

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

*Trabajo de titulación previo a la  
obtención del título de Ingeniera  
Ambiental e Ingeniero Electrónico*

**TRABAJO EXPERIMENTAL Y**  
**PROYECTO TÉCNICO CON ENFOQUE INVESTIGATIVO:**  
**“ANÁLISIS DE LA HUELLA HÍDRICA EN EL CAMPUS DE LA**  
**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA**  
**MEDIANTE EL USO DE REDES DE TELEMETRÍA”**

**AUTORES:**

DÉBORA ESTEFANÍA GUAMÁN PEÑA  
FRANCISCO RAFAEL ILLARES MUÑOZ

**TUTOR:**

ING. XAVIER SERRANO GUERRERO, M.Sc

CUENCA - ECUADOR

2019

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Débora Estefanía Guamán Peña con documento de identificación N° 0105724439 y Francisco Rafael Illares Muñoz con documento de identificación N° 0106274715, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DE LA HUELLA HIDRICA EN EL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA SEDE CUENCA MEDIANTE EL USO DE REDES DE TELEMETRIA”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniera Ambiental e Ingeniero Electrónico*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.


En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, julio del 2019



Débora Estefanía Guamán Peña

C.I. 0105724439




Francisco Rafael Illares Muñoz

C.I. 0106274715

## CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DE LA HUELLA HIDRICA EN EL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA SEDE CUENCA MEDIANTE EL USO DE REDES DE TELEMETRIA”**, realizado por Débora Estefanía Guamán Peña y Francisco Rafael Illares Muñoz, obteniendo el *Trabajo Experimental y el Proyecto Técnico con enfoque investigativo*, que cumplen con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, julio del 2019

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Xavier Serrano Guerrero', with a long horizontal stroke extending to the right.

Ing. Xavier Serrano Guerrero, Msc.

C.I. 0104983382


## DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Débora Estefanía Guamán Peña con documento de identificación N° 0105724439 y Francisco Rafael Illares Muñoz con documento de identificación N° 0106274715, autores del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DE LA HUELLA HIDRICA EN EL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA SEDE CUENCA MEDIANTE EL USO DE REDES DE TELEMETRIA”** certificamos que el total contenido del *Trabajo experimental* y el *Proyecto Técnico con enfoque investigativo* es de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, julio del 2019



Débora Estefanía Guamán Peña  
C.I. 0105724439



Francisco Rafael Illares Muñoz  
C.I. 0106274715

## AGRADECIMIENTOS

*Queremos agradecer principalmente a Dios por ser nuestra fortaleza y acompañarnos durante todo el camino de la vida, ser la guía en los altos y bajos de la misma.*

*A nuestros familiares de manera especial a nuestros padres, por apoyarnos incondicionalmente, en cada momento y ser el pilar más importante en nuestras vidas.*

*A nuestros amigos, compañeros y personas especiales por los momentos compartidos, por estar ahí acompañándonos siempre.*

*A nuestro tutor el Ing. Xavier Serrano Guerrero, por su asesoría, recomendaciones, su tiempo y paciencia para llevar a cabo este proyecto. Por su labor como docente que nos motiva a seguirnos preparando académicamente.*

*A nuestros docentes de las carreras de Ingeniería Ambiental e Ingeniería Electrónica, por brindarnos sus conocimientos.*

*A la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Cuenca, por la formación integral que nos han brindado. Agradecer además a los departamentos de Coordinación Administrativa, Gestión del Talento Humano, personal administrativo y trabajadores que colaboraron con el desarrollo del presente trabajo.*

***Estefanía Guamán Peña y  
Rafael Illares Muñoz***

## DEDICATORIAS

*El presente trabajo, fruto de un gran esfuerzo, está dedicado a Dios, por la vida que me da y la fortaleza para cumplir mis objetivos.*

*A mis padres José y Susana, que me brindan su apoyo incondicional y a ellos les debo estar donde estoy. A mis hermanos Paola y Pedro por estar conmigo siempre. De manera especial a mi hijo Josué Ignacio, con este trabajo queda cumplida la promesa que te hice el día que naciste, te amo hijo. A mis profesores, mis amigas, amigos y personas especiales que han hecho más llevadero mi paso por la vida universitaria.*

***Estefanía Guamán Peña***

*Esta tesis la dedico a Dios quien supo guiarme por el buen camino, por darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentan, por enseñarme a encarar las adversidades y nunca darme por vencido.*

*A mi familia quienes por ellos soy quien soy. A mis padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado demasiado de lo yo considero como hijo, mis valores, principios, mi carácter, el coraje para conseguir mis objetivos y el valor del sacrificio. A mis compañeros quienes hemos compartido alegrías y tristezas y a pesar de eso seguimos unidos.*

***Rafael Illares Muñoz***

## RESUMEN

*En el presente estudio se da a conocer los resultados del trabajo en conjunto de dos áreas como son la Ingeniería Ambiental y Electrónica quien con el objetivo principal busca determinar la huella hídrica (HH) de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca. En primera instancia, se realiza la recolección de datos de uso y consumo del agua, además de variables climáticas influyentes dentro del predio universitario. Estos datos se refieren al uso específico de agua potable en distintas locaciones del predio universitario con la finalidad de localizar los usos críticos más significativos. Además, se ha diseñado una red de telemetría que se encarga del monitoreo constante de la calidad del agua tanto al ingreso y salida de la universidad para conocer las características al momento de ser consumida y cuando sale del campus universitario. Todos estos datos serán almacenados y analizados con el objetivo de conocer el comportamiento de estos durante el proceso de investigación. Adicionalmente, estos datos recolectados ayudarán al cálculo de la huella hídrica dentro del predio; este parámetro de HH que es un indicador de cuanto recurso de agua dulce es utilizado dentro del campus para producir bienes y servicios. A más del proceso anterior, se realizará un análisis de sostenibilidad que demuestra la capacidad que tiene la cuenca surtidora de mantener la huella registrada por la institución sin alterar su estado natural y la formulación de respuestas al consumo de agua registrada. Finalmente, con todos los valores obtenidos se plantearán y evaluarán propuestas para el ahorro de agua, buscando concientizar el consumo eficiente de la misma.*

## **ABSTRACT**

*The presents study shows the results of the research combining Environmental and Electrical engineering. The main objective of this study is to determine the “Water Footprint” (WF) of Universidad Politécnica Salesiana in Cuenca. At the beginning, the data about consumption, use of water and the influential weather variables inside the university will be collected. All these data refer to the specific use of drinking water in different places into the university. These data will also help to determine the most critical places where water is used. In addition, a telemetry network was designed to constantly monitors the water quality that comes in and out of the campus. The objective of the previous process is to know the characteristics of the water when it comes in and the characteristics when it goes out the campus. All the data gathered will be stored and analyzed in order to get information about the changes of it during the research process. Additionally, all the data collected would help to calculate the Water Footprint, which is an indicator of how much drinking water is used inside the campus to produce things and services. Also, a sustainability analysis that shows the capacity of the assortment basin of maintaining the registered water footprint by the institution without modifying its natural state and the formulation of answers to the water consumption will be done. Finally, with all the obtained results different proposals will be presented and analyzed to save water and enhance a responsible consumption of it.*

# ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	II
DEDICATORIAS.....	III
RESUMEN.....	IV
ABSTRACT.....	V
ÍNDICE GENERAL.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
CAPÍTULO 1 : INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes y Problema de Estudio.....	2
1.2 Justificación (Importancia y Alcances).....	5
1.3 Delimitación de la zona de estudio.....	6
1.4 Objetivos.....	7
CAPÍTULO 2 : FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA O ESTADO DEL ARTE.....	8
2.1 Definición de agua y recurso hidrológico.....	8
2.1.1 Distribución y disponibilidad.....	11
2.1.2 Escases del agua.....	12
2.1.3 Contaminación del agua.....	13
2.1.4 Sustentabilidad y Sostenibilidad del agua.....	13
2.2 Huella hídrica.....	14
2.2.1 Antecedentes de la huella hídrica.....	15
2.2.2 Metodologías de cálculo.....	17
2.2.3 Componentes de la huella hídrica.....	17
2.3 Sistemas inteligentes de monitoreo y manejo del agua.....	24
2.3.1 Sistemas de monitoreo de agua.....	24
2.3.2 Monitoreo de la calidad del agua.....	25
2.3.3 Programas de monitoreo de la calidad del agua.....	26
2.3.4 Sistemas inteligentes de manejo de agua.....	27
2.4 Redes inalámbricas.....	28
2.4.1 Tipos de redes.....	28

