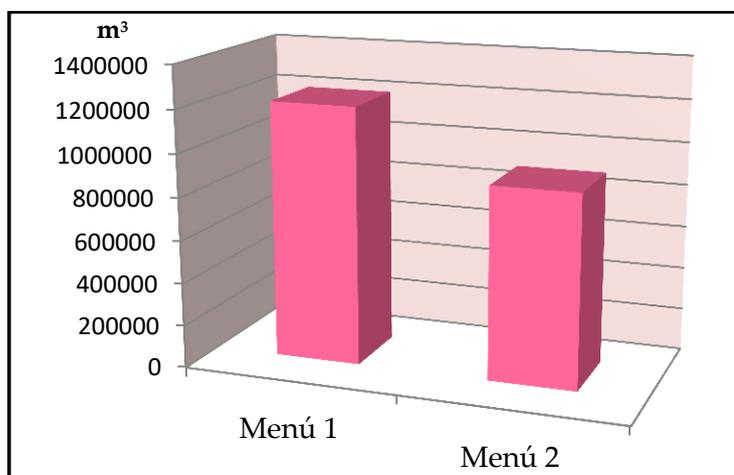
N° de menú	HH total del menú (litros)	N° de menús vendidos al día	N° de días en el año	HH anual (litros)	HH anual (m³)
1	2 290.15	1 900	277	1 205 305 945	1 205 305.95
2	3 889.53	835	277	899 628 841	899 628.84
Total HH anual					2104934.79

Fuente: Por el autor

La figura 20 muestra el total de HH multiplicada por el N° de menús vendidos en un día. En comparación con la figura 19, el volumen de HH mayor y menor se invierte cuando se multiplica por el N° de menús vendidos al día. El menú 1, que individualmente tiene una HH menor que la HH del menú 2, pasa a poseer una

HH mayor que el menú 2 cuando se multiplica por el número de menús vendidos por día.

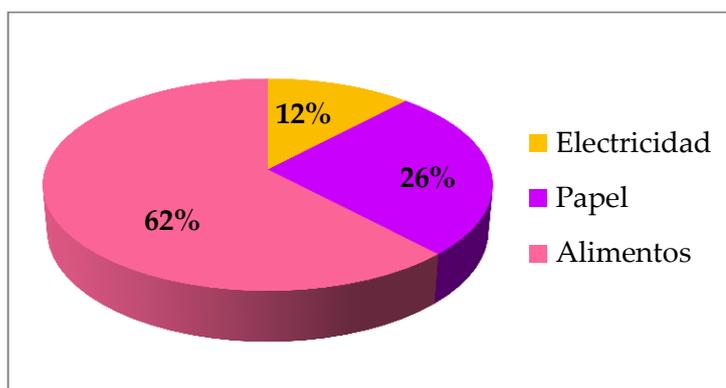
Figura 20: Huella Hídrica en m³ del n° de menús 1 y 2 vendidos al día



Huella Indirecta total

Concluyendo con la sección del cálculo de la Huella Indirecta, se juntaron los resultados finales de los tres elementos considerados (electricidad, papel y alimentos) para esta Huella y se plasmaron en porcentajes en la figura 21. El total de la Huella Indirecta asciende a **3 395 837.68 m³**. La mayor HH es la de los alimentos que abarca más de la mitad de la Huella Indirecta con un porcentaje de 62% (21 04 934.79 m³). La HH del papel posee un porcentaje de 26% y con un valor de 886 195.31 m³. La menor HH es la de la electricidad con una contribución a la Huella Indirecta de 404 707.58 m³ y con un porcentaje de 12% con respecto al total de la Huella Indirecta.

Figura 21: Totales porcentuales de los tres elementos de la Huella Indirecta del campus PUCP en el año 2014



5.1.2. Evaluación de la Sostenibilidad

Sostenibilidad de la Huella Azul: dimensión ambiental

Con el fin de abordar la dimensión ambiental de la evaluación de la Sostenibilidad de la Huella Azul, se presentan los valores de la tabla 31. En la columna del escurrimiento natural o A están las cifras del 100% del caudal del río Rímac (MINAGRI y ANA, 2015). La columna del requerimiento ambiental de la cuenca o B tiene en sus valores el equivalente al 80% del caudal de las cifras de la columna anterior. Las cifras de la columna del 20% de la disponibilidad real en la cuenca son la diferencia de las columnas anteriores (A-B).

Tabla 31: Caudal promedio mensual del río Rímac en el año 2014, requerimiento ambiental y disponibilidad de agua en m³

Mes	Escurrimiento natural o caudal (A)	Requerimiento ambiental de la cuenca (80%) (B)	Disponibilidad real en la cuenca (20%) (A-B)
Enero	1 565 078.4	1 252 062.7	313 015.7
Febrero	1 686 988.8	1 349 591.0	337 397.8
Marzo	3 777 436.8	3 021 949.4	755 487.4
Abril	1 438 560	1 150 848.0	287 712.0
Mayo	1 124 481.6	899 585.3	224 896.3
Junio	850 608	680 486.4	170 121.6
Julio	942 350.4	753 880.3	188 470.1
Agosto	933 868.8	747 095.0	186 773.8
Setiembre	936 144	748 915.2	187 228.8
Octubre	985 651.2	788 521.0	197 130.2
Noviembre	1 091 664	873 331.2	218 332.8
Diciembre	1 197 244.8	957 795.8	239 449.0

Fuente: Huella de Ciudades, 2015
Adaptación: Por el autor

El siguiente cálculo que se efectuó fue de considerar la totalidad de dicha disponibilidad real (20%) para el total de la población de dicha cuenca que se definió previamente, cifra que llega a 4 922 726 habitantes para el 2014. La población del campus PUCP se estimó en 35 915 habitantes para el mismo año. Por consiguiente, correspondería el 0.73% del caudal del río Rímac al uso de agua del campus PUCP. Este porcentaje se aplica al volumen de agua del caudal para toda

la cuenca de cada mes para establecer la cantidad de m³ mensuales reales disponibles para el campus PUCP.

Así, en la tabla 32 se exhiben los siguientes volúmenes de agua azul disponibles para el campus PUCP (0.73% del 20% de disponibilidad real del caudal total). La disponibilidad real mensual del caudal del río Rímac para el campus PUCP es mayor entre los meses de enero a abril, con un valor significativamente elevado en el mes de marzo; y es menor entre los meses de junio y setiembre, con la menor disponibilidad de caudal en el mes de junio de año 2014. Estos valores son proporcionales al caudal natural de río Rímac, como se puede ver en el apartado de los Antecedentes del capítulo II.

Tabla 32: Disponibilidad real mensual de agua del caudal del río Rímac correspondiente al campus PUCP

Mes	Disponibilidad real para el campus PUCP (m ³)
Enero	2 285.01
Febrero	2 463
Marzo	5 515.06
Abril	2 100.3
Mayo	1 641.74
Junio	1 241.89
Julio	1 375.83
Agosto	1 363.45
Setiembre	1 366.77
Octubre	1 439.05
Noviembre	1 593.83
Diciembre	1 747.98
TOTAL	24 133.91

Fuente: Por el autor

Para determinar la escasez de agua y por ende la Sostenibilidad de la Huella Azul, se debe llegar a encontrar un índice de escasez, el que es igual a la división del total de la Huella Azul para cada mes entre el volumen de agua real azul disponible para cada mes para la universidad (Huella de Ciudades, 2015). La ecuación para calcular este índice es:

$$\checkmark \quad \text{Índice de escasez de la Huella Azul} = \frac{\text{Huella Azul total (por mes)}}{\text{Disponibilidad real (por mes)}}$$

Los niveles o rangos de índices de escasez se han establecido con los colores de amarillo, mostaza, naranja y rojo (los que hacen alusión a la gravedad del impacto ambiental de la Huella Azul) se muestran en la tabla 33. A continuación se explican dichos rangos. Esta clasificación en cuatro rangos de valores de escasez de agua es implantada por los autores Hoekstra y Mekonnen, 2011. Ellos disponen estos valores de escasez en términos de porcentaje y en este caso se habla de niveles de escasez (el índice de escasez se multiplica por 100), los que encierran exactamente la misma lógica que los índices de escasez.

Tabla 33: Rangos de índices de escasez de la HH azul expresados en colores

a) Menor a 1		c) Entre 1.5 y 2	
b) Entre 1 y 1.5		d) Mayor a 2	

Fuente: Hoekstra y Mekonnen, 2011
Adaptación: Huella de ciudades, 2015

- a) Escasez de agua azul muy baja: Si dicha división resulta en una cantidad menor a uno, se puede concluir que “*el impacto ambiental en cuanto al consumo de agua no existe o no es significativo*” (Huella de Ciudades, 2015). La Huella Azul mensual es menor que el 20% del escurrimiento natural de la cuenca y no excede la disponibilidad del agua azul. El escurrimiento del río es muy poco o nada modificado, por lo que el requerimiento ambiental de la cuenca no se transgrede.
- b) Escasez de agua azul moderada: La Huella Azul por cada mes está entre el 20 y 30% del escurrimiento natural de la cuenca. El escurrimiento es moderadamente modificado, razón por la cual el requerimiento ambiental de la cuenca no se respeta, no se cumple en su totalidad.
- c) Escasez de agua azul significativa: La Huella Azul correspondiente a cada mes se ubica entre el 30 y 40% del escurrimiento natural de la cuenca. El escurrimiento del río se encuentra significativamente modificado. Entonces el requerimiento ambiental de la cuenca definitivamente no se cumple.

- d) Escasez de agua azul severa: La Huella Azul mensual excede el 40% del escurrimiento natural de la cuenca, razón por la cual se sostiene que el escurrimiento se percibe seriamente modificado. El requerimiento ambiental de la cuenca es ampliamente transgredido.

El siguiente paso es distribuir la Huella Azul de acuerdo a los días hábiles (cuando la universidad está abierta para el público y en ciclo académico disponible) (PUCP, s.f. b) para la universidad en cada mes del año estudiado, es decir el total de la Huella Azul (40 635 m³) se divide entre los 233 días hábiles del año para determinar el total de Huella Azul establecida por día. Inmediatamente después, se multiplica la cantidad de esta Huella por día (174,40 m³), por la cantidad de días hábiles de cada mes. El resultado se muestra en la columna de Huella Azul del campus PUCP (m³) por mes de la tabla 34. Los valores de la columna de índice de escasez resultan de la división de los valores de la columna de Huella Azul entre la disponibilidad real, procedimiento que se explicó líneas arriba. Los índices de escasez se encuentran sombreados según los colores del rango de escasez de agua azul severa. Estos varían de acuerdo al consumo de agua mensual en el campus PUCP. El promedio de los índices de escasez de los doce meses del 2014 es de 2.02%.

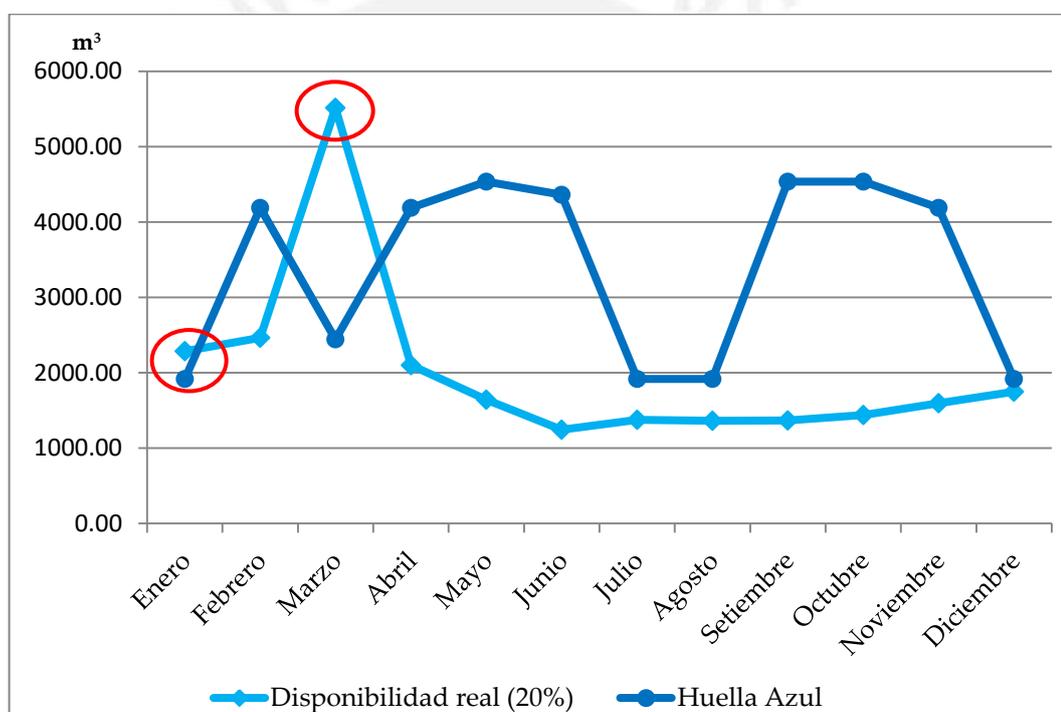
Tabla 34: Resultados de la Huella Azul distribuidos según días hábiles de cada mes del año 2014

Mes	Disponibilidad real para el campus PUCP (m ³)	Días hábiles por mes	Huella Azul del campus PUCP (m ³) por mes	Índice de escasez
Enero	2 285.01	11	1 918	0.84
Febrero	2 463	24	4 186	1.70
Marzo	5 515.06	14	2 442	0.44
Abril	2 100.3	24	4 186	1.99
Mayo	1 641.74	26	4 534	2.76
Junio	1 241.89	25	4 360	3.51
Julio	1 375.83	11	1 918	1.39
Agosto	1 363.45	11	1 918	1.41
Setiembre	1 366.77	26	4 534	3.32
Octubre	1 439.05	26	4 534	3.15
Noviembre	1 593.83	24	4 186	2.63
Diciembre	1 747.98	11	1 918	1.10
TOTAL	24 133.91	233	40 635	24.24

Fuente: Por el autor

En la figura 22 se manifiesta la comparación entre la disponibilidad real mensual y la Huella Azul. Los valores de la Huella Azul exhiben oscilaciones considerables. Esto se deben a la variable cantidad de días hábiles existentes en cada mes (los días hábiles considerados no incluyen días domingos ni suspensión de actividades académicas entre ciclos, lo que no significa negar que la universidad se encuentre abierta para el público en días de lunes a sábado entre ciclos académicos y contribuya a la Huella Azul. Sin embargo en dichos días la asistencia de público a la universidad se consideró escasa y por ende la contribución a la Huella Azul también se supuso muy pequeña como para incluirlos en la distribución).