2.4.2	Redes de sensores inalámbricas (WSN).....	29
2.4.3	Sensores .....	31
2.4.4	Tecnologías inalámbricas.....	33
2.4.5	Lenguajes de programación para el desarrollo de una aplicación web	39
CAPÍTULO 3 : MARCO METODOLÓGICO.....		41
3.1	Descripción de la metodología.....	41
3.2	Variables, población y muestra .....	43
3.3	Levantamiento de la información.....	43
3.3.1	Levantamiento de consumos de agua en los medidores existentes.....	44
3.3.2	Identificación de procesos y equipos que hacen uso de agua .....	48
3.3.3	Identificación de superficie de áreas verdes y cobertura vegetal.....	50
3.3.4	Análisis de variables influyentes en el clima .....	52
3.3.5	Análisis del consumo de energía eléctrica .....	59
3.3.6	Análisis del Consumo de papel.....	61
3.4	Identificación de usos del agua existentes dentro del predio y obtención de los perfiles de consumo.....	61
3.4.1	Elaboración y resultados de encuestas .....	62
3.4.2	Tabulación de resultados de encuestas.....	66
3.4.3	Localización de usos críticos significativos.....	68
3.4.4	Análisis de consumo vs precipitación .....	70
3.4.5	Obtención de perfil de consumo .....	71
3.5	Establecimiento del balance hídrico.....	72
CAPÍTULO 4 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA RED DE TELEMETRÍA.....		74
4.1	Requerimientos del proyecto.....	74
4.2	Diseño del prototipo de la red de sensores inalámbricos .....	75
4.2.1	Módulo de muestreo.....	76
4.2.2	Módulo de recolección de datos.....	81
4.2.3	Módulo de procesamiento de datos.....	82
4.3	Ejecución del servidor de calidad de agua .....	84
4.4	Instalación de los nodos sensores .....	86
4.5	Implementación de la red de telemetría.....	87

4.5.1	Datos en tiempo real.....	87
4.5.2	Datos almacenados.....	89
4.5.3	Validación de las mediciones de la red de telemetría .....	92
4.5.4	Índice de calidad de agua.....	95
CAPÍTULO 5 : EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS		98
5.1	Huella Hidrica Directa.....	98
5.1.1	Cálculo de la huella verde .....	98
5.1.2	Cálculo de la huella azul .....	100
5.1.3	Cálculo de la huella gris .....	103
5.1.4	Cálculo de la huella hídrica directa total.....	104
5.2	Cálculo de huella hídrica indirecta.....	105
5.2.1	Cálculo de la huella de energía eléctrica.....	105
5.2.2	Cálculo de la huella del papel .....	105
5.2.3	Cálculo de la huella hídrica indirecta total.....	106
5.3	Estimación total de la huella hídrica .....	107
5.3.1	Huella hídrica per cápita .....	108
5.4	Análisis de sostenibilidad.....	109
5.4.1	Análisis de dimensión ambiental: Huella Azul.....	110
5.4.2	Análisis de dimensión ambiental: Huella Gris.....	111
5.5	Resumen de la Huella Hidrica y comparacion con estudios similares.....	112
5.5.1	Resumen de la huella hídrica .....	112
5.5.2	Comparación con estudios similares.....	113
5.6	Formulación de respuestas y recomendaciones.....	117
CAPÍTULO 6 : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		120
6.1	Conclusiones .....	120
6.2	Recomendaciones.....	123
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		124
ANEXOS .....		131
Anexo 1 .....		131
Anexo 2 .....		132

Anexo 3 .....	133
Anexo 4 .....	134
Anexo 5 .....	139
Anexo 6 .....	154

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 <i>Mapa base de la Universidad Politécnica Salesiana</i> .....	6
Figura 1-2 <i>Vista de la Universidad Politécnica Salesiana.</i> .....	6
Figura 2-1 <i>Disponibilidad del agua a nivel mundial.</i> .....	12
Figura 2-2 <i>Relación entre disponibilidad de agua y población.</i> .....	12
Figura 2-3 <i>Cronología del desarrollo de la huella hídrica.</i> .....	15
Figura 2-4 <i>Componentes de la Huella Hídrica.</i> .....	18
Figura 2-5 <i>Elementos de una red de sensores.</i> .....	30
Figura 2-6 <i>Elementos de un nodo sensor.</i> .....	31
Figura 2-7 <i>Tipos de sensores.</i> .....	31
Figura 2-8 <i>Sensor de pH.</i> .....	32
Figura 2-9 <i>Sensor de Conductividad.</i> .....	32
Figura 2-10 <i>Sensor de oxígeno disuelto.</i> .....	33
Figura 2-11 <i>Evolucion de la tecnología IEEE 802.15.4</i> .....	34
Figura 2-12 <i>Velocidad de distintas tecnológicas inalámbricas</i> .....	35
Figura 2-13 <i>Relación señal-ruido de las distintas tecnologías</i> .....	35
Figura 2-14 <i>Topología en malla</i> .....	36
Figura 2-15 <i>Topología malla</i> .....	37
Figura 2-16 <i>Topología combinada estrella-malla</i> .....	37
Figura 2-17 <i>Arduino mega</i> .....	38
Figura 2-18 <i>Modelos de tarjetas Arduino</i> .....	39
Figura 3-1 <i>Metodología de evaluación de la huella hídrica.</i> .....	41
Figura 3-2 <i>Esquema hidráulico de la UPS.</i> .....	45
Figura 3-3 <i>Gráfico del consumo de medidores en el predio universitario.</i> .....	47
Figura 3-4 <i>Consumo mensual de agua potable en la UPS.</i> .....	47
Figura 3-5 <i>Total de bienes hidráulicos de la UPS.</i> .....	50
Figura 3-6 <i>Porcentaje de cobertura vegetal para cada área de vegetación.</i> .....	51
Figura 3-7 <i>Áreas verdes, ornamentales no florales, florales y kikuyo.</i> .....	51
Figura 3-8 <i>Resumen de la precipitación para el año 2018, Estación UPS INER.</i> .....	52
Figura 3-9 <i>Comportamiento de la precipitación promedio en el año 2018, Estación UPS INER.</i> .....	53
Figura 3-10 <i>Acumulación de la precipitación en el año 2018, Estación UPS INER.</i> .....	54