Figura 22: Comparación entre la disponibilidad real de agua azul para la PUCP y la Huella Azul de la PUCP distribuida según días hábiles de cada mes del 2014



Los valores de la Huella Azul están mayormente por encima de la disponibilidad real de agua azul para el campus PUCP en la figura 22. Los valores de la Huella Azul son mayores a los valores de disponibilidad real de agua azul. Los meses en donde no se cumple esto son enero y marzo, donde los valores de disponibilidad real (los que están encerrados en círculos rojos) son mayores que los valores de Huella Azul. En el mes de enero, la disponibilidad real de agua es 16% mayor que

el porcentaje de Huella Azul de ese mes. En el mes de marzo, la disponibilidad real de agua es mayor en 56% con respecto a la Huella Azul de ese mes. En los meses de julio, agosto y diciembre, la diferencia entre Huella Azul y la disponibilidad real de agua se acorta más que en los meses restantes donde la Huella Azul es mucho mayor que la disponibilidad real de agua.

Sostenibilidad de la Huella Azul: dimensión social

El rango de volumen de agua referencial a utilizar establecido por las NU referente a la cantidad mínima de agua dulce disponible para "las necesidades humanas básicas", esto es usos personales y domésticos entre 50 y 100 litros de agua. Se comparó este rango de volumen estándar con aquellos promedios por día de cada tipo de población asistente a la universidad. Los resultados se observan en la tabla 35.

Tabla 35: Volumen de litros usados al día por cada tipo de población PUCP y comparación con el rango de volumen estándar (50-100 litros)

Tipo de población PUCP	Litros utilizados por día	Comparación con volumen estándar (en litros)
Alumnos	43.5	Menor en 6.5
Docentes	26.77	Menor en 23.23
Jefes de práctica	22.61	Menor en 27.39
Personal administrativo	43.78	Menor en 6.22
Personal obrero	389.07	Excede en 289.07

Fuente: Por el autor

De los cinco tipos de población universitaria mostrados en la tabla anterior, el tipo de personal obrero es el único que sobrepasa el rango estándar de uso de agua en el tiempo de asistencia a la universidad en cerca de 300 litros. Dicho uso de agua incluye mucho de este no para uso personal, sino para uso de su trabajo o del mantenimiento del campus universitario (limpieza y riego) o de vehículos que concurren al campus PUCP, esto último referido al caso de los trabajadores en la zona de estacionamiento.

Es necesario saber la porción de tiempo (horas) de un día que en promedio pasa cada tipo de población de la comunidad universitaria en el campus PUCP para

poder determinar cuánto volumen de agua es usada en el lapso de tiempo que se encuentra en el campus PUCP, y cuánto tiempo restante del día le queda fuera del campus PUCP para seguir usando agua.

Se muestra en la tabla 36 el promedio de horas asistidas diarias de los tres ciclos académicos del año al campus PUCP para cada tipo de población, junto con el resto de horas de un día. Se consideró un día de 18 horas porque se estableció un promedio de 6 horas que tienen que destinarse para descanso. Los promedios de litros de agua utilizada por cada tipo de población se dan durante el promedio de horas asistidas de cada tipo de población. Se observa entonces que este promedio constituye la minoría de horas del día (cerca de un tercio o menos de la mitad de las horas diarias).

Tabla 36: Promedios de horas asistidas al día de los tres ciclos académicos del año por cada tipo de población universitaria al campus PUCP

Tipo de población PUCP	Promedio de horas asistidas	Resto de horas de un día de 18 horas
Alumnos	6.61	11.39
Docentes	7.23	10.77
Jefes de práctica	4.58	13.42
Personal administrativo	7.27	10.73
Personal obrero	8.55	9.45

Fuente: Por el autor

Entonces se concluye que durante el tiempo de estadía al día en el campus PUCP (minoría de horas en un día), valores exhibidos en la tabla 36, se utiliza la cantidad de agua (litros) mostrada en la tabla 35 para cada tipo de población PUCP. Durante el resto de horas del día que queda, el agua que se tiene que usar puede fácilmente sobrepasar los 100 litros que es el límite del volumen estándar establecido por las UN para uso por persona.

Sostenibilidad de la Huella Gris

El análisis de Sostenibilidad de la Huella Gris sigue un procedimiento muy similar al de la dimensión ambiental de la Huella Azul. Así también se muestra a distribución de la Huella Gris a lo largo del año 2014. La disponibilidad real para el campus PUCP, parte del caudal de río Rímac se compara con la cantidad

necesaria establecida para disolver el contaminante elegido: la DBO. La cuantificación de la Huella Gris resulta en un índice de contaminación que, de la misma manera que en la Huella Azul, puede expresarse en términos de porcentaje y en este caso se hace referencia a niveles de contaminación (%). Para determinar la contaminación de agua, se apunta a hallar un índice de contaminación hídrica, el que es igual a la división del total de la Huella Gris para cada mes entre el volumen de agua real disponible para cada mes para la universidad (Huella de Ciudades, 2015). Este se halla con el siguiente cálculo:

$$\text{Índice de contaminación hídrica} = \frac{\text{Huella Gris total (por mes)}}{\text{Disponibilidad real (por mes)}}$$

Los niveles o rangos de índices de contaminación hídrica son los mismos de los índices de escasez de agua azul y asimismo se han establecido los mismos colores. Estos rangos son:

- a) Índice de contaminación hídrica muy baja: Si la división anterior resulta en una cantidad menor a uno, se puede concluir que el impacto ambiental en cuanto a la contaminación de agua no existe o no es significativo.
- b) Índice de contaminación hídrica moderada: La Huella Gris por cada mes está entre el 20 y 30% del escurrimiento natural de la cuenca. Este es moderadamente afectado por la contaminación.
- c) Índice de contaminación hídrica significativa: La Huella Gris mensual se ubica entre el 30 y 40% del escurrimiento natural de la cuenca. El escurrimiento del río se encuentra significativamente afectado por la contaminación.
- d) Índice de contaminación hídrica severa: La Huella Gris de cada a mes excede el 40% del escurrimiento natural de la cuenca, razón por la cual se sostiene que el escurrimiento se percibe seriamente modificado por la contaminación.

Al igual que en la Huella anterior, se reparten volúmenes de la Huella Gris según los días hábiles de cada mes (PUCP, s.f. b), el procedimiento es el mismo anteriormente detallado. Los resultados están registrados en la tabla 37. Igual que

en la Huella anterior, la columna del índice de contaminación aparece sombreada con el color correspondiente para ilustrar el rango de contaminación hídrica al que pertenecen estos valores. En este caso los valores de los doce meses están sombreados con el color rojo, color destinado a valores dentro del rango de contaminación hídrica severa.

Tabla 37: Resultados de la Huella Gris distribuidos según los días hábiles de cada mes del 2014

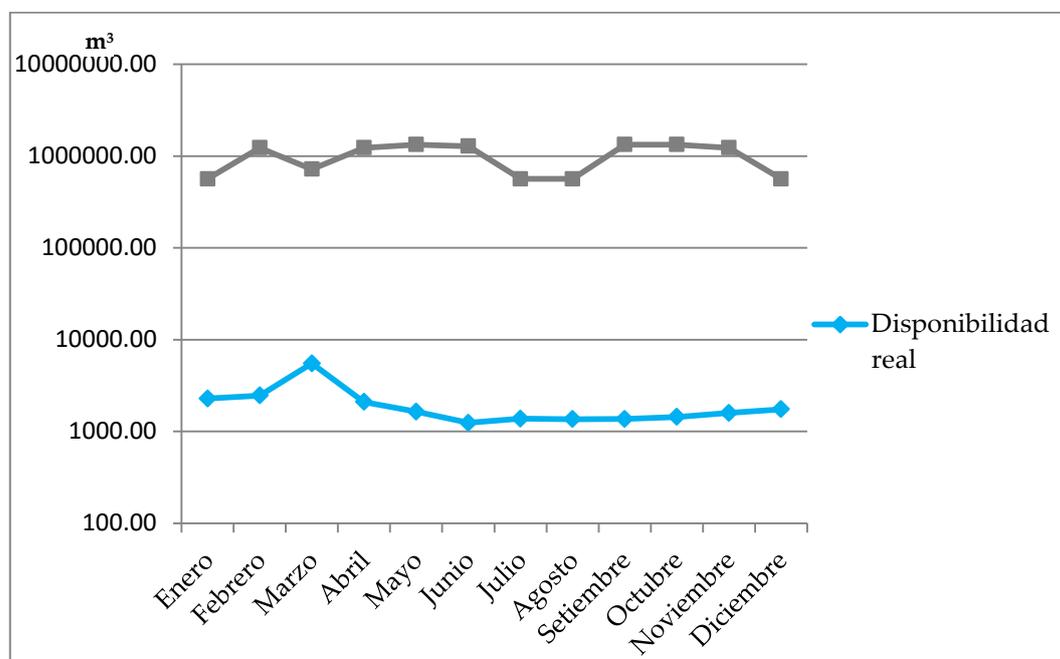
Mes	Disponibilidad real de agua para el campus PUCP (m ³)	Días hábiles por mes	Huella Gris del campus PUCP (m ³)	Índice de contaminación
Enero	2 285.01	11	579 923.15	253.79
Febrero	2 463	24	1 265 286.87	513.72
Marzo	5 515.06	14	738 084.01	133.83
Abril	2 100.3	24	1 265 286.87	602.43
Mayo	1 641.74	26	1 370 727.44	834.92
Junio	1 241.89	25	1 318 007.16	1 061.29
Julio	1 375.83	11	579 923.15	421.51
Agosto	1 363.45	11	579 923.15	425.34
Setiembre	1 366.77	26	1 370 727.44	1 002.90
Octubre	1 439.05	26	1 370 727.44	952.52
Noviembre	1 593.83	24	1 265 286.87	793.87
Diciembre	1 747.98	11	579 923.15	331.77
TOTAL	24 133.91	233	12 283 826.71	610.66

Fuente: Por el autor

La repartición de la Huella Gris según los días hábiles de cada mes, junto con la disponibilidad real de agua por mes para el campus PUCP resultó en la comparación mostrada en la figura 23. Se advierte que en la figura 23 los valores de m³ están en una escala logarítmica. Este cambio en la escala de valores se hizo para una mejor apreciación, sobre todo de los valores de disponibilidad real de agua, ya que las cantidades de Huella Gris se encuentran muy por encima de las cantidades de disponibilidad real de agua. El índice de contaminación hídrica mayor es de 1 032.25 en el mes de junio. El ratio de contaminación hídrica menor es de 130.23 en el mes de marzo. Los doce índices de contaminación hídrica severa muestran un promedio de 594.24 para el año 2014. Los doce índices se encuentran largamente por encima del valor que señala el comienzo de una contaminación hídrica severa. Se excede enormemente la capacidad de asimilación de desechos

de la disponibilidad real de agua y se vulnera parcial o totalmente la disponibilidad ambiental de agua que debe mantenerse para la conservación del ecosistema de la cuenca Rímac.