Figura 3-11 <i>Acumulación de la precipitación para el periodo 1998-2018 de la estación Ucubamba.</i> .....	54
Figura 3-12 <i>Comportamiento de la temperatura para el año 2018, Estación INER UPS.</i> .....	55
Figura 3-13 <i>Comportamiento de la humedad relativa para el año 2018, Estación UPS INER.</i> .....	56
Figura 3-14 <i>Rosa de los vientos correspondiente al año 2018, Estación UPS INER.</i>	57
Figura 3-15 <i>Tabla de frecuencias de la velocidad de viento para el año 2018, Estación UPS INER.</i> .....	57
Figura 3-16 <i>Comportamiento de la velocidad de viento para el año 2018, Estación UPS INER.</i> .....	58
Figura 3-17 <i>Resumen de horas de radiación solar, Estación UPS INER.</i> .....	59
Figura 3-18 <i>Caracterización de la población universitaria.</i> .....	62
Figura 3-19 <i>Consumo anual de agua en m<sup>3</sup> en la UPS.</i> .....	69
Figura 3-20 <i>Volúmenes de usos del agua en la UPS.</i> .....	70
Figura 3-21 <i>Comparación entre los valores de consumo de agua en el campus y la precipitación existente.</i> .....	71
Figura 3-22 <i>Perfil de consumo de agua en la UPS.</i> .....	72
Figura 3-23 <i>Balance hídrico de la Universidad Politécnica Salesiana</i> .....	73
Figura 4-1 <i>Disposición de los nodos en el campus</i> .....	75
Figura 4-2 <i>Diagrama de bloques del diseño del prototipo.</i> .....	76
Figura 4-3 <i>Configuración de nodo de muestreo</i> .....	76
Figura 4-4 <i>Diagrama de bloques del nodo sensor.</i> .....	77
Figura 4-5 <i>Composición del nodo sensor de pH, conductividad y OD.</i> .....	77
Figura 4-6 <i>Comandos básicos para la calibración de la sonda de OD</i> .....	78
Figura 4-7 <i>Comandos básicos para la calibración de la sonda de conductividad.</i> ...	79
Figura 4-8 <i>Diseño de la placa en arcis.</i> .....	80
Figura 4-9 <i>Elementos del nodo sensor en el software.</i> .....	80
Figura 4-10 <i>Placa impresa final.</i> .....	80
Figura 4-11 <i>Placa con los componentes del nodo sensor.</i> .....	81
Figura 4-12 <i>Pantalla de inicio para configurar módulos XBee.</i> .....	81
Figura 4-13 <i>Configuración XBee como coordinador.</i> .....	82
Figura 4-14 <i>Código para el procesamiento de datos.</i> .....	83
Figura 4-15 <i>Datos almacenados en la base de datos.</i> .....	84

Figura 4-16 <i>Panel de control de apache y de mySQL.</i> .....	84
Figura 4-17 <i>Panel frontal del código en spyder.</i> .....	85
Figura 4-18 <i>Dirección IP asignada por la red.</i> .....	85
Figura 4-19 <i>Interfaz gráfica de página web para la calidad de agua.</i> .....	85
Figura 4-20 <i>Panel de descarga de datos.</i> .....	86
Figura 4-21 <i>Instalación de nodo sensor para la calidad de agua de ingreso.</i> .....	86
Figura 4-22 <i>Instalación de nodo sensor para la calidad de agua de salida.</i> .....	87
Figura 4-23 <i>Comportamiento en tiempo real de la conductividad.</i> .....	88
Figura 4-24 <i>Comportamiento en tiempo real del oxígeno disuelto.</i> .....	88
Figura 4-25 <i>Comportamiento en tiempo real del pH.</i> .....	89
Figura 4-26 <i>Representación de los datos almacenados de pH del agua de ingreso.</i> ..	90
Figura 4-27 <i>Representación de los datos almacenados de oxígeno disuelto del agua de ingreso.</i> .....	90
Figura 4-28 <i>Representación de los datos almacenados de conductividad del agua de ingreso.</i> .....	91
Figura 4-29 <i>Representación de los datos almacenados de pH del agua de salida.</i> ...	91
Figura 4-30 <i>Representación de datos almacenados de OD de agua de salida.</i> .....	92
Figura 4-31 <i>Representación de los datos almacenados de conductividad del agua de salida.</i> .....	92
Figura 5-1 <i>Porcentajes de huella hídrica verde mensual.</i> .....	99
Figura 5-2 <i>Totalidad de huella hídrica directa.</i> .....	104
Figura 5-3 <i>Huella hídrica indirecta.</i> .....	107
Figura 5-4 <i>Porcentaje de la Huella Hídrica de la UPS.</i> .....	108
Figura 5-5 <i>Porcentaje de generación de huella por población universitaria.</i> .....	109
Figura 5-6 <i>Rangos para la evaluación de los índices de escasez.</i> .....	110
Figura 5-7 <i>Diagrama de sankey para la obtención de la huella hídrica.</i> .....	113
Figura 5-8 <i>Comparación de huella hídrica total.</i> .....	114
Figura 5-9 <i>Comparación de la huella hídrica per cápita.</i> .....	115
Figura 5-10 <i>Comparación de la huella hídrica por área.</i> .....	115
Figura 5-11 <i>Comparación de los componentes de la huella hídrica directa.</i> .....	116
Figura 5-12 <i>Comparación de los componentes de la huella hídrica indirecta.</i> .....	117

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Descripción de los parámetros del agua. ....	10
Tabla 2-2 Distribución de los recursos hídricos mundiales. ....	11
Tabla 2-3 Componentes de la huella hídrica institucional. ....	15
Tabla 2-4 Principales actividades de impacto en la institución. ....	22
Tabla 2-5 Variantes del estándar 802,15.....	34
Tabla 2-6 Distancia de transmisión.....	36
Tabla 3-1 Información y fuentes para cada tipo de huella. ....	42
Tabla 3-2 Unidades hidráulicas existentes en el predio universitario.....	46
Tabla 3-3 Consumo de agua potable de los 7 medidores en la UPS en <b>m3</b> .....	46
Tabla 3-4 Total de estructuras hidráulicas identificadas en la UPS.....	48
Tabla 3-5 Total de equipos hidráulicos encontrados en la UPS. ....	49
Tabla 3-6 Total de equipos para áreas vedes identificadas en la UPS.....	49
Tabla 3-7 Valor de cobertura de áreas verdes.....	50
Tabla 3-8 Valores totales anuales de precipitación, Estación UPS INER. ....	53
Tabla 3-9 Valores de temperatura para el año 2018, Estación UPS INER.....	55
Tabla 3-10 Valores correspondientes a la humedad relativa en el año 2018.....	56
Tabla 3-11 Valores de la velocidad promedio del viento en el año 2018.....	58
Tabla 3-12 Consumo de energía eléctrica en la UPS correspondiente al año 2018... 60	
Tabla 3-13 Potencia nominal de generación de energía eléctrica hasta el año 2019. 60	
Tabla 3-14 Equivalencias de Huella Hídrica de las fuentes de energía. ....	61
Tabla 3-15 Papel utilizado dentro del campus de la UPS en el año 2018.....	61
Tabla 3-16 Distribución de la población universitaria.....	62
Tabla 3-17 Resultados de la encuesta a estudiantes.....	63
Tabla 3-18 Resultados de encuestas a docentes.....	64
Tabla 3-19 Resultados de encuestas a personal administrativo de la institución.....	65
Tabla 3-20 Resultados de encuesta a personal de servicio en general.....	66
Tabla 3-21 Resultados a la encuesta realizada al personal de la cafetería. ....	66
Tabla 3-22 Resultados de la encuesta aplicada a personal de limpieza y riego.....	66
Tabla 3-23 Cálculo del consumo de agua por persona al día.....	67
Tabla 3-24 Cálculo del total de consumo de agua anual.....	68
Tabla 3-25 Valores del balance hídrico en la UPS. ....	73
Tabla 4-1 Límites permisibles de parámetros utilizados según la normativa. ....	89

Tabla 4-2 Datos obtenidos en el laboratorio y de la red. ....	93
Tabla 4-3 Datos de multiparámetros y de nodo de ingreso y salida. ....	94
Tabla 4-4 Datos de multiparámetro y de nodo de ingreso. ....	95
Tabla 4-5 Coeficiente de ponderación para cada parámetro. ....	96
Tabla 4-6 Rango de índice de la calidad del agua. ....	97
Tabla 5-1 Cálculo de la huella hídrica verde mensual. ....	99
Tabla 5-2 Valores de agua de los medidores y de pomas que constituyen el afluente. .....	100
Tabla 5-3 Volumen de agua al año empleado por los grupos de usuarios en la UPS. .....	101
Tabla 5-4 Valores de volumen de agua empleada por equipos hidráulicos. ....	101
Tabla 5-5 Cálculo de la evapotranspiración de referencia. ....	102
Tabla 5-6 Cálculo del agua para riego. ....	103
Tabla 5-7 Cálculo de la huella hídrica asociada al consumo de energía eléctrica. ..	105
Tabla 5-8 Cálculo de la huella hídrica asociada al papel. ....	106
Tabla 5-9 Valores de huella hídrica totales para el año 2018 en la UPS Sede Cuenca .....	107
Tabla 5-10 Valores de huella hídrica por grupos de población universitaria. ....	108
Tabla 5-11 Valores de escurrimiento y disponibilidad de agua de la cuenca. ....	110
Tabla 5-12 Sostenibilidad ambiental de la huella azul. ....	111
Tabla 5-13 Cálculo de la sostenibilidad ambiental de la huella gris. ....	112
Tabla 5-14 Valores de número de personas y áreas de las instituciones en comparación. ....	113
Tabla 5-15 Formulación de respuestas a los valores de huella hídrica obtenidos. ..	118

# CAPÍTULO 1 : INTRODUCCIÓN

En el presente estudio se examinará la huella hídrica en el campus de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, haciendo uso de redes de telemetría mediante las cuales lo que se busca es obtener una manera más eficiente y directa datos de calidad de agua.

El agua es un bien común y esencial para el desarrollo de las actividades vitales tanto de humanos como de animales y plantas. Por lo que su cuidado es de vital importancia ya que es necesario conservarla para las actuales y futuras generaciones. La labor de suministrar agua está pasando por momentos críticos ya que presenta despilfarros y contaminación por su uso y consumo inadecuado, estos escenarios a la larga conducen a una problemática aun mayor como es el desabastecimiento y la escasez.

Es necesario unir esfuerzos para el análisis y la toma de decisiones para resguardar este recurso y darle un uso de manera sostenible. En el presente trabajo se combinan esfuerzos desde el ámbito la ingeniería ambiental y la ingeniería electrónica para analizar el escenario actual del agua en el campus de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca y proponer soluciones aplicables a futuros trabajos de investigación. En este contexto es necesario promover la ejecución de equipos multidisciplinarios que contribuyan con sus conocimientos y habilidades a la resolución objetiva de conflictos relacionados a la sostenibilidad y preservación del medio ambiente.

## **1.1 ANTECEDENTES Y PROBLEMA DE ESTUDIO**

El volumen de agua dulce existente en la Tierra es limitado y su calidad se está viendo amenazada de manera constante. La preservación del agua dulce es importante para el abastecimiento de agua de bebida, fabricación de alimentos y uso recreativo (Organización Mundial de la Salud, 2017). Con el paso de los años las actividades industriales, agrícolas, deforestaciones, entre otras realizadas por el hombre han ocasionado no solamente el deterioro de este recurso sino del planeta en general. Esto se evidencia en el aumento del nivel de  $CO_2$  en el aire, la erosión del suelo, la escasez de agua, debido a varios aspectos como la contaminación y destrucción de sus fuentes de obtención.

Para lograr el crecimiento económico y desarrollo sustentable, según el *Objetivo 12* de “*Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas*”, es indispensable disminuir la huella ecológica mediante modificaciones en los procedimientos de fabricación y utilización de bienes y recursos. Así por ejemplo, las prácticas agrícolas son las principales demandantes de agua en el planeta esto significa que el riego representa el 70% del agua idónea para el consumo humano (FAO, 2015). Para afrontar este problema es necesario crear una conciencia ambientalista y examinar alternativas para minimizar los impactos negativos causados por el hombre. Es así como se llevan a cabo investigaciones relacionadas con la conservación y la gestión eficiente del agua además del aprovechamiento de sus fuentes (Duran de la Fuente, 2017).

### **1.1.1. Consumo de agua potable**

El consumo de agua es el volumen utilizado para cubrir las necesidades de los usuarios, se diferencia del concepto de demanda de agua debido a que la misma es el caudal de agua requerido en las tomas para consumo de un lugar, considerando los distintos usuarios más las pérdidas físicas del sistema. Este valor se puede obtener directamente de las mediciones en la toma domiciliaria (Conagua, 2015).

El consumo de agua en los domicilios representa un 15% del consumo global de agua, de aquí la mayor parte vuelve a los ríos contaminada por el empleo de detergentes y otros agentes, lo que provoca impactos ambientales graves e incrementos en los costos de depuración de los recursos hídricos. Las buenas prácticas de uso y las instalaciones eficientes en hogares, edificios y empresas pueden reducir en un 40% el consumo de

agua y auto depurar parte de la contaminación que desemboca a las redes de alcantarillado (Gobierno de Aragón, 2017). Para poder contrarrestar el mal uso de este recurso hídrico se propone medidas para el ahorro que van atadas generalmente a cambios físicos, modificación en los hábitos de consumo, etc., tal manera que es necesario realizar actividades tales como: campañas de sensibilización, cambios en los hábitos de cada individuo, utilización de las fuentes naturales, cambios físicos en el campus, etc. (Universidad de Pamplona, 2015).

### **1.1.2. Uso del agua potable en instituciones educativas**

En las áreas urbanas los usuarios de agua se distribuyen en residencias, comercios, industrias e instituciones. Dentro de esta distribución, los establecimientos o centros educativos por su dimensión y demanda de agua son calificados como grandes consumidores. Los autores (Cheng & Hong, 2004) identificaron que los elevados consumos de agua en planteles de educación básica constituyen una de las principales problemáticas a resolver, ya que con esto se puede contribuir a la obtención de beneficios ambientales siendo estos la reducción de la tensión en la demanda de agua y la reducción de descargas hacia fuentes hídricas receptoras.

Así también los autores (Bonnet, Devel, Faucher, & Roturier, 2002) manifestaron que los usos de agua en predios universitarios son semejantes a los consumos de municipios de extensiones medias. La administración del agua en los planteles educativos implica una intervención eficiente y eficaz, tanto en las redes de distribución como en las modalidades de uso. Para instalar un proceso de gestión se debe comenzar por caracterizar a los usuarios y las prácticas de consumo, esto para comprender la realidad existente y para identificar las herramientas e indicadores de gestión aptos para cada institución (Manco-Silva, Guerrero-Erazo, & Morales-Pinzón, 2017).

### **1.1.3. Calidad del agua**

La calidad del agua es un indicador de trascendental importancia en la salud humana y de los ecosistemas, de este depende la biodiversidad, el estado de los víveres, las actividades económicas, etc. Desde la perspectiva de su gestión, la calidad del agua está definida por su uso final, pudiendo ser para consumo humano, riego, actividades industriales, descargas, etc. El crecimiento poblacional, la masiva urbanización, los

vertidos industriales son algunos de los agentes que la afectan a los cuales se suma el cambio climático debido a que el aumento de las temperaturas globales y cambios en los patrones hidrológicos afectan la calidad y agravan su contaminación. Algunos parámetros para medir la calidad son: pH, temperatura, oxígeno disuelto, dureza, DBO, DQO, nitrógeno y fosforo. La contaminación como concepto, se entiende como la presencia de agentes químicos, físicos, microbiológicos o de cualquier otra índole en concentraciones superiores a las naturales, estos agentes constituyen una de las causas primordiales de contaminación del agua a nivel del planeta (EcuRed, 2015).

#### **1.1.4. Distribución de agua potable en la ciudad de Cuenca**

ETAPA EP es la empresa encargada del suministro de agua en la ciudad de Cuenca, es responsable de la conservación y puesta en marcha de los sistemas de agua potable. Se le atribuye la certificación ISO 9001:2008 a los procesos de producción de agua en las plantas de El Cebollar, Tixan y Sustag y la acreditación IOS 17025 de su laboratorio de agua potable en donde se realizan los controles de calidad de agua que es distribuida a las superficies urbanas y rurales del cantón Cuenca (ETAPA EP, 2018). Según la empresa hay un rango entre el 40 y 60 % de desperdicio de agua potable, es así como en promedio los cuencanos consumen 240 litros/habitante/día de agua, mientras que las escuelas tienen casos extremos de consumo de hasta 40 litros/alumno/día (Diario El Telegrafo, 2012).

La planta de Tixan se abastece de la microcuenca del río Machángara y es la que suministra el sistema de agua potable a la UPS Sede Cuenca (Ramón Tania, 2014). Esta información es importante debido a que uno de los beneficiarios directos del uso eficiente del agua es la empresa abastecedora del recurso (Gildardo Manco Silva, Guerrero Erazo, & María Ocampo Cruz, 2012).