Figura 23: Comparación entre la disponibilidad real y la Huella Gris repartida según días hábiles de cada mes del 2014



5.2. Discusión

5.2.1. Contabilidad de la Huella Hídrica

5.2.1.1. Cálculo de la Huella Directa

Huella Verde

El método utilizado (de entre muchos) para calcular el dato de la precipitación efectiva, fórmula del USDA SCS, es el método escogido y utilizado por la WFN, por lo que se aplica también en este trabajo de investigación. Además esta fórmula requiere pocos datos, no considera datos entre los cuales están el tipo de suelo o la profundidad en la red de irrigación, por lo que da una baja estimación de la precipitación efectiva. Sin embargo es ampliamente utilizado justamente porque no requiere muchos datos, sobre todo en el campo de la administración de agua para la agricultura (Chapagain y Hoekstra, 2010).

Debe dejarse claro que la Huella Verde es imperceptiblemente menor que la entrada de agua de precipitación (parte del afluente), se tratan de diferencias

decimales entre el cálculo final de la Huella Verde y el agua de precipitación que al momento del redondeo de la cifra terminan siendo valores iguales.

Se debe tomar en consideración que la precipitación durante el año 2014 ha sido muy escasa, pero durante años pasados, especialmente desde el año 2012 hacia años anteriores, los valores de precipitación son muy inconstantes (entre valores nulos a precipitación en forma de garúa considerable). Esto se debe a que la región costera del Perú presenta una alta variabilidad en las precipitaciones existentes, donde ciertos factores (como el fenómeno del Niño) determinan una alta variabilidad climática en el territorio.

Se reitera que los resultados de la Huella Verde se reducen a solo tres meses (son los que se muestran en la figura 10: marzo, junio y julio) de cantidades muy pequeñas de precipitación. Estos meses, sumados representan **267.8 m³ de Huella Verde**. Considerando las escasas precipitaciones en la ciudad de Lima (1.52 mm sumados de tres meses del año 2014, la Huella Verde del campus PUCP es muy reducida.

Huella Azul

Cálculo del afluente:

a. Abastecimiento mensual de agua en el campus PUCP en el año 2014

Los datos solicitados a la DAF relacionados al uso de agua por mes abastecida por SEDAPAL (tabla 6) son más o menos constantes, no habiendo diferencias marcadas entre cantidades mensuales, con excepción del mes de agosto, en el que puede inferirse que hay un uso un poco menor debido a que es un mes en el que los alumnos se encuentran de vacaciones y no hay una gran asistencia del público a la universidad. Podría inferirse lo mismo de los meses de enero a marzo, pero el uso de agua no muestra una marcada disminución en esos meses.

b. Abastecimiento mensual de agua en el campus PUCP proveniente del pozo perteneciente a SEDAPAL

Estos datos (tabla 7) no se encuentran actualizados al 2014 por un error de medición de SEDAPAL. Es por eso que se tomaron datos exactamente a partir de

que el medidor no mostrara montos estáticos, de los últimos seis meses del año 2012 y los primeros meses del año 2013, años cuando el medidor de SEDAPAL funcionaba correctamente. Esta inexactitud en los datos se encuentra fuera del alcance de la universidad, y por ende de este trabajo de investigación.

Cálculo del efluente:

a. Usos personales de agua por parte de la comunidad universitaria

La cifra total de población universitaria que se ha considerado es el número total de personas de la comunidad PUCP (35 915). Se han considerado a todas las personas para el conteo de la HH para intentar cubrir todos los usos de agua en el campus PUCP. Ciertamente la población total no coincide en el campus PUCP, pero durante el año entero algunas personas usan más agua del promedio por persona, no se está considerando a los alumnos de Educación Continua, siempre hay personas externas visitando el campus PUCP que no están contabilizadas en el total de población de la comunidad universitaria, entre otras razones. En resumen esta cifra total sirve para calcular un estimado (nunca puede ser como en realidad es) del uso personal de agua por parte de la comunidad universitaria.

Los usos de agua de toda la comunidad universitaria (tablas 12-16) son mucho mayores en los ciclos regulares (2014-1 y 2014-2) debido a la mayor duración de tiempo de los ciclos de marzo-julio y agosto-diciembre. Debe resaltarse que el personal obrero en general, pero sobre todo el personal de limpieza utiliza una gran cantidad de agua para realizar su trabajo en el campus PUCP: sus labores de limpieza y también de aseo personal luego de estas labores. El constante lavado de manos y el uso de duchas diarios representan una importante suma de litros de agua empleados por este tipo de población universitaria.

b. Uso de agua en laboratorios de enseñanza de la PUCP

El laboratorio de Estructuras Antisísmicas, a pesar de poseer más equipos de trabajo y ser más grande en área que los otros dos laboratorios de Ingeniería Civil considerados (Mecánica de Suelos e Hidráulica), es el que utiliza menos cantidad

de agua al año (60 m^3) que los otros dos (120 y 100 m^3 respectivamente), como lo muestra la tabla 17.

c. Uso de agua para riego de áreas verdes del campus PUCP

Una de las salidas parte del efluente del sistema PUCP es el uso de agua para riego de áreas verdes, del cual, a diferencia de las otras dos salidas de agua del sistema PUCP (agua de usos personales y agua de laboratorios), se desconoce el volumen de agua destinado para este uso. La cantidad de agua consignada para regar las áreas verdes no ha sido objeto de encuesta. Se ha calculado el requerimiento de agua de la vegetación del campus PUCP por medio del software CROPWAT. Sin embargo, puede ser más el agua que se utiliza debido a la evaporación de esta al momento de regar la vegetación. El cálculo del valor de la ETo (variable esencial para determinar el requerimiento de agua de la vegetación) mediante el método de FAO Penman-Monteith actualmente se recomienda como el único método estándar, bajo la mayoría de circunstancias y locaciones en la tierra, para la definición y cálculo de la evapotranspiración del cultivo referencial (Allen et al., 1998).

Lo que puede observarse con la figura 14 es que estos valores del agua requerida para regar las áreas verdes del campus PUCP son más altos durante los meses de verano, sobre todo durante enero, febrero y diciembre, lo que quiere decir que los requerimientos de la planta son mayores durante los meses calurosos, por lo que más agua es utilizada para riego.

Huella Gris

El valor de la Huella Gris representa una cantidad enorme de agua necesaria para diluir el contaminante DBO en el campus PUCP en el año 2014. Lo que quiere decir que la concentración del parámetro DBO es considerablemente fuerte durante el periodo completo del año estudiado.

Balance hídrico de la Huella Directa con resultados

En la tabla 21 se pudo observar que cerca de toda la Huella Directa está conformada por la Huella Gris (99.67% del total). La Huella Verde y la Huella Azul juntas representan apenas decimales del total de la Huella Directa (0.33% del total). Esto se debe a que en el sector residencial, sector a donde pertenece el campus PUCP, el agua requerida para diluir contaminantes (Huella Gris) suele tener el mayor volumen a comparación de las Huellas Verde y Azul. Ese gran volumen necesario se debe al enorme vertimiento de efluentes domésticos con contenido de contaminantes como la DBO (Huella de Ciudades, 2015).

En la figura 15 la Huella Azul y Verde se muestran una al costado de la otra porque la suma de las dos ($40\,902.8\text{ m}^3$) representa lo que se ha llamado como la Huella Directa de Consumo (para diferenciarla de la Huella Gris). Ya que la Huella Gris (Huella de Contaminación) es una cantidad de agua que no es real, no forma parte del balance hídrico por lo que no se ha sumado a las otras dos Huellas (Verde y Azul) y se muestra de manera separada.

5.2.1.2. Cálculo de la Huella Indirecta

a. Datos de consumo de energía eléctrica solicitados a la DAF de la PUCP

Se aprecia en la tabla 24 con respecto al 100% (total de las HHs de los doce meses de gasto de energía eléctrica del 2014), un mayor consumo eléctrico y por ende una mayor HH de electricidad en los meses de octubre con 9.8% y noviembre con 9.7% ($79\,224.91\text{ m}^3$ y $78\,673.77\text{ m}^3$ respectivamente); por el contrario, se observa un menor consumo y por consiguiente una HH menor en los meses de enero con 5,1% y setiembre con 6.8% ($41\,238.51\text{ m}^3$ y $54\,910.03\text{ m}^3$ respectivamente). Los meses de mayor consumo de electricidad coinciden con las clases del ciclo regular 2014-2, que es cuando hay actividades de enseñanza y administrativas intensas, y una consecuente confluencia de público al campus PUCP, de lo que puede inferirse el mayor consumo de electricidad. En el otro extremo, en los meses de menor consumo de electricidad, cerca de todo el mes de enero coincide con las vacaciones de los alumnos cuando no hay actividades de enseñanza ni administrativas, entonces no hay confluencia de público, por lo se entiende un menor consumo

eléctrico. El menor consumo de electricidad en el mes de setiembre es peculiar, ya que coincide con el ciclo regular 2014-2, por lo que un consumo mayor de electricidad sería esperado por las mismas razones que en los meses de mayor consumo eléctrico, sin embargo no es así.

b. Datos de consumo de papel solicitados a la DAF de la PUCP

La figura 18 revela que el artículo de papel que es ampliamente mayor a los demás en gramaje, y por ende en HH es el papel bond A4 report. Se presume que esto es debido al tamaño, la hoja A4 es la más utilizada para impresión y escritura, por lo que se entiende que la PUCP adquiere este tipo de papel en grandes cantidades.

c. Datos de los dos menús más vendidos en el año 2014 según las encuestas realizadas al personal de cafetería

Se resolvió calcular la HH de los dos menús más vendidos en la PUCP. Sin embargo el número de menús analizados pudo ser solo uno o más de dos. Se consideró que con los dos menús y su HH total (que es la más grande de la Huella Indirecta) multiplicados por toda la población universitaria, se cubriría el consumo de HH en alimentos que existe en el campus PUCP, pero como toda la mayor parte de los cálculos referentes a HH en este trabajo de investigación no son exactos, y puede haber un importante margen de inexactitud.

Cabe resaltar que los productos de origen animal en general, específicamente los productos animales para alimentación humana, tienen una HH muy grande, como se exhibe en la figura 19, ya que se considera desde el agua necesaria para el cultivo del alimento del animal hasta que el producto llega al consumidor. La mayor contribución a la HH de este tipo de productos (Huella Verde y Azul principalmente) proviene de las precipitaciones y del agua necesaria para regar el cultivo que alimentará al animal. Este hecho es el primer paso y el más remoto en términos de conocimiento para el consumidor, lo que explica la razón del desconocimiento de que los productos animales requieren mucha agua y tierra para su producción (Hoekstra, 2012).

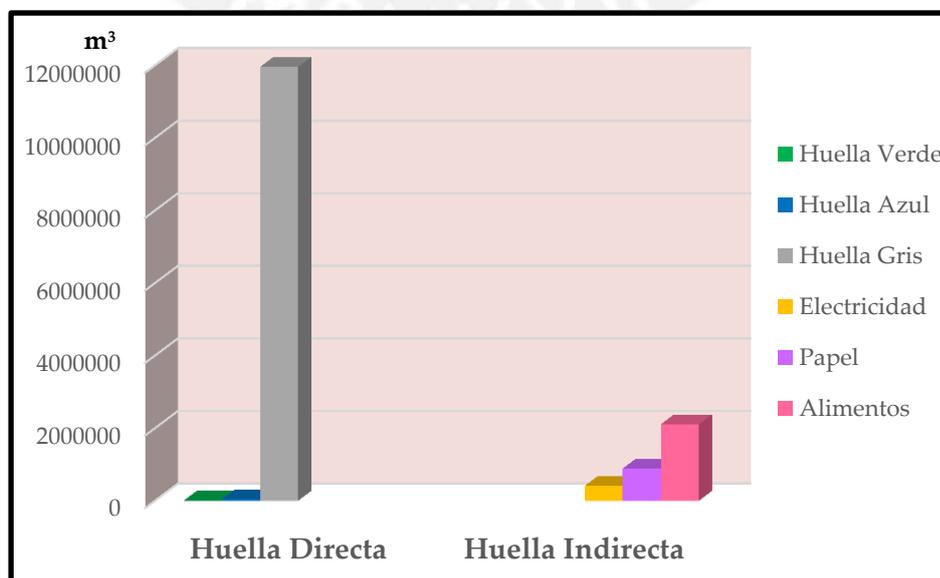
Valores finales de la Huella Hídrica total

La tabla 38 contiene todos los valores (sin decimales y redondeados) calculados de la HH. Las figuras 24 y 25 resumen todos los resultados finales gráficamente (de la Huella Directa y Huella Indirecta) en la segunda fase de Contabilidad de la HH de la Evaluación de la HH. Se observan los dos grupos de Huellas finales (la Directa, compuesta por las Huellas Verde, Azul y Gris, y la Indirecta). El componente de la Huella Gris en la Huella Directa resultó ser una cantidad de agua mucho mayor que las otras cantidades de agua de las otras Huellas. La figura 24 tiene una escala normal en el eje Y. En ella se aprecia la gran cantidad de agua de la Huella Gris que alcanza cerca del máximo valor del eje Y. La figura 25 presenta una escala logarítmica en el eje Y para una mejor apreciación de las cantidades de agua contenida en las demás Huellas.