## 1.2 JUSTIFICACIÓN (IMPORTANCIA Y ALCANCES)

La Universidad Politécnica Salesiana, sede Cuenca, está localizada en la provincia del Azuay, en el austro del Ecuador y en la zona andina del país. Esta institución al día cubre con las necesidades hídricas de centenares de personas entre estudiantes, docentes, personal administrativo, de servicio, etc. Además de actividades didácticas, preparación de alimentos, riego de áreas verdes entre otros. Así de acuerdo con los comprobantes de pago del servicio de agua potable proporcionados por la empresa ETAPA EP en el año 2014 y 2015, en los cinco medidores que posee la institución se registró un consumo de 26630 y 31622 m<sup>3</sup> de agua aproximadamente en cada año, siendo el gasto económico equivalente a 47014,42 y 55679 dólares respectivamente. Además, en la universidad se desarrollan procesos didácticos y actividades humanas que ocasionan la contaminación de los recursos hídricos, amenazando la salud de los miembros de la comunidad y el equilibrio ambiental. La mala calidad del agua produce daños sanitarios, ecológicos, económicos y sociales por lo cual se ve la necesidad de monitorear el comportamiento de los parámetros de la calidad y tomar medidas correctivas. Estos datos a simple vista nos hacen pensar que existe un excesivo gasto tanto de agua como de dinero en la universidad además ausencia de estudios de calidad por lo que nace la necesidad de estudiar estos aspectos para determinar de dónde nace el despilfarro de recurso hídrico, cual es la calidad del agua entrante y los posibles contaminantes con el fin de estimar la huella hídrica generada en la institución por medio de redes de telemetría que optimizan el proceso de obtención de datos.

Según el ODS (“Objetivos de Desarrollo Sostenible”) número 12 de las Naciones Unidas, la administración eficiente de los recursos naturales compartidos y la manera en las que se eliminan son vitales. Por lo que es importante instar a las instituciones a reciclar, reducir los consumos y así encaminarse hacia una economía que maneje los recursos de una forma más eficiente (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2012). Por lo que la presente investigación intenta establecer las causales de uso, consumo y contaminación del agua, con el objeto de obtener la huella hídrica que permita su correcta gestión y ahí radica su importancia puesto que se encaminaría a la universidad a ser una institución amigable con el medio ambiente contribuyendo así a la reducción de la demanda del recurso y de las descargas producidas en las fuentes hídricas receptoras (Gildardo Manco Silva et al., 2012).

### 1.3 DELIMITACION DE LA ZONA DE ESTUDIO

La Universidad Politécnica Salesiana se encuentra ubicada al noreste de la ciudad de Cuenca, provincia del Azuay, es una institución de educación superior que acoge a un aproximado de 6000 estudiantes de la localidad y de regiones aledañas. El campus universitario denominado “El Vecino” se encuentra localizado en la Calle Vieja y Elia Liut pertenecientes a la parroquia urbana de El Vecino de la ciudad; está conformado por 4 pabellones de aulas, laboratorios, talleres, biblioteca, patio de comidas, centros administrativos, capilla, espacios deportivos, auditorios y el Teatro Universitario “Carlos Crespi”. Ocupa un área aproximada de 69282,47 m<sup>2</sup> y se encuentra en una zona estratégica de la ciudad.



Figura 1-1 Mapa base de la Universidad Politécnica Salesiana  
Fuente: Autores



Figura 1-2 Vista de la Universidad Politécnica Salesiana.  
Fuente: Google Earth, 2018

## **1.4 OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

- Analizar la huella hídrica en el campus de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca mediante redes de telemetría para la obtención y procesamiento de los datos de uso, consumo y contaminación del agua

### **Objetivos Específicos**

- Recolectar y analizar datos de uso y consumo de agua, además de variables climáticas influyentes en el predio universitario.
- Realizar un levantamiento de los consumos de agua potable en distintos lugares del campus usando metodologías de lectura de flujo de agua y localizar los usos críticos más significativos
- Diseñar e implementar una red de telemetría para la adquisición de los datos de calidad de agua en diferentes lugares del campus
- Analizar la calidad de agua que se utiliza dentro del campus, haciendo uso de los datos obtenidos mediante la red de telemetría
- Estimar la huella hídrica de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, analizar la sostenibilidad y plantear estrategias de reducción de consumo de agua.

# **CAPÍTULO 2 : FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA O ESTADO DEL ARTE**

Este capítulo contiene diferentes definiciones que contribuyen a la comprensión del desarrollo del trabajo de investigación, incluye además enfoques teóricos y estado del arte de la problemática en cuestión.

## **2.1 DEFINICION DE AGUA Y RECURSO HIDROLOGICO**

El agua es un recurso natural, básico para el sustento de las actividades indispensables y para el desarrollo de la humanidad. Este compuesto químico cumple con un ciclo en la naturaleza, conocido como “ciclo hidrológico” e involucra la circulación y el mantenimiento del agua en la Tierra (Jumapam, 2018).

El incremento poblacional y el progreso de las urbes, las variaciones en el clima, el incremento en los índices de contaminación y las modificaciones en los estándares de consumo de agua aportan para el existente desbalance entre la disponibilidad de surtidores hídricos y la demanda de líquido vital (Perez, Salinas, Cañizares, & Fernandez, 2017). En Ecuador la disponibilidad de agua es de 32170 m<sup>3</sup>/año por cada habitante (AQUASTAT-FAO, 2005), la demanda ha aumentado un 16% desde el año 2007 hasta el 2017 y la proyección tiene a subir según datos de la SENAGUA. El consumo per cápita en el país se encuentra en 237 lt/hab/día lo que sobrepasa en un 40% el promedio de Latinoamérica (169 lt/hab/día) (Diario El Comercio, 2015). Con respecto a la calidad, un 79,3% de agua potable a nivel nacional no presenta índices de contaminación y un 20,7% si presenta. En la zona urbana el 84,6% no está contaminada, mientras que el 15,4% si lo está. Finalmente, el 28,6% esta embotellada o envasada según datos del INEC (Diario El Universo, 2017).

Para la ciudad de Cuenca según un informe emitido por ETAPA EP, dice que los cuencanos consumen alrededor de 160 a 400 litros por persona. Si bien el desperdicio de agua es un problema evidente no solo depende del mal uso por parte de las personas sino también se debe a infraestructura deficientes, fugas que no son percibidas a simple vista, etc. Por lo que es necesario aplicar medidas que van desde una manera correcta acerrar grifos, cepillado de dientes y dispositivos complejos que optimicen el consumo del líquido vital (Cardenas Guaraca, 2018).

- **Propiedades y parámetros**

Sin importar su condición y su localización en la naturaleza el agua está en contacto con elementos que alteran su composición original por lo que su calidad está determinada por el análisis de los parámetros que la conforman (Sierra Ramirez, 2011).

Las propiedades del agua son aquellas características que posee la misma independientemente de su condición y la distinguen de los demás líquidos, según se describen en (Sierra Ramirez, 2011) y son:

- **Densidad.** - Es conocida como la masa por unidad de volumen, su valor depende de la temperatura directamente.
- **Viscosidad.** - Es la resistencia que muestra el agua a las deformaciones y al igual que la densidad depende de la temperatura.
- **Calor específico.** - Es la cantidad de calor necesario para subir 1°C de la temperatura de un gramo de agua.
- **Tensión superficial.** - Es la energía necesaria para romper la capa de moléculas superficiales por unidad de área.

La medición de los parámetros del agua nos ayuda a determinar qué tan pura o que tan contaminada se encuentra la misma, estos están clasificados en físicos, químicos y biológicos que están descritos en la Tabla 2-1:

**Tabla 2-1 Descripción de los parámetros del agua.**

<b>Parámetro</b>	<b>Definición</b>
<b>Físicos</b>	
Sólidos	Constituye la materia suspendida o disuelta en el agua, pueden afectar negativamente la calidad del agua porque contribuyen desfavorablemente a las reacciones químicas. Se miden en mg/l
Turbiedad	Capacidad del material suspendido en el agua para obstaculizar el paso de la luz. Se mide en unidades de turbiedad (NTU). Es importante debido a que es causada por materia suspendida y coloidal presente en el agua
Temperatura	Es uno de los parámetros más significativos ya que afecta a las propiedades del agua; constituye la cantidad de calor que muestra la misma. Se mide en °C.
<b>Químicos</b>	
DQO	La demanda química de oxígeno determina la materia orgánica que es oxidada utilizando sustancias químicas y mas no microorganismos
DBO	La demanda bioquímica de oxígeno determina la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para degradar materia orgánica. Se expresa en unidades de mg/l
Oxígeno disuelto	Determina por su concentración la contaminación del agua debido a que es uno de los parámetros más importantes para que exista crecimiento y reproducción de los organismos acuáticos. El oxígeno es ligeramente soluble en el agua y la cantidad existente que puede estar presente está determinada por las propiedades del mismo gas. Se mide en mg/l
Nutrientes	Los nutrientes o bioestimuladores están constituidos principalmente por nitrógeno (N) y fosforo (P). Son básicas para el crecimiento de protistas y plantas. El N está compuesto por el N orgánico, amoniac, nitrito y nitrato, es elemental para la síntesis de proteínas y es necesario para los procesos biológicos. El P se presenta en soluciones acuosas en forma de ortofosfato, polifosfato y fosfatos orgánicos, es fundamental para el crecimiento de algas y otros organismos.
Aniones y cationes	Constituyen las sales, estas moléculas se encuentran cargadas eléctricamente lo que les permite la conducción de la electricidad, así que pueden ser detectados indirectamente por un medidor de conductividad. Se mide en ppm.
pH	El potencial de hidrogeno (pH) es la concentración o movimiento del ion hidrogeno, se refiere a la intensidad de las condiciones básicas o acidas del agua, se calcula en la escala de 0-14 siendo 7 el valor neutro. Acidez.- El agua se considera acida cuando posee un pH inferior a 8,5 Alcalinidad.- Es la facultad para neutralizar los ácidos, muestra la presencia de sales de ácidos débiles o bases fuertes
Dureza	Es la propiedad de cortar el jabón, es un indicador de la existencia de iones de Ca y Mg puede formar precipitados o incrustaciones, que obstaculizan el flujo en tuberías, se mide en mg/l de CaCO <sub>3</sub>
Conductividad	Es la capacidad de una solución para transportar la corriente eléctrica, esta depende de la presencia de iones (sales) y de su concentración total. Se mide en microohms/cm o microsiemens/cm
<b>Microbiológicos</b>	
Coliformes totales	La presencia de coliformes indica que el agua está contaminada con materia orgánica fecal
Coliformes Fecales	Es un indicador de contaminación por bacterias o virus de carácter patógeno, contenido en heces humanas o animales

**Fuente: Sierra Ramirez, 2011**

### 2.1.1 Distribución y disponibilidad

La disposición del recurso hídrico es muy variable en el planeta, así, en algunas regiones este recurso se puede encontrar en abundancia, mientras que en otros es muy escaso; sin embargo, la cantidad de agua no se altera. Según la FAO “Se estima que en el mundo existen unos 1400 millones de km<sup>3</sup> de agua, de los cuales 35 millones (2,5 por ciento) son de agua dulce”, encontrándose esta en los mantos polares, glaciares y acuíferos recónditos. El agua que puede ser aprovechable procede de la escorrentía superficial del agua de precipitación, es decir, agua que se recicla por la evaporación generada por la energía solar (FAO, 2017). En la Tabla 2-2 se puede observar la distribución de los recursos hídricos a nivel mundial.

**Tabla 2-2 Distribución de los recursos hídricos mundiales.**

<b>Agua</b>	<b>Volumen de agua [millones de km<sup>3</sup>]</b>	<b>Porcentaje de agua dulce [%]</b>	<b>Porcentaje del total de agua [%]</b>
Agua total	1386		100,0
Agua dulce	35	100,0	2,53
Glaciares y capas polares	24,4	69,7	1,76
Agua subterránea	10,5	30,0	0,76
Lagos, ríos y atmosfera	0,1	0,3	0,01
Agua salina	1351		97,47

**Fuente: FAO, 2017**

El promedio anual de agua precipitada sobre la Tierra rodea los 119000 km<sup>3</sup> de los cuales el 45000 km<sup>3</sup> viajan hacia cursos de agua, este volumen de agua es conocido como “recurso hídrico”; se sabe que no todos estos recursos son aprovechables para el consumo humano, esto debido a que parte de esta agua discurre hacia ríos. Las extracciones de agua anuales para el uso humano ascienden a 3600 km<sup>3</sup>, parte de este caudal debe seguir su curso superficial natural con el fin de suministrar la dilución de efluentes y conservación de ecosistemas acuáticos (FAO, 2017).

El reparto heterogéneo del recurso hídrico ocasiona que no todas las regiones del mundo tengan la misma disponibilidad (Gobierno de Mendoza, 2016) así en la Figura 2-1 se puede observar la disponibilidad del agua por países y en la Figura 2-2 se observa la relación entre la disponibilidad de agua y la población por continente.

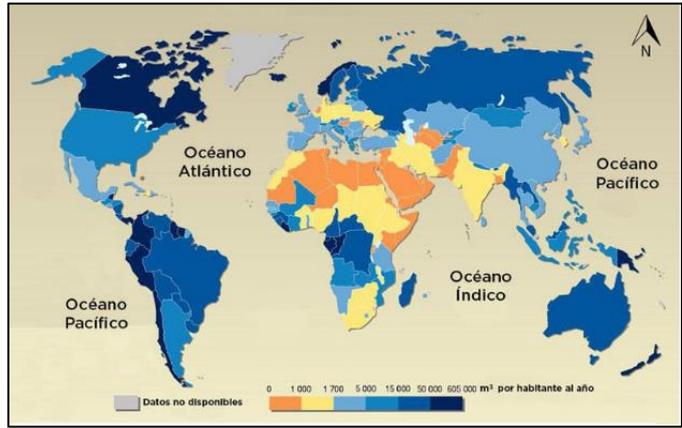


Figura 2-1 Disponibilidad del agua a nivel mundial.  
 Fuente: Aquabook Adaptado de World Resources Institute Washintong, 2000

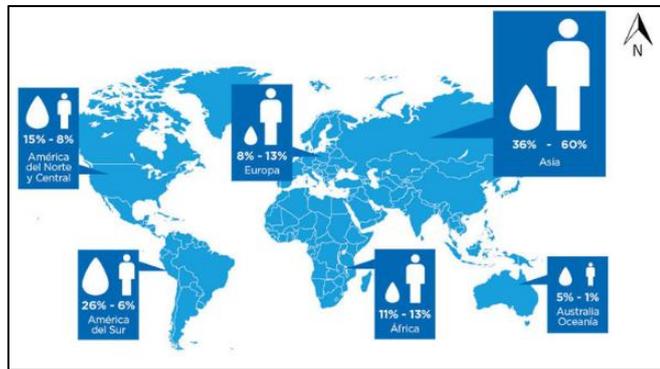


Figura 2-2 Relación entre disponibilidad de agua y población.  
 Fuente: Aquabook Adaptado de la UNESCO, 2010

### 2.1.2 Escases del agua

Desde inicios del siglo XX, el número de la población mundial se ha duplicado, así como el desarrollo industrial y agrícola, esto hace que la medida utilizada de este líquido fundamental se halla sextuplicado. Cabe recalcar que en el planeta existe el mismo volumen de agua que hace 2000 años pero debido a factores como que se ha incrementado la contaminación y los efectos del cambio climático se dice que casi el 40% de los seres humanos sufren con problemas de escasez, esta situación afectaría para el 2025 a un 66% de la población mundial situada en África y Asia Occidental (Water org, 2005).

Globalmente, las cifras de los recursos hídricos indican una situación bastante delicada, más si se toman en cuenta las proyecciones demográficas y futuras demandas de recurso, la competencia entre los usuarios se está acrecentando por lo que se ha llegado a hablar inclusive de guerras por el recurso hídrico en el futuro (FAO, 2017).