Tabla 38: Valores finales en m³ de la Huella Hídrica del campus PUCP en el año 2014 y Huella Hídrica por persona

Huella Directa	Huella Verde	268	Total 12 324 729.51
	Huella Azul	4 635	
	Huella Gris	12 283 827	
Huella Indirecta	Electricidad	404 708	Total 3 395 838
	Papel	886 195	
	Alimentos	2 104 935	
TOTAL HH DE LA PUCP EN EL 2014			15 720 567.19
TOTAL HH POR PERSONA			437.72

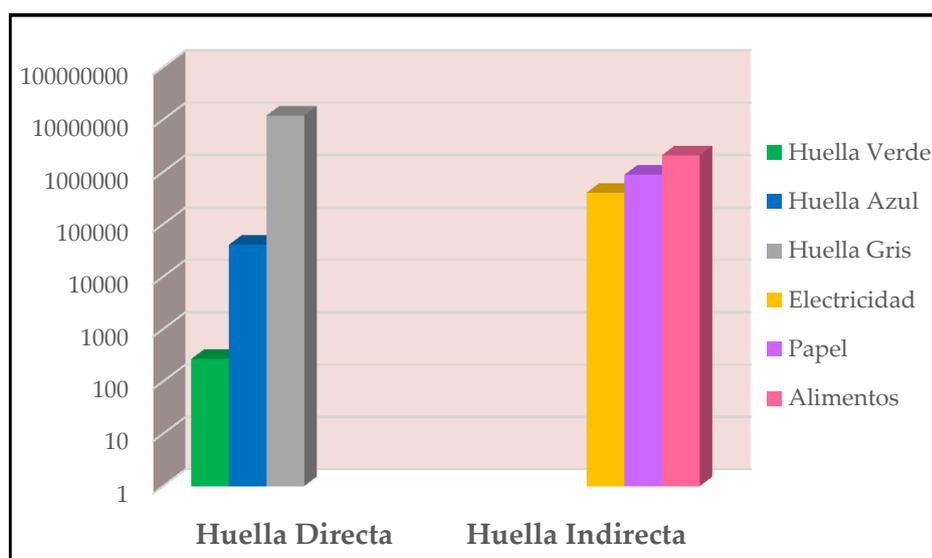
Figura 24: Valores finales en m³ de la Huella Hídrica del campus PUCP en el año 2014 (sin escala logarítmica)



25:

Figura

Valores finales en m³ de la Huella Hídrica del campus PUCP en el año 2014 (con escala logarítmica)



Como observaciones finales se tiene que con respecto a la Huella Directa, la Huella Verde representa un consumo insignificante de agua (0.002% con respecto al total de HH del año estudiado), la Huella Azul constituye un consumo de agua poco mayor a la Huella Verde, ostentando un 0.3% del total de HH del 2014, pero es aún poco significativo comparado al consumo de agua simbolizado en la Huella Gris, la que representa el 78% de total de la HH del 2014. De los tres elementos considerados de la Huella Indirecta, el mayor consumo de agua se localiza en los alimentos (que alcanza el 13% de total de la HH), luego en el papel (representando el 6% con respecto a la HH total), consumo parecido al de la electricidad en último lugar, con cerca del 3% de la HH total. En la figura 24 se distingue el gran consumo en m³ de agua incorporado en la Huella Gris. A comparación con esta Huella, los otros consumos de los otros componentes de la HH son muy pequeños.

5.2.2. Evaluación de la Sostenibilidad

En este punto de análisis se evaluó la Sostenibilidad de la HH de forma parecida al manual de Huella de Ciudades, sin embargo es un análisis con varias limitaciones y dificultades sobre todo en lo que se refiere a la dimensión ambiental y social de la Huella Azul. Estas limitaciones se van señalando a lo largo de esta discusión.

Se debe acotar que el establecimiento proporcional (de 100% para el total de la cuenca a 0.73% para el campus universitario) en cuanto a la población para el campus PUCP es muy referencial y puede no ser exacto, ya que el conteo de la población de los distritos que se encuentran dentro de la cuenca Rímac está de antemano considerando a la mayoría de la población universitaria que proviene de muchos distritos de esta cuenca. Sin embargo, cuando esta población consume agua en la universidad, no lo hace en sus domicilios en los distritos de Lima. Otro factor de este establecimiento proporcional es que se constituyó la misma proporción de uso de agua (0.73% de la disponibilidad de agua para la cuenca consignada para el campus PUCP) pero no se consideró el hecho de que en la cuenca Rímac hay sectores distintos (industriales, agrarias, pecuarias, entre otras) que pueden requerir más o menos uso de agua que el sector doméstico del campus PUCP. Por lo tanto en esta proporción establecida no se ha tomado en cuenta la diversidad de usos de agua de distintos sectores, sino solo es el sector doméstico el considerado para una distribución del uso del agua.

En cuanto a la determinación del régimen o cantidad para el requerimiento ambiental, caudal ecológico o caudal ambiental, existe un gran número de metodologías. La elección de aplicación de una de ellas deberá determinarse tomando como base el objetivo ambiental correspondiente a la cuenca hidrológica en estudio en una gestión del agua. Ejemplos de metodologías son (CONAGUA et al., 2012):

- Metodología para determinar el requerimiento ambiental de la cuenca mediante el estudio de una serie de caudales históricos, como la de Tennant o la de Montana. Se definen los caudales ecológicos como un porcentaje del caudal medio histórico. Este tipo de metodología es sencilla en términos de aplicación, se necesitan relativamente pocos datos y permite conseguir resultados en un corto plazo.
- Metodología del Physical Habitat Simulation (PHABSIM), método más detallado que requiere una cantidad de información, dedicación, tiempo y recursos considerablemente mayor. Consiste en un análisis exhaustivo de la

cantidad y calidad del hábitat físico disponible para la biota, donde se vincula información hidrológica, hidráulica y biológica.

- Metodologías holísticas como Building Block Methodology (BBM) y Downstream Response to Imposed Flow Transformation (DRIFT), las que requieren de registros históricos de caudales, variables hidráulicas y modelos que relacionen el caudal con requerimientos de algunos componentes del ecosistema, además de información económica y social.

Sostenibilidad de la Huella Azul: dimensión ambiental

La principal fuente de escurrimiento de agua para el abastecimiento de agua azul para la PUCP que se consideró es el caudal del río Rímac. Este dato de escurrimiento de agua no es exacto. Deben tenerse en cuenta factores como: la constitución del escurrimiento natural (las precipitaciones que no escurren en el río de la cuenca también son parte de este escurrimiento, sobre todo en la parte alta y media de la cuenca); el agua subterránea que aflora a la superficie o que se extrae del subsuelo; solamente el caudal de río Rímac no es tratado por SEDAPAL para abastecer de agua potable a la ciudad de Lima (están también aportes de caudales de ríos como el Chillón, Lurín y Mantaro).

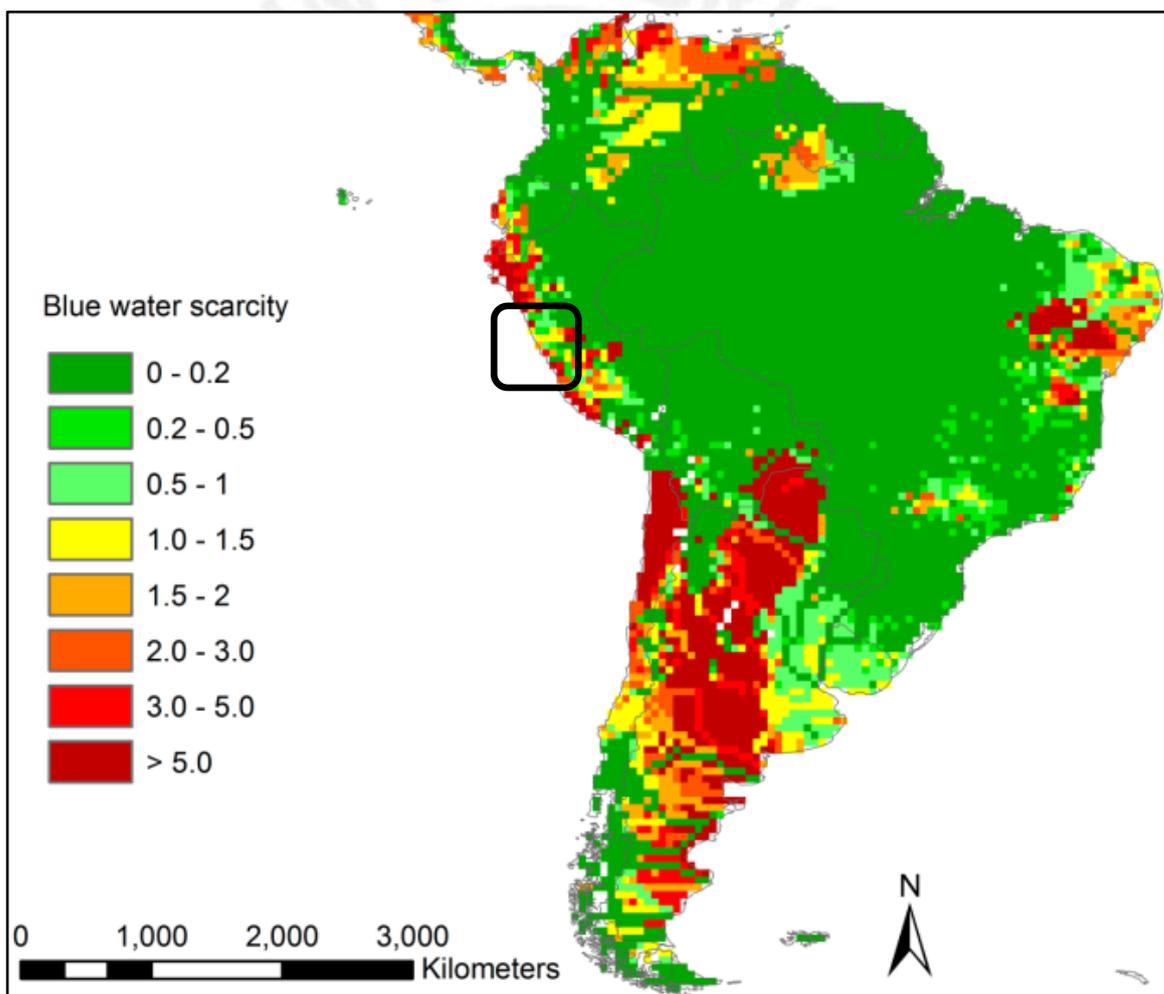
El caudal de este último río, parte de la cuenca del Mantaro, representa un aporte de más de la mitad del escurrimiento natural del río Rímac para abastecimiento del agua a la mayor parte de la ciudad de Lima (como se explica más detalladamente en la sección 2.2.1).

En la figura 22 se aprecia que los valores de la Huella Azul son mayores en los meses de febrero, abril a junio y de setiembre a noviembre. Estos meses coinciden con una mayor demanda de agua debido a los meses de mayor actividad de los ciclos de verano (2014-0), los ciclos regulares (2014-1 y 2014-2). Estos periodos de mayores valores de Huella Azul también coinciden con una menor oferta de agua de la disponibilidad real del caudal del río Rímac. Lo anterior significa que a mayor demanda de agua, menor es la oferta (no hay lluvias abundantes en la parte

alta de la cuenca que alimenten el caudal del río Rímac) de la misma durante el año 2014.

Se creyó oportuno incluir y mostrar un mapa de una publicación reciente de los autores Mekonnen et al., del año 2015. Este artículo se enfoca en el consumo de agua sobre todo en la agricultura de la región, sin embargo corrobora la escasez de agua azul que existe en la costa del país y en la capital del Perú. Este estudio fue realizado a escala espacial de continente (escala muy pequeña para ver en detalle), sin embargo se puede observar la escasez severa localizada en la costa peruana, y posiblemente Lima.

Mapa 5: Promedio anual de escasez de agua azul en Sudamérica



Fuente: Mekonnen et al., 2015

En la costa oeste de Sudamérica, específicamente en Perú y Chile, la Huella Azul excede la disponibilidad de agua azul, lo que resulta en un índice de escasez de agua azul de hasta mayor a cinco (Mekonnen et al., 2015).

Sostenibilidad de la Huella Azul: dimensión social

El rango de volumen estándar de agua diario perteneciente a las NU (50-100 litros) es una cantidad de agua mínima para cubrir las necesidades humanas básicas durante un día. Estas son relativas a cada persona, de acuerdo a sus prioridades y actividades (OMS, 2009). El concepto de necesidades básicas no se puede aplicar a todo aquello que la población universitaria realiza en el campus PUCP, no todas las actividades que se realizan en la universidad se tratan de necesidades humanas esenciales para una persona y también no todas las necesidades humanas básicas se realizan fuera del campus PUCP, sobre todo en el domicilio de la persona. Este trabajo de tesis maneja este rango como referencial para utilizar agua durante el tiempo de asistencia al campus PUCP. Es así que los litros promedios usados por cada tipo de población universitaria están debajo del rango estándar de litros de agua de las NU solo durante las horas de asistencia al campus PUCP. El resto de horas del día estas personas también tienen que usar agua y es correcto que sobrepasen este rango de litros ya que este solo cubre las necesidades básicas. El exceso de agua por encima del rango dependerá de los hábitos, necesidades y acceso al agua que cada persona tenga.

Debe acotarse el caso del tipo de población universitaria de personal obrero la situación de necesidades básicas para uso del agua guarda una diferencia con relación a los otros tipos de población universitaria. En primer lugar el personal obrero sobrepasa por una considerable cantidad de agua el rango de volumen estándar de agua diario perteneciente a las UN durante el tiempo de permanencia en el campus PUCP. Hay que señalar que este exceso se trata de un elevado uso y consumo de agua para realizar su trabajo en el campus PUCP. Entonces no puede considerarse una insostenibilidad social ya que es un importante volumen de agua que se destina a su trabajo, a su sustento económico para vivir, mas no solamente a necesidades básicas del ser humano.

Sostenibilidad de la Huella Gris

Se separó la Huella Azul de la Huella Gris siguiendo la idea de la existencia de la primera y la ficción de la segunda (es agua que en la realidad no existe). Asimismo la separación se hizo para una mejor apreciación de los excesos de cada una de estas Huellas con respecto a la disponibilidad de agua. No obstante, el agua disponible es una sola y la comparación de estos dos consumos de agua y sus excesos con relación a esta agua disponible debe considerarse como una sola también.



CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES

En este último capítulo se abordan la formulación de sugerencias para una reducción de la HH y las reflexiones finales que se han desprendido de los cinco capítulos anteriores. Las sugerencias que se formulan son generales, no se detallan para cada caso. Las reflexiones finales son consideraciones para una evaluación crítica de la metodología y consideraciones para su aplicación en otros casos, que se generaron a lo largo de este trabajo de investigación.

6.1. Formulación de sugerencias

Una vez que se calcularon los valores del cálculo de la HH de campus PUCP, se elaboraron una serie de recomendaciones generales que pueden llevarse a cabo a futuro para ahorrar agua en su uso, y así reducir la HH de los consumos de agua. De esta manera se promueve la utilización ambientalmente sostenible del recurso hídrico. Se toma en cuenta el consumo de agua de la Huella Azul, de la Huella Indirecta y sobre todo de la Huella Gris, la cual exige mayor atención en acciones de tratamiento de agua contaminada. Las medidas sugeridas están relacionadas al uso del agua, ya que ahorrando en esta, el consumo de agua será menor.

6.1.1. Huella Directa

6.1.1.1. Huella Azul

Algunas medidas estructurales que se tienen: En cuanto al riego de áreas verdes en el campus PUCP, se deberían cambiar las horas de riego durante las horas de mayor radiación solar (de 11 a 3 pm aproximadamente) a horas de la tarde-noche (menor radiación solar) o muy temprano, para evitar mayor evaporación del agua de riego en horas de radiación solar considerable, especialmente en la estación de verano y primavera.

Asimismo, debería regarse con agua reutilizable (previamente bien tratada) aquellas zonas de áreas verdes de tamaño considerable, colocando un aviso en la

zona que se trata de áreas verdes regadas con agua reutilizada. Municipalidades como la de distritos de San Borja o Miraflores se encargan de regar con agua tratada áreas verdes de su municipio. Igualmente se debería limpiar el exterior de las instalaciones, suelos de los edificios de la universidad, vehículos y veredas de la PUCP con agua reutilizable (previamente bien tratada).

Debe tomarse en cuenta que la cobertura de áreas verdes en el campus PUCP está constituida en su gran mayoría por jardines y grass, siendo este tipo de cobertura demandante de una gran cantidad de agua para riego. Por lo que se debería considerar cambiar la cobertura de áreas verdes en el campus PUCP con una vegetación que necesite poca agua para sobrevivir, como una cobertura con xerofíticas o viveros (ILPÖ, 2013) en los jardines poco concurridos por la comunidad universitaria.

Con referencia a los usos de agua personales en el campus PUCP, por un lado, se deberían cambiar aquellas instalaciones sanitarias antiguas por nuevas (inodoros con tanques y descargas de menor capacidad de agua, o inodoros con sistema dual: tienen un mecanismo de activación de dos opciones, diferenciándolos por la cantidad de agua según la descarga deseada: líquidos y sólidos; también existe la opción de urinarios secos, esto es, que no utilizar agua para su funcionamiento). Existen instalaciones nuevas (casetas, entre otras) que tienen lavatorios que podrían cambiarse de manuales a controlados (con flujo de agua que se descarga por un tiempo determinado). Por otro lado, el personal de mantenimiento oportuno debería estar atento para advertir y resolver en el mínimo tiempo posible las fugas en las instalaciones sanitarias del campus PUCP.

La Huella Azul es un consumo muy pequeño comparado con los otros consumos de agua, pero uno de los principales usos de agua en la PUCP. Por lo que, las acciones que podrían realizarse para ahorrar en el uso del agua azul, y por ende ahorrar en el consumo de la Huella Azul, no son difíciles y podrían llevarse a cabo con facilidad por las personas que forman parte de la comunidad PUCP.

En cuanto a medidas no estructurales, se puede mostrar en carteles en los servicios higiénicos la cantidad de agua que se consume en cada acción de uso personal, así informar a los usuarios de agua con cifras cuánto de agua es lo que se consume. Igualmente explicar con infografías a los responsables del riego el proceso de evaporación mayor del agua cuando se riega en horas de mayor radiación solar, y la diferencia de regar en horas de menor radiación solar. Esto advertirá sobre el mayor y menor consumo de agua respectivamente.

6.1.1.2.Huella Gris

Ya que es el consumo más grande de agua en el campus PUCP, se debería invertir más dedicación y recursos a la Huella Gris. La PUCP debería asegurarse de que el agua utilizada por esta institución reciba un correcto tratamiento (disolución en mayor medida de contaminantes contenidos en el agua, de la DBO especialmente). De esta manera poder reutilizar el agua por ejemplo para el riego de áreas verdes y en limpieza del campus. De ser tratada correctamente, el agua llegaría a la PTAR de Lima correspondiente en un estado más limpio, entonces se requeriría menos agua para su tratamiento final. La instalación de una PTAR propia de la PUCP sería una acción muy innovadora acorde con una universidad de alto nivel como la PUCP. Un ejemplo de un proyecto estratégico e innovador de instalación de una PTAR en la ciudad de Lima pertenece al Instituto de Planificación del Paisaje y Ecología de la Universidad de Stuttgart (ILPÖ). La PTAR estaría ubicada en las riberas del río Chillón y se establecería un parque ribereño en la zona (Ibíd.). Esto sería un interesante modelo a seguir por una institución de prestigio como la PUCP. También está el modelo de instalación de una PTAR en el parque María Reiche del malecón de Miraflores, en el distrito limeño del mismo nombre. Esta agua tratada se destinará al riego de una porción de áreas verdes del distrito. (Municipalidad de Miraflores, 2016)

6.1.2. Huella Indirecta

El consumo de agua de la Huella Indirecta está presente principalmente en los elementos de electricidad, papel y alimentos. Con relación a la electricidad se economiza en esta controlando el uso de energía eléctrica con las siguientes acciones: apagar la iluminación en los sectores y salones de la PUCP en donde no haya público. Apagar los equipos y artefactos de las aulas, en donde no haya clases ni otra actividad extracurricular. Igualmente en oficinas u otros espacios donde no haya ninguna actividad.

Con relación al papel el ahorro estaría en utilizar hojas de papel de menor peso, así se reducirían las toneladas adquiridas y el volumen de agua consumida sería menor. Algunas acciones serían: Adquirir papeles (sobre todo el tipo más usado como son los de tamaño A4) de menor gramaje. Otra opción sería adquirir papel reciclado para fines que no tengan importancia institucional.

Con relación a los alimentos, la economía en el consumo de agua está en el uso de ingredientes de las comidas preparadas. Así, dejar de consumir ingredientes de origen animal tan seguido y en abundancia, haría que la Huella Indirecta de este elemento se reduzca. Entonces podría ser una opción incluir en la dieta de los menús universitarios una menor cantidad de carne, que es el insumo que contiene una mayor HH. En la semana podrían incluirse más días de platos con insumos de origen vegetal (menestras, verduras, cereales) o con pescado.

6.2. Reflexiones finales

Es imperioso señalar que la evaluación de la HH es una aproximación a la realidad del consumo de agua. No hay manera de calcular los datos con exactitud. Entonces debe tenerse en cuenta que todos los cálculos, incluidos los de la evaluación de la Sostenibilidad son cercanos, mas no exactos al verdadero consumo de agua.

Objetivos de este trabajo de tesis y utilidad de la HH

En primer lugar, se considera que cerca de la totalidad de los objetivos planteados en este trabajo de investigación se han cumplido hasta estas líneas. El primer objetivo que fue cuantificar la Huella Directa con sus componentes: las Huellas Azul, Verde y Gris, y la Huella Indirecta con los mismos componentes, se realizó en la segunda fase de la evaluación de la HH: Contabilidad de la HH. El segundo objetivo de identificar cantidades grandes en el consumo de agua, estuvo sobre todo en el reconocimiento de que la Huella Gris como un consumo muy grande, es decir que el volumen de agua que se requiere para asimilar la contaminación es tan grande que es completamente insostenible ambientalmente, afirmación que se concluyó luego de haber efectuado el análisis de Sostenibilidad, parte de la tercera fase de evaluación de la HH. En relación a los hotspots, estos no se establecieron ya que no se presentó situación anómala de insostenibilidad ambiental en algún o algunos meses, por el contrario, la insostenibilidad ambiental se demostró en cerca de todos los meses del año 2014 en el caso la Huella Azul, y en los doce meses del año estudiado en el caso de la Gris. En cuanto al tercer objetivo: formular respuestas a manera de sugerencias para que los consumos hallados sean menos insostenibles ambientalmente en el futuro, esto se hizo en la primera parte del capítulo VI, se reitera que las sugerencias ejecutadas son propuestas generales, sin detalles especializados. El cuarto objetivo que fue sensibilizar a la comunidad universitaria sobre el consumo elevado de agua, enfatizando en la Sostenibilidad del uso y consumo del agua en el campus PUCP, se espera que luego de ser público este trabajo de tesis, pueda llegar al conocimiento de una parte de la comunidad universitaria y enseñar sobre un uso responsable del agua. Un proyecto post presentación de este trabajo de investigación es compartirlo con la Dirección Académica de Responsabilidad Social (DARS) a fin de conseguir mayor difusión de los resultados de la HH del campus PUCP. Con relación al último objetivo que fue de evaluar la utilidad del cálculo de la HH y realizar propuestas sobre su aplicación a otras instituciones, se define en las próximas líneas.

Es considerado que un cálculo de cierto consumo de algún bien o servicio (natural o no) permite llevar la cuenta de lo que efectivamente se está gastando, y si este

gasto está dentro o fuera de lo que se tiene disponible. Lo anterior es un concepto de Contabilidad ya explicado, y es estimado ser la razón de la medición de la HH de cierto lugar, consumidor, grupo de consumidores, producto o conjunto de productos. La Contabilidad y la evaluación de Sostenibilidad son la utilidad de la medición de la HH. Es ciertamente saber los recursos con los que se cuentan, cómo y dónde se gastan, y luego compararlos con la disponibilidad de recursos que la naturaleza destina para uso humano. También significa comparar los recursos con estándares fijados por el ser humano para el consumo de dichos recursos. El fin último y principal de la medición de la HH es averiguar si hay un exceso o no de consumo de los recursos naturales y si lo hay, corregir esta situación para buscar un consumo responsable y sostenible en el futuro. La Contabilidad y la evaluación de Sostenibilidad se consideran también el fin de otros indicadores de medición de demandas humanas como la Huella Ecológica o la de Carbono, excepto que su medición se da en otros recursos propios de la naturaleza.

Para la aplicación de la evaluación de la HH a otras instituciones se propone esencialmente considerar a una institución como un grupo de consumidores, entidad que está contemplada en el Manual de la metodología utilizada. Dichas instituciones son un grupo de personas que utilizan y consumen determinado recurso que se pretende medir, razón por la cual se consideran un conjunto de consumidores. También se propone considerar y contabilizar usos y consumos de agua desde el momento que se ingrese a la institución. El Manual de evaluación de la HH utilizado puede no ser muy claro al momento de determinar el inicio de las acciones y consumos humanos que serán objeto de medición para determinar la HH.