### **2.1.3 Contaminación del agua**

En la actualidad una de las mayores problemáticas mundiales es la falta de acceso al agua potable, esto ocasionado en gran parte por la contaminación producida por residuos vertidos en las actividades humanas, uso de fertilizantes, pesticidas o químicos que desembocan en las masas de agua dulce afectando la calidad (Vazquez Emiliano, 2017). Existen varios tipos de contaminantes de ahí se han determinado 2 clases de fuentes como son las puntuales (descargan agentes contaminantes en localidades específicas a través de tuberías o alcantarillas) y difusas (no se pueden localizar en solo sitio de descarga). La contaminación se detecta principalmente en laboratorio donde se determinan las concentraciones de componentes del agua mediante la detección de algunos de los parámetros y los cuales se compara de acuerdo a la legislación vigente en cada lugar, si cumple los requerimientos o que porcentajes de calidad (Lenntech, 2018). La mala administración de las aguas residuales urbanas, industriales y agrícolas provoca a que el agua que beben algunas personas se vea peligrosamente contaminada ocasionando daños a la salud de las mismas, así mismo la polución provoca que parte de los ecosistemas acuáticos cambien o desaparezcan (Vazquez Emiliano, 2017).

### **2.1.4 Sustentabilidad y Sostenibilidad del agua**

La administración sustentable del agua es una tarea ardua que requiere la intervención de la sociedad y del estado en sus distintas categorías de gobierno, con el fin de tomar decisiones bajo una visión simultánea logrando así la equidad en el uso del líquido vital (Ruiz de Galarreta, 2013). Involucra entonces la incorporación de nuevos enfoques y formas de manejo y gestión, para lograrlo es necesario retomar la visión desde lo local y considerar nuevos conceptos y tecnologías vinculados a los estándares de consumo de la población (Agua org, 2016).

Según el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 de las Naciones Unidas que dice: “*Se debe garantizar la disponibilidad de agua, su gestión sostenible y el saneamiento para todos*” se conoce que las metas de este objetivo cubren tanto los aspectos del ciclo hidrológico como los sistemas de saneamiento y la ejecución de este objetivo se ha planteado que contribuya en el progreso de los demás objetivos respetando el principio de sostenibilidad que trata sobre el manejo apropiado de los recursos por las

generaciones actuales sin comprometer la disponibilidad de los mismos para las generaciones futuras (ONU, 2018).

## **2.2 HUELLA HÍDRICA**

La huella hídrica se instituye como un índice multidimensional de asimilación de los recursos hidrológicos, puede expresarse como la medida integral de agua dulce usada para producir los bienes y servicios, es un indicador de uso de agua en el que se contabiliza tanto el uso directo como indirecto de los consumidores o productores. Mediante esta herramienta se puede establecer un diagnóstico de afectación de los recursos hídricos que es una pauta para el desarrollo de destrezas de optimización y reducción de los impactos ambientales generados (Pradillo, 2018).

De acuerdo al “Manual de Evaluación de la Huella Hídrica” (Water Footprint Network, 2011) del proyecto Huella de Ciudades, esta puede ser calculada desde diferentes enfoques así:

- Un producto
- Un proceso
- Un consumidor
- Un grupo de consumidores
- Una cuenca hidrográfica
- Un área geográfica delimitada

Esta huella consiste principalmente en dos componentes, la HH operativa (directa) que es el volumen de agua consumida o contaminada debido a las operaciones propias y la HH de la cadena de suministro (indirecta) que es el volumen de agua dulce utilizada para producir los bienes y servicios que forman parte de los insumos de producción (Hoekstra, Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2011). A continuación, en la Tabla 2-3 se detallan los componentes de la huella operacional y de la cadena de suministro.

**Tabla 2-3 Componentes de la huella hídrica institucional.**

Huella Hídrica Operacional		Huella Hídrica de la Cadena de Suministro	
HH directa asociada con la producción	HH global	HH directa asociada con la producción	HH global
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua incorporada al producto</li> <li>• Agua consumida o contaminada en el proceso de lavado</li> <li>• Agua térmicamente contaminada por el uso como refrigerante</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumo o contaminación del agua relacionada con el uso en cocinas, baños, limpieza, jardinería o lavado de implementos de trabajo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Componentes de los productos comprados por la institución</li> <li>• Artículos adquiridos por la institución para el procesamiento de un producto o la prestación de un servicio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infraestructura (materiales de construcción, etc.)</li> <li>• Materiales y energía para uso general (materiales de oficina, automóviles y camiones, combustibles, electricidad, etc.)</li> </ul>

Fuente Manual de Evaluación de la HH, 2010

## 2.2.1 Antecedentes de la huella hídrica

La huella hídrica es una expresión relativamente nueva que surge a partir de la necesidad de gestionar el agua de forma eficiente. A continuación, en la Figura 2-3 se puede observar una cronología del marco histórico del análisis de la huella hídrica:



Figura 2-3 Cronología del desarrollo de la huella hídrica.

Fuente: Aldaya, 2014

### 2.2.1.1 Análisis a nivel de Latinoamérica

A nivel de Latinoamérica, se han desarrollado estudios enmarcados en el proyecto “Huella de Ciudades” y se han realizado varias investigaciones, así, la Fundación Suizagua Andina promueve un programa con el apoyo de la “Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación” (COSUDE) y las alianzas público-privadas. El

objetivo de la fundación es la ejecución de la HH, trabaja principalmente en Colombia, Perú y Chile; siendo Colombia el primer país en desarrollar las mediciones de huella hídrica en el año 2010, a partir de ese año están trabajándose varios proyectos tanto en industrias como a nivel de cuencas. En el 2012 Perú tomo la iniciativa de realizar mediciones de huella hídrica en empresas privadas demostrando un interés por la gestión del agua (Castillo, 2014).

#### **2.2.1.2 Análisis en Ecuador**

En el Ecuador el análisis de huella hídrica es relativamente nuevo, dentro del proyecto “Huella de Ciudades” forman parte apenas 5 ciudades como son Quito, Guayaquil, Cuenca y Loja en el territorio continental y la Isla Santa Cruz en Galápagos. Se han realizado mediciones de huella e implementaciones de estrategias para la reducción y optimización del consumo de agua a nivel de GADs (Gobiernos Autónomos Descentralizados).

A nivel académico, las investigaciones sobre la huella hídrica se incrementan, así existen algunos trabajos de pregrado que se enfocan en 2 ámbitos:

Agrícola.- En el ámbito agrícola se puede apreciar el trabajo de (Pérez A., 2012) que realiza una valoración y análisis de huella hídrica y agua virtual de la producción agrícola nacional, otro trabajo es el de (Zarate & Kuiper, 2013) en el cual se realiza la evaluación de la huella hídrica de la obtención de banana en países como Perú y Ecuador, otra investigación es de (Jiménez, Yaguache, & Escalante, 2017) en el que se realiza una especialización de productos mediante una selección multicriterio que considera la huella hídrica en la provincia de Loja además se debe mencionar el trabajo de (Ramírez Cando, Vilches, Lizano Acevedo, Pinzón Colmenares, & Sandoval Mena, 2017) quienes realizan la estimación de la HH y de carbono en los cultivos comunitarios de quinoa de la zona central de los andes nacionales y finalmente se menciona el trabajo de (Chuquimarca Carrión, 2016) que analiza la huella hídrica del bambú gigante como indicador de sustentabilidad en el ámbito de la construcción.

Institucional.- En el ámbito institucional e industrial se pueden citar los trabajos de (Ortiz, 2018) quien realiza una medición de la huella hídrica en la sede Quito de la Universidad Politécnica Salesiana Campus Sur, otro trabajo es el de (Guaman, 2018) quien realiza la estimación de la HH para la Secretaria de Agua con su planta en Quito,

además se debe mencionar el trabajo de (Chuquimarca Carrión, 2016) quien valora la huella hídrica de la industria cementera en la provincia de Imbabura. En el ámbito de gobierno se debe considerar los trabajos como los de (Llerena Llerena & DT. Victoria Molina Torres, 2014) en donde se analiza la huella hídrica de Ambato con un enfoque al derecho de vivir en un ambiente saludable, con el enfoque de cuencas hidrográficas se puede citar el trabajo de (Llerena Llerena & DT. Victoria Molina Torres, 2014) que se enfoca en el análisis de la sostenibilidad de la producción de agua en la microcuenca del río Pita por medio de la determinación de la huella hídrica.