Una consecuencia provechosa que se generó luego de haber realizado este trabajo de investigación, es que se implantó un modelo de cálculo de la HH según la metodología de la WFN para instituciones educativas como universidades en el país. Este modelo podría ser imitado por otras iniciativas que se preocupen por el consumo de agua en su institución. La presente aplicación de la medición de la HH es un primer hito en el país en la utilización de herramientas para medir los

impactos de consumo de agua en el sector educativo. Esta medición también puede ser un ejemplo o guía para cálculos de HH que utilicen otras metodologías actualmente en apogeo como la metodología ISO 14 046 para medición de HH.

Un aspecto que llama la atención es que mediciones de HH se han llevado a cabo hasta ahora en empresas del país. Una posible explicación puede ser que las empresas, en el afán de buscar rentabilidad y ganancias, se preocupen por proyectar una imagen responsable y sostenible hacia el público que son sus clientes. Por lo que preocuparse por ser responsables social y ambientalmente, utilizando herramientas de medición de consumos humanos como la HH, puede generarles más ingresos.

No se debe dejar de tomar en cuenta y considerar a la evaluación de la HH como un indicador muy útil para evaluar el uso de recursos naturales como el agua dulce, sin embargo es solo una herramienta para empezar a vislumbrar el camino hacia respuestas al tema de la insostenibilidad. Indudablemente la HH requiere complementarse con otras herramientas e indicadores referentes a otros aspectos (que no sean el consumo de agua dulce) para comprender el amplio tema de la Sostenibilidad.

¿Por qué la metodología de la WFN?

La aplicación de la metodología de la WFN es relativamente sencilla pero laboriosa (se necesitó realizar muchos cálculos matemáticos) y demanda tiempo y dedicación. La importancia de aplicar esta metodología, y una de las razones por la que se le prestó atención, se centra en su análisis de Sostenibilidad.

La metodología de la WFN contempla estudios (procedimientos) para hallar la HH de un proceso, de un producto, de un consumidor o grupo de consumidores (como ya se mencionó), de un área geográfica determinada de una compañía o empresa, o de una nación. No contempla explícitamente calcular la HH de una institución educativa, por lo que varios aspectos de dicha metodología han tenido que ser adaptados a la realidad de una institución educativa superior (como la

diferenciación de tipos de población universitaria, o el conteo y cálculo de la HH de la comida). Seguramente en el futuro esta adaptación y aplicación de la metodología va a ser mejorada ya que dificultades y problemas serán detectados y corregidos, realizando los ajustes correspondientes.

Se considera que en algunas partes, esta metodología es poco precisa para su aplicación y deja la solución en manos del investigador (como en el momento desde donde se debe empezar a considerar acciones humanas materia de medición de HH de la PUCP, como se señaló líneas arriba), por lo que algunos de los datos necesarios estuvieron basados en presunciones para poder realizar los cálculos correspondientes, especialmente en relación a los usos personales de la contabilidad de la Huella Directa, o a los elementos que deben considerarse para calcular la Huella Indirecta. Estas dificultades se desprenden del hecho de que la metodología de la WFN no contempla la medición de la HH en instituciones educativas. Algunas de estas dificultades relacionadas a los usos personales se generan cuando no se consideran todos los usos de agua que tienen las personas dentro de instituciones educativas, o la variedad de estos usos que se dan por cada grupo de personas de cada tipo de población universitaria.

Un trabajo referencial para la aplicación de la metodología de la WFN y para la elaboración de la presente investigación, fue la tesis de titulación de la HH de la UTEM de Santiago de Chile, uno de los primeros trabajos de medición de HH en una institución educativa en América Latina. El valor de este trabajo extranjero fue que constituyó un modelo y ejemplo aplicado en una realidad geográfica y ambiental no tan disímil culturalmente ni lejana geográficamente de la nuestra. Saber que se evaluó la HH en una institución superior en un país vecino al Perú sirvió de aliciente e incentivó a llevar a cabo este trabajo de investigación.

Con el fin de realizar los cálculos correspondientes para la contabilidad de la HH, se solicitaron una serie de datos a las áreas administrativas de la PUCP. Algunas de estas áreas entregaron la información solicitada en corto tiempo con muy buena disposición, otras entregaron la información en más tiempo, y otras (la minoría) no dieron razón o se negaron a entregar dicha información. Es un hecho que la

burocracia para solicitar información relativa al consumo y gastos administrativos en una universidad como la PUCP (en ningún momento se solicitó información económica o de costos) no se puede pasar por alto. Para una estudiante de pregrado (al inicio de trabajo de investigación) y posterior egresada, esta burocracia puede resultar un poco más engorrosa. Esta entrega de información es importante porque contribuye a que los cálculos de la HH se puedan efectuar sin inconvenientes, esto lleva a una evaluación de la HH que no requiera de muchas presunciones y sea cercana a la realidad.

En la etapa de encuestas (recolección de información a la comunidad universitaria) para determinar las salidas de los usos personales de agua, uno de los problemas con el que se tuvo que lidiar fue la gran inexactitud (involuntaria) de los tiempos (preguntas en segundos) e información relacionados a los usos de agua personales, sobre todo por parte del personal obrero de la PUCP. La magnitud del tiempo de los segundos durante los cuales se usa el agua no es nada clara para ellos, preguntas a las que les costaba responder. Este hecho se ha relacionado a la dificultad de expresión y explicación, sobre todo de actividades cotidianas (hubo muchos comentarios de que nunca se piensa en cuestiones de tiempo a la hora de realizar actividades tan cotidianas, y no solo de parte del personal obrero), lo que se ha relacionado al menor grado de instrucción recibido por estas personas. Esta situación de no tener presente información de datos tan básicos como el tiempo de duración del uso del agua al momento de lavarse las manos es completamente comprensible. Sin embargo, ocasiona un mayor margen de error al momento de registrar y computar las respuestas que son necesarias para el cálculo de la Huella Directa.

Otra dificultad con la que se tuvo que lidiar al momento de entrevistar al personal obrero fue la poca disposición que mostraron para contestar a la encuesta. Algunos se negaron a responder, otros no lo hicieron con buena voluntad, otros solo respondieron una parte de las preguntas argumentando que no tenían tiempo para responder a encuestas, y un grupo pedía que se le leyese la encuesta mientras seguían trabajando, lo que les impedía ver las opciones de respuestas a cada

pregunta, diciendo cualquier respuesta (a pesar de leer las opciones de respuesta para ellos).

Análisis de Sostenibilidad

La Sostenibilidad es un concepto complejo y puede interpretarse de diferentes maneras. El análisis de Sostenibilidad de este estudio también ha sido efectuado según la metodología de la WFN. Esto ha significado considerar las implicancias ambientales, sociales y económicas (este último aspecto no se abordó en el presente trabajo) que el consumo de agua hallado puede tener dentro de la realidad (realidad de escasez de agua) y el ámbito geográfico donde se ubica el lugar de estudio (la PUCP se encuentra en el área de Lima Metropolitana, y esta a su vez es parte de la cuenca del río Rímac, cuenca parte de la vertiente del Pacífico. Como se ha mencionado en la discusión sobre la evaluación de la Sostenibilidad, existen varias limitaciones y dificultades, especialmente en la dimensión social de la Sostenibilidad de la Huella Azul, que no pudieron superarse (como la relación de la población total de la cuenca y la población del campus PUCP en la dimensión ambiental de la Sostenibilidad de la Huella Azul, y su correspondiente proporción de uso de agua; o la estimación de litros utilizados en un día fuera del promedio de los litros usados en el campus PUCP en la dimensión social de la Sostenibilidad de la Huella Azul) pero se ha tratado de no dejar de realizar esta evaluación de la Sostenibilidad.

En cuanto al escurrimiento natural del ecosistema, considerado así al caudal del río Rímac, no puede dejar de resaltarse el hecho de que este escurrimiento esté conformado por más de solamente el caudal de este río. El aporte al volumen de agua proveniente del río de la cuenca del Mantaro, mediante la cantidad de agua represada que es transportada por medio del túnel Trasandino es una contribución esencial al volumen final del río Rímac y por consiguiente al agua azul disponible para la mayor parte de la capital del país. Entonces el escurrimiento natural del río Rímac es en gran parte el aporte de agua que proviene fuera de la cuenca Rímac y en general fuera de la vertiente del Pacífico.

La disponibilidad de agua real es la porción del caudal que queda una vez que una parte del escurrimiento natural del caudal se destina a requerimientos ambientales (regla del 80%). Este porcentaje es una proporción que puede cambiar según cada caso. La regla del 80% es recomendación que figura en el manual de evaluación de HH, pero no tiene que ser obligatoriamente aplicada en esas proporciones. En este trabajo de tesis se escogió aplicarla para tener una dimensión ambiental que analizar, ya que sin este requerimiento no habría comparación del consumo (HH) con el requerimiento ambiental del ecosistema, y esto es el propósito del análisis en una dimensión ambiental. Sin embargo, se tiene presente que con un cambio en estas proporciones la insostenibilidad ambiental de la Huella Azul en la mayoría o en todos los meses del año 2014 puede desaparecer, pero por más que no se aplique ninguna proporción para el requerimiento ambiental de ecosistema, la Huella Gris seguiría siendo insostenible ambientalmente.

En la dimensión social de la Huella Azul, se aclaró que el gran exceso en el rango del volumen estándar de agua diario de las NU en el personal obrero se debe a sus labores de trabajo en el campus PUCP.

Concluyendo, la evaluación de la HH arrojó los resultados de una insostenibilidad ambiental parcial de la Huella Azul (10 de los 12 meses presentan insostenibilidad; los otros dos meses son meses de abundante precipitación en la parte alta de la cuenca, lo que representa un considerable aporte de agua al río Rímac) y una insostenibilidad ambiental total, y severa, de la Huella Gris. Lo que significa, en la Huella Azul, que el consumo de agua superficial (agua que viene de los ríos a través de SEDAPAL) y subterránea (agua que viene del subsuelo a través del pozo de SEDAPAL) en el campus PUCP excede la disponibilidad de agua real (considerando un 80% como requerimiento ambiental) correspondiente al campus PUCP. El concepto de hotspot ambiental ya no es aplicable porque un hotspot es un punto de insostenibilidad ambiental que tiene un carácter anómalo, el cual está fuera de la situación común analizada. Lo común es una insostenibilidad

ambiental durante la mayoría de los meses del año 2014, lo anómalo serían más bien los periodos del año sostenibles (disponibilidad real mayor a la Huella Azul). La total (durante todo el año analizado) y fuerte insostenibilidad ambiental de la Huella Gris implica que un gran volumen de agua se requiere para disolver los contaminantes del agua que genera la población universitaria en el campus PUCP. Tampoco existen hotspots ambientales ya que la situación de insostenibilidad ambiental se presenta en cada uno de los doce meses del 2014. La contaminación es muy grande y la única solución conocida es la instalación de una PTAR por parte de la PUCP.



CITAS Y REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGENCIA ALEMANA DE COOPERACIÓN PARA EL DESARROLLO (GIZ) (2013). *Programas y proyectos de la GIZ que apoyan políticas públicas con el cambio climático en el Perú*. Lima.
- AGRODER (2012). *Huella Hídrica en México en el contexto de Norteamérica*. WWF México. México DF.
- ALLEN, Richard; PEREIRA, Luis; RAES, Dirk; SMITH, Martin (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Documentos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación sobre riego y drenaje, 56. Roma.
- ARANEDA, Ronnie; ÁLVAREZ, Juan; ARGUDO, Geovanny (2013). *Huella Hídrica (water footprint)*. Galileo, 23. Universidad de Cuenca.
- ARTHINGTON, Angela; BUNN, Stuart; POFF, LeRoy; NAIMAN, Robert (2006). *The challenge of providing environmental flow rules to sustain river ecosystems*. *Ecological Applications*, 16 (4).
- AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA (ANA) (2016a). *Uso consuntivo del agua*. Lima. http://wiki.ana.gob.pe/index.php?title=Uso_consuntivo_del_agua
- AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA (ANA) (2016b). *Uso no consuntivo del agua*. Lima. http://wiki.ana.gob.pe/index.php?title=Uso_no_consuntivo_del_agua
- AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA (ANA) (2014). *Inventario de glaciares del Perú*. Huaraz.
- AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA (ANA) (sin fecha). *Cultura del agua*. Lima. <http://www.ana.gob.pe:8094/informacion-relevante/cultura-del-agua.aspx>
- BADII, M.H. (2008). *La huella ecológica y sustentabilidad*. *Daena: International Journal of Good Conscience*, 3 (1).
- BARRAZA, Víctor; BECERRA, Camila (2013). *Huella hídrica de la Universidad Tecnológica Metropolitana*. Tesis de titulación en ingeniería de prevención de riesgos y medio ambiente. UTEM, Santiago de Chile.

- BERNEX DE FALEN, Nicole (2013). *La gestión de los recursos hídricos en el Perú*. (Palestra, Portal de Asuntos Públicos). Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima.
- BÓRQUEZ, Rodrigo (2010). *Huella de carbono*. ADCMA, 26. Publicaciones fundación Terram.
- BRUNO, Aina (2014). *Institucionalización de la sostenibilidad ambiental del campus universitario desde el enfoque de responsabilidad social universitaria en la pontificia universidad católica del Perú entre los años 2007 y 2013*. Tesis de maestría en desarrollo ambiental. PUCP, Lima.
- BUTRÓN, Gisella; PALOMINO, Juan; REINA, César (2013). *Plan estratégico del distrito de San Miguel*. Tesis de maestría en Administración estratégica de empresas. PUCP, Lima.
- CHAPAGAIN, A.K; HOEKSTRA, A.Y. (2010). *The green, blue and grey water footprint of rice from both a production and consumption perspective*. Value of Water Research Report Series 40.
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA; SECRETARÍA DE AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES; THE NATURE CONSERVANCY-AMÉRICA LATINA, WORLD WILD LIFE-PROGRAMA MÉXICO et al. (2012). *Norma Mexicana NMX-AA-159-SCFI-2012 que establece el procedimiento para la determinación del caudal ecológico en cuencas hidrológicas*. México D.F.
- DECRETO SUPREMO N° 015-2015 MINAM. Diario Oficial El Peruano. Lima, Perú. 19 de diciembre del 2015.
- DEPARTAMENTO DE ASUNTOS ECONÓMICOS Y SOCIALES DE LAS NACIONES UNIDAS (ONU-DAES) (2014). *Decenio Internacional para la Acción "El agua como fuente de vida" (2005-2015). La escasez de agua*. <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/scarcity.shtml>
- DEPARTAMENTO DE ASUNTOS ECONÓMICOS Y SOCIALES DE LAS NACIONES UNIDAS (ONU-DAES) (sin fecha). *Decenio Internacional para la Acción "El agua como fuente de vida" (2005-2015)*. <http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/background.shtml>

- FARELL, Carole; TURPIN, Sylvie; SUPPEN, Nydia (2013). *Huella de agua de uso público-urbano en México*. Realidad, datos y espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía. 4, (1). México DF.
- FERNÁNDEZ, Alexander (2008). *Estudio de prefactibilidad para la producción y comercialización de papel a partir de eucalipto*. Tesis de licenciatura en Ingeniería Industrial. PUCP, Lima.
- FONDO MUNDIAL PARA LA NATURALEZA - WWF MÉXICO (2012). *Huella hídrica en México en el contexto de Norteamérica*. AgroDer, México D.F.
- GERBENS-LEENES, P.W; HOEKSTRA, A.Y; VAN DER MEER, Th.H. (2008). *Water footprint of bio-energy and other primary energy carriers*. Value of water Research Report Series, 29.
- GALLI, Alessandro; ERCIN, Ertug; WEINZETTEL, Jan; CRANSTON, Gemma (2013). *A Footprint Family extended MRIO model to support Europe's transition to a One Planet Economy*. *Science of the Total Environment*. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2012.11.071
- GALLI, Alessandro; WIEDMANN, Thomas; ERCIN, Ertug, KNOBLAUCH, Doris; EWING, Brad; GILJUM, Stefan (2012). *Integrating Ecological, Carbon and Water footprint into a "Footprint Family" of indicators: Definition and role in tracking human pressure on the planet*. Technical document. One planet Economy Network, 16. Doi:10.1016/j.ecolind.2011.06.017
- HESS, Tim (2010). *Estimating Green Water Footprints in a Temperate Environment*. *Water*, 2. Doi: 10.3390/w2030351
- HOEKSTRA, Arjen (2015). *The sustainability of a single activity, production process or product*. *Ecological Indicators*, 57.
- HOEKSTRA, Arjen (2012). *The hidden water resource use behind meat and dairy*. *Animal Frontiers*, 2 (2).
- HOEKSTRA, Arjen; MEKONNEN, Mesfin (2012). *The water footprint of humanity*. *National Academy of Sciences*, 109 (9).

- HOEKSTRA, Arjen; MEKONNEN, Mesfin (2011). *Global water scarcity: The monthly blue water footprint compared to blue water availability for the world's major river basins*. Value of Water Research Report Series 53.
- HOEKSTRA, Arjen; CHAPAGAIN, Ashok; ALDAYA, Maite; MEKONNEN, Mesfin (2011). *The water footprint assessment manual. Setting the global standard*. Water Footprint Network.
- HOEKSTRA, Arjen; CHAPAGAIN, Ashok; ALDAYA, Maite; MEKONNEN, Mesfin (2010). *Manual de Evaluación de la huella hídrica. Definiendo una norma global*. Water Footprint Network.
- HOEKSTRA, Arjen; CHAPAGAIN, Ashok; ALDAYA, Maite; MEKONNEN, Mesfin (2009). *Water footprint manual: state of art*. Water footprint report.
- HOEKSTRA, Arjen; CHAPAGAIN, Ashok (2007). *Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern*. Water Resource Management, 48. Doi: 10.1007/s11269-006-9039-x
- HOFF, H; DÖLL, P; FADER, M; GERTEN, D; HAUSER, S; SIEBERT, S. (2014). *Water footprints of cities – Indicators for sustainable consumption and production*. Hydrology and Earth System Sciences, 18. Doi: 10.5194/hess-18-213-2014
- HUELLA DE CIUDADES (2015). *Manual de Evaluación: Manual para la evaluación de la Huella Hídrica*. Huella de Ciudades.
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). SUBDIRECCIÓN DE HIDROLOGÍA - GRUPO LABORATORIO DE CALIDAD AMBIENTAL (2007). *Demanda Bioquímica de Oxígeno 5 días. Incubación y electrometría*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia.
- INSTITUTO DE PLANIFICACIÓN DEL PAISAJE Y ECOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE STUTTGART (2013). *Estrategias integradas de planificación urbana y herramientas de planificación*. Lima Water (Liwa). Lima.
- INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO (1992). Mapa geológico de los cuadrángulos de Chancay y Lima. Lima: Ministerio de Energía y Minas. En BRUNO DÍAZ, Aina. (Ed.) *Institucionalización de la sostenibilidad*

- ambiental del campus universitario desde el enfoque de responsabilidad social universitaria en la pontificia universidad católica del Perú entre los años 2007 y 2013*. Tesis de maestría en desarrollo ambiental. PUCP. Lima.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA (INEI) (2015). *Perú: síntesis estadística 2015*. Lima.
- JOUANNEAU, S; RECOULES, N; DURAND, M.J; BOUKABACHE, A; PICOT, V; PRIMAULT, Y; LAKEL, A; SENGUELIN, M; BARILLON, B; THOUAND, G. (2014). *Methods for assessing biochemical oxygen demand (BOD): a review*. Water Research, 49. Doi: 10.1016/j.watres.2013.10.066
- JOWETT, I.G. (1997). *Instream flow methods: a comparison of approaches*. Regulated rivers: research and management, 13.
- LLAMAS, Ramón (2005). *Los colores del agua: el agua virtual y los conflictos hídricos*. Real academia de ciencias exactas físicas y químicas, 99 (2).
- LUDUVICE, Mauricio (2001). *Prestación de Servicios de Recolección, Transporte y Tratamiento de Desagües con Características No Domésticas: Propuesta de Modelo de Cobro Diferenciado en Función de la Carga Contaminante*. PROAGUA. Lima.
- MENDOZA, María Fernanda; NÚÑEZ, Lorena, PACHECO, Diana (2014). *Cálculo del consumo de agua virtual y su impacto en la huella hídrica de los estudiantes de la preparatoria federal por cooperación "Lic. Andrés Quintana Roo"*. Resumen académico. Academia de Ciencias de Morelos, Cuernavaca.
- MEKONNEN, Mesfin; PAHLOW, Markus; ALDAYA, Maite; ZARATE, Erika; HOEKSTRA, Arjen (2015). *Sustainability, Efficiency and Equitability of Water Consumption and Pollution in Latin America and the Caribbean*. Sustainability 7. Doi: 10.3390/su7022086
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO; AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA; ADMINISTRACIÓN DE AGUA LOCAL DE AGUA CHILLÓN, RÍMAC, LURÍN (2010). *Estudio hidrológico y ubicación de la red de estaciones hidrométricas en la cuenca del río Rímac*. Volumen I. Dirección de conservación y planeamiento de recursos hídricos, área de aguas superficiales. Lima.

- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO; AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA; AGENCIA SUIZA PARA EL DESARROLLO Y LA COOPERACIÓN; WORLD WILD FUND (2015). *Huella hídrica del Perú. Sector agropecuario*. Lima.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO; AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA: SISTEMA NACIONAL DE INFORMACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS (2015). *Compendio Nacional de Estadísticas de Recursos Hídricos*. Lima.
- MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS (2015). *Anuario Estadístico de Electricidad 2014*. Dirección General de Electricidad. Dirección de Estudios y Promoción Eléctrica. Lima.
- MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS (MINEM) (1997). *Evaluación ambiental territorial de la cuenca del río Rímac*. Dirección General de Asuntos Ambientales. Lima.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE (2012). *Informe Nacional del estado del Ambiente 2009-2011*. Lima.
- MINISTERIO DEL AMBIENTE: PORTAL DE CAMBIO CLIMÁTICO (2010a). *La situación del agua en el Perú*. Lima. <http://cambioclimatico.minam.gob.pe/manejo-de-la-tierra-y-el-agua/manejo-del-agua/la-situacion-del-agua-en-el-peru/>
- MINISTERIO DEL AMBIENTE: PORTAL DE CAMBIO CLIMÁTICO (2010b). *¿Qué es el estrés hídrico?* Lima. <http://cambioclimatico.minam.gob.pe/manejo-de-la-tierra-y-el-agua/manejo-del-agua/que-es-el-estres-hidrico/>
- MINISTERIO DE SALUD (2011). *Evaluación de muestras del agua del río Rímac y principales afluentes con datos de DIGESA y SEDAPAL -15/16 de Junio 2011*. Lima.
- MOSCOSO, Julio César (2011). *Estudio de opciones de Tratamiento y reúso de aguas residuales en Lima Metropolitana*. Ministerio Federal de Educación e Investigación de Alemania (BMBF). Lima.

- MUNICIPALIDAD DE MIRAFLORES (2016, octubre). *Nueva planta de tratamiento de agua*. Miraflores en tu corazón. N° 29. Lima.
- NACIONES UNIDAS (2006). *El agua, una responsabilidad compartida*. Segundo informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo. Resumen ejecutivo. N° 3.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO) (2016). *Base de Datos Principal AQUASTAT*. <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=es>
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO) (2014). *Agro noticias: América Latina y el Caribe*. <http://www.fao.org/agronoticias/agro-noticias/detalle/es/c/232223/>
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO) (2013). *Afrontar la escasez de agua. Un marco de acción para la agricultura y seguridad alimentaria*. Informe sobre temas hídricos, 38. Roma.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO) AQUASTAT (2013). Water withdrawal per inhabitant (m³/year). En SEVILLA, Juan Carlos. (Ed.) *Usos del agua*. ANA; Ministerio de Agricultura y Riego. Lima.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO) (sin fecha). *Effective rainfall and its significance*. <http://www.fao.org/docrep/x5560e/x5560e02.htm>
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA Y LA CULTURA (UNESCO) (sin fecha). *Educación para el desarrollo sostenible*. <http://www.unesco.org/new/es/education/themes/leading-the-international-agenda/education-for-sustainable-development/sustainable-development/>
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (2009). *Cantidad mínima de agua necesaria para uso doméstico*. Guía técnica N° 9: Guías técnicas sobre saneamiento, agua y salud.

- PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ (PUCP) (sin fecha a). *Datos Administrativos*. Lima. <http://www.pucp.edu.pe/la-universidad/nuestra-universidad/pucp-en-cifras/datos-administrativos/>
- PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ (PUCP) (sin fecha b). *Calendario de inicio y fin de actividades 2012-2017*. Lima. http://www.pucp.edu.pe/documento/guias-del-estudiante/guia-del-estudiante-2012-2-pregrado/calendario-academico/calendario_academico.pdf
- RIDOUTT, Bradley; PFISTER, Stephan (2010). *A revised approach to water footprinting to make transparent the impacts of consumption and production on global freshwater scarcity*. *Global Environmental Change*, 20.
- RITCHER, D; DAVIS, M; APSE, C; KONRAD, C (2011). *Short communication: a presumptive standard for environmental flow protection*. *River Research and Applications*. Doi: 10.1002/rra.1511.
- SAMPIERI, Roberto; FERNÁNDEZ, Carlos; BAPTISTA, María del Pilar (2010). *Metodología de la investigación*. Quinta edición. México DF.
- SEDAPAL (2012). *Plan Maestro para Lima y Callao 2012-2040- Recursos Hídricos*. Lima.
- SEDAPAL (2010). *Estudio de impacto ambiental detallado del proyecto "optimización de sistemas de agua potable y alcantarillado, sectorización, rehabilitación de redes y actualización de catastro – área de influencia planta Huachipa – área de drenaje Comas – Chillón – Lima*. Consorcio Nippon Koei MOCSGSAC. Lima.
- SENAMHI (2008). *Guía climática turística*. 1ra edición, Lima.
- SEVILLA, Juan Carlos (2014). *Usos del agua*. ANA; Ministerio de Agricultura y Riego. Lima.
- SUIZAGUA, Andina Perú (2015). *Guía de buenas prácticas para el uso eficiente de agua en empresas*. COSUDE. Lima.
- SUIZAGUA (2013). *Cómo se calcula la huella hídrica empresarial*. Proyecto piloto. COSUDE. Bogotá.
- SUIZAGUA, Andina Perú (2012). *Conozca más sobre la huella hídrica*. Programa global andino. Seminario internacional. COSUDE. Lima.

- SUIZAGUA (sin fecha a). *SuizAgua Andina Perú*.
<http://www.suizagua.org/b/peru/#/home>
- SUIZAGUA (sin fecha b). *SuizAgua Colombia*.
<http://www.suizagua.org/b/colombia/#/home>
- SUIZAGUA (sin fecha c). *SuizAgua Chile*. <http://www.suizagua.org/b/chile/#/home>
- SUIZAGUA (sin fecha d). *SuizAgua Perú*. <http://www.suizagua.org/b/peru/#/home>
- TREZZA, Ricardo (sin fecha). *CROPWAT para Windows*.
- TUTIEMPO.NET (sin fecha). *Clima en Lima-Callao/Aeropuerto Internacional Jorge Chávez. Históricos del tiempo en 2014*. [http://www.tutiempo.net/clima/Lima-Callao Aerop Internacional Jorgechavez/2014/846280.htm](http://www.tutiempo.net/clima/Lima-Callao_Aerop_Internacional_Jorgechavez/2014/846280.htm)
- UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA METROPOLTANA DE CHILE (UTEM) (2014).
La UTEM es la primera institución de educación superior del país en medir su Huella Hídrica. Santiago. <http://www.utem.cl/2013/09/universidad-tecnologica-metropolitana-es-la-primera-institucion-de-educacion-superior-del-pais-en-medir-su-huella-hidrica/>
- UNITED NATIONS (sin fecha a). *Global Issues: Water*.
<http://www.un.org/en/globalissues/water/>
- UNITED NATIONS: DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS (UNDESA) (sin fecha b). *International Decade for Action "Water For Life" 2005-2015*. http://www.un.org/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml
- VAN OEL, P.R.; HOEKSTRA, A.Y. (2012). *Towards Quantification of the Water Footprint of Paper: A First Estimate of its Consumptive Component*. *Water Resource Manage*, 26. Doi: 10.1007/s11269-011-9942-7
- VÁZQUEZ, Rita; BUENFIL, Mario (2012). *Huella hídrica de América Latina: retos y oportunidades*. *Aqua-LAC*, 4 (1).
- WATER FOOTPRINT NETWORK (WFN) (sin fecha a). *Aims and history*.
<http://waterfootprint.org/en/about-us/aims-history/>
- WATER FOOTPRINT NETWORK (WFN) (sin fecha b). *Product gallery*.
<http://waterfootprint.org/en/resources/interactive-tools/product-gallery/>

YANG, Z; SUN, T; CUI, B; CHEN, B; CHEN, G (2009). *Environmental flow requirements for integrated water resources allocation in the Yellow River Basin, China*. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* 14.



**ANEXO 1: Modelo de encuesta de usos de agua en el campus PUCP durante el
año 2014**

1. Preguntas de la encuesta virtual enviada por mail, y realizada personalmente a la población universitaria desde marzo de 2015, y preguntas base para todo tipo de población universitaria:

1) ¿A qué facultad pertenece?

2) ¿Usted es...?

alumno

profesor

personal administrativo

otro: _____

3) Horas semanales que asistió/trabajó en la PUCP en el ciclo 2014-0

4) Horas semanales que asistió/trabajó en la PUCP en el ciclo 2014-1

5) Horas semanales que asistió/trabajó en la PUCP en el ciclo 2014-2

6) En promedio, ¿cuántas veces al día se lava las manos en la universidad?

0

1

2

3

4

5

más de 5

otro

7) ¿Cuánto tiempo aproximadamente tarda en lavarse las manos (en segundos) en la universidad?

menos de 15 segundos

15 segundos

30 segundos

45 segundos

más de 45 segundos

otro

8) ¿Cuántas veces al día descargó el tanque del inodoro o urinario del baño de la universidad?

- ninguna
- 2 veces
- 4 veces
- más de 5
- 1 vez
- 3 veces
- 5 veces
- otro

9) ¿Cuántas tazas al día de alguna preparación (té, café, agua sola) con agua bebió en la universidad?

- ninguna
- 2 tazas
- 4 tazas
- más de 5 tazas
- 1 taza
- 3 tazas
- 5 tazas

10) ¿Qué otros usos dio al agua en la universidad? (puede marcar más de una respuesta)

- lavado de cara
- lavado de dientes
- regado de plantas
- ducha
- bebedero
- otro

11) De esos otros usos que dio al agua en la universidad de la pregunta anterior, ¿Con qué frecuencia y cuál fue la duración promedio (segundos) de esos usos?

2. Preguntas de la encuesta realizadas a personal de limpieza y personal de limpieza de carros, además de las preguntas de base:

12) ¿Cuántos son los ambientes (oficinas, aulas, otros) que limpia a la semana?

Oficinas: _____

Aulas: _____

Otros: _____

13) ¿Cuántas veces a la semana limpió los ambientes (oficinas, aulas, otros)?

Oficinas: 1 2 3 4 5 +5 _____

Aulas: 1 2 3 4 5 +5 _____

Otros: 1 2 3 4 5 +5 _____

14) Aproximadamente, ¿cuántos litros de agua usó cada vez que limpió?
_____litros

Si limpió algún tipo de maquinaria en el campus PUCP, por favor contestar:

15) ¿Qué tipo de vehículo/maquinaria limpia?

16) ¿Cuántos vehículos/maquinarias limpia?

17) ¿Cuántas veces a la semana limpió los vehículos / maquinarias?

1 2 3 4 5 +5 _____

18) Aproximadamente, ¿cuántos litros de agua usó cada vez que limpió?
_____litros

3. Preguntas de la encuesta realizadas a personal de cafetería, además de las preguntas de base:

19) ¿Cuántos menús vendió al día?

20) ¿Cuáles fueron los dos menús más vendidos en el 2014?

21) ¿Qué incluyen estos menús (qué entrada si hubo, qué segundo)?

22) ¿Cuántas veces a la semana limpia la cafetería?

1 2 3 4 5 +5 _____

23) Aproximadamente, ¿cuántos litros de agua usa cada vez que limpia la cafetería?
_____litros

24) ¿Realiza alguna otra actividad que involucre uso de agua además de preparar la comida y limpiar la cafetería?

¿Cuál? _____ Frecuencia: _____

Duración: ____ (min)

ANEXO 2: Establecimiento del requerimiento ambiental del caudal o caudal ecológico mediante según la Resolución Jefatural N° 154-2016 ANA

El establecimiento del requerimiento ambiental del ecosistema, caudal ecológico o caudal ambiental del escurrimiento natural de la cuenca, como se señaló en la sección 4.3, puede ser muy variado y depender de distintos objetivos ambientales de acuerdo a la gestión del agua que se lleve a cabo en la cuenca en estudio. Un ejemplo de este establecimiento diverso del requerimiento ambiental o caudal ecológico es el que se dicta en la Resolución Jefatural N° 154-2016 ANA que establece la metodología para determinar caudales ecológicos. Prestando atención al artículo 2° de dicha resolución el que especifica el ámbito de aplicación de esta norma, se detalla que todas las personas públicas y privadas que intervienen en la elaboración y aprobación de estudios de determinación de caudales ecológicos, ya sea para objetivos de planificación hídrica o para acreditación de disponibilidad hídrica de proyectos de inversión, debe seguir la metodología para determinar el caudal ecológico. Entonces, el estudio de HH de este trabajo de investigación no entra en el ámbito de aplicación de esta Resolución Jefatural, ya que lo que se hizo ha sido un cálculo de consumo de agua ya existente, mas no se trata de lograr ningún propósito ni aprobación de ningún proyecto de inversión.

Sin embargo, se efectuó el cálculo con el establecimiento del 95% (5% de disponibilidad real) para requerimiento ambiental de la cuenca o caudal ecológico solo en la dimensión ambiental de la Huella Azul para apreciar la diferencia con el establecimiento del 20% (Hoekstra et al., 2011) realizado en este trabajo de tesis. El caudal de río Rímac considerado es el mismo (MINAGRI y ANA 2015) que en la dimensión ambiental de las Huellas Azul y Gris de la evaluación de la Sostenibilidad. La disponibilidad real para el campus PUCP se estableció con el mismo método de la evaluación de la Sostenibilidad, es decir que el 0.73% (mismo porcentaje de la población PUCP con respecto de la población total de la cuenca Rímac) del agua del caudal de río Rímac se destina al campus PUCP. Los resultados se muestran en la tabla 39.

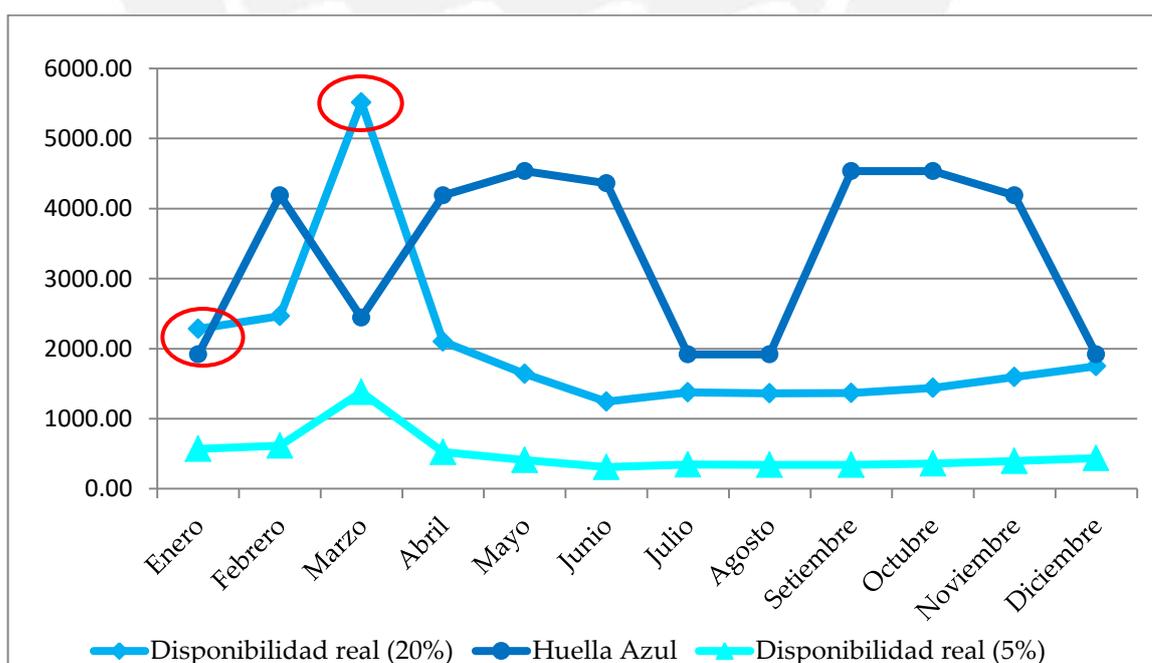
Tabla 39: Disponibilidad real mensual de agua para el campus PUCP con el 5% de disponibilidad del caudal de río Rímac

Mes	Disponibilidad real en la cuenca	Disponibilidad real para el campus PUCP (m ³)
Enero	78 253.92	571.25
Febrero	84 349.44	615.75
Marzo	188 871.84	1 378.76
Abril	71 928	525.07
Mayo	56 224.08	410.44
Junio	42 530.4	310.47
Julio	47 117.52	343.96
Agosto	46 693.44	340.86
Setiembre	46 807.2	341.69
Octubre	49 282.56	359.76
Noviembre	54 583.2	398.46
Diciembre	59 862.24	436.99
TOTAL	826 503.84	6 033.48

Fuente: Por el autor

La figura 26 muestra los valores de esta disponibilidad real de agua al 5% del caudal del río Rímac, junto con los valores de disponibilidad real de agua al 20% realizados previamente en la evaluación de la Sostenibilidad.

Figura 26: Comparación entre la disponibilidad real al 20% y al 5% de agua azul para la PUCP y la Huella Azul de la PUCP



Se observa que la disponibilidad real al 5% muestra unos valores muy bajos de agua azul. No obstante esta disponibilidad de agua sigue la tendencia de variabilidad de valores de caudal que muestra la disponibilidad de agua al 20% (sobre todo en el mes de marzo). Se puede concluir que una disponibilidad al 5% de agua azul para el campus PUCP es una oferta de agua muy reducida con relación a la demanda (Huella Azul) de agua.