### **2.2.2 Metodologías de calculo**

Para el cálculo se encuentran dos metodologías, así la primera propuesta por Hoekstra en el Manual “The Wáter Footprint Assessment” (WFP) en el año 2002, consta de 4 fases para su estimación y clasifica el recurso hídrico por colores tomando en cuenta los impactos que se producen en el medio ambiente y la segunda mediante la norma ISO 14046 la cual se apoya en el análisis de ciclo de vida, esta se basa en la calidad del agua y no en el impacto ambiental sobre el entorno, esta norma no clasifica la huella por colores por lo que no permite la comparación (Guaman, 2018).

Las dos metodologías están relacionadas entre sí, aunque según los autores (Garrido & Aldaya, 2015) la ISO 14046 aleja a la huella hídrica de la administración del agua, además de que no es independiente ya que para estimar los impactos debe incorporar la aplicación de la norma ISO 14044 y realizar un análisis completo.

### **2.2.3 Componentes de la huella hídrica**

Para el presente análisis se emplea la metodología del manual de la WFP, conocida como la metodología de Hoekstra; la cual clasifica a la huella hídrica en 3 componentes principalmente (azul, verde y gris) como se puede ver en la Figura 2-4 y establece 4 etapas para el análisis de la misma.

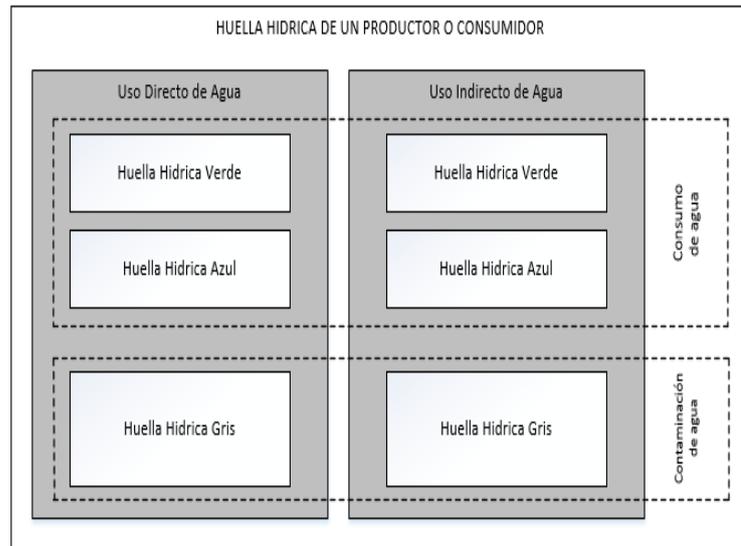


Figura 2-4 Componentes de la Huella Hídrica.  
Fuente: Hoekstra et al, 2011; Adaptación Castillo, 2016

Las etapas de análisis que presenta la metodología se detallan a continuación:

### 2.2.3.1 Establecimiento de objetivos y alcances

En esta etapa se pretende identificar los componentes que conforman la huella hídrica y se establece las prioridades para la respuesta. Se intenta especificar el interés de medición de la huella sea esta de un grupo de consumidores (huella hídrica de consumidores de una institución educativa), o de un área geográficamente delimitada (huella hídrica dentro de un campus universitario), según el alcance verificado se define el objetivo donde va ser dirigido evaluación de la huella (Hoekstra et al., 2011). Se trata de analizar como los recursos hídricos del área se asignan por varios propósitos, es decir, donde la huella hídrica en el área viola las leyes locales, requisitos de flujo ambiental y estándares de calidad.

### 2.2.3.2 Contabilidad de la huella hídrica

Este cálculo proporciona datos para responder cual es el volumen real de agua que emplea el hombre durante cierto periodo de tiempo. En el caso de consumidores la expresión puede ser volumen de agua por unidad de tiempo, o también puede expresarse como volumen de agua por unidad de tiempo per cápita (Hoekstra et al., 2011).

La huella hídrica está representada por la siguiente ecuación:

$$HH\ Total = \sum HH\ Directa + \sum HH\ Indirecta \quad (1)$$

Donde:

*HH Directa* es la huella hídrica directa, operacional

*HH Indirecta* es la huella hídrica indirecta, cadena de suministro

La cual instituye que la huella hídrica total de un grupo de consumidores dentro de una superficie geográfica determinada es igual a la sumatoria de la huella directa con la huella indirecta y el valor obtenido se representa en unidades de m<sup>3</sup>/año.

### **Huella Hídrica Directa**

La huella directa es el consumo inmediato de agua es decir lo que se ve marchar ante los ojos en el desenvolvimiento de las distintas actividades dentro del campus, sean estos; aseo personal, limpieza en general, riego, utilización dentro de las distintas prácticas, etc. En conclusión es el agua de uso doméstico que se consume en el pasar de las actividades cotidianas (Castillo, 2014).

Esta huella parte del balance hídrico de la institución, es decir del cálculo de las entradas y salidas que se registren en el año de análisis. Se contabilizan componentes que son las huellas azul, verde y gris como se detalla a continuación:

- **Huella Hídrica Azul**

Es un indicador de uso consuntivo llamado también agua azul (agua disponible en los cuerpos de agua superficiales y subterráneos) (Hoekstra et al., 2011). El término consuntivo (uso del agua) se refiere a uno de los siguientes casos.

- El agua que se evapora
- El agua que se incorpora al producto
- El agua que no regresa a la misma área de captación
- El agua que no regresa en el mismo periodo

La huella hídrica azul mide entonces la cantidad de agua disponible en un periodo determinado. Se la calcula mediante la siguiente fórmula que parte del balance hídrico:

$$HH\ Azul = Afluente - Efluente \quad (2)$$

Donde:

*Afluente* es la entrada de agua mediante la red de agua potable local

*Efluente* es el agua que ha sido empleada por la comunidad universitaria para las diferentes labores que se desempeñan y que es desechada.

- **Huella Hídrica Gris**

Es el volumen ficticio de agua dulce que se demanda para diluir la carga de contaminantes hasta que la calidad del agua se encuentre dentro de los límites permitidos en las normativas locales y nacionales; es decir, es el volumen de agua contaminada por los procesos que se producen en la institución. Puede medirse mediante la comparación de los diferentes parámetros para detectar la contaminación del agua (Castillo, 2014), tomando en cuenta que la normativa ecuatoriana para la calidad del recurso es el TULSMA.

Se debe considerar el concepto de agua gris, que se define como agua que posee contaminantes ya sea con sustancias orgánicas o desechos generados por las actividades humanas (García & Toro, 2013).

Para el cálculo de la huella hídrica según la técnica empleada, se aplica la siguiente ecuación:

$$HH\ Gris = \frac{(Vol\ eflu * C\ eflu) - (Vol\ aflu * C\ aflu)}{C_{max} - C_{nat}} \quad (3)$$

Donde:

*Vol eflu* es el volumen del efluente

*C eflu* es la concentración del parámetro en el efluente

*Vol aflu* es el volumen del afluente

*C aflu* es la concentración del parámetro en el afluente

$C_{max}$  es la concentración máxima del parámetro utilizado para la cuantificación

$C_{nat}$  es la concentración natural en un cuerpo de agua receptor que se tendría al no existir disturbios antropogénicos. Para el estudio se analizarán las concentraciones de la microcuenca del Río Machangara

- **Huella Hídrica Verde**

La huella hídrica verde se determina como el volumen total de agua de precipitaciones consumida durante la operación de la institución; se refiere al agua de lluvia que es acumulada en el suelo y en la vegetación. Dentro de la institución es el total de agua de evapotranspiración más el agua incorporada en las áreas verdes de la misma (García & Toro, 2013).

Para el cálculo de la huella hídrica verde según la metodología utilizada, se aplica un proceso en el que se incluye al software CROPWAT desarrollado por la “Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura” (FAO) para el cálculo del volumen de agua evapotranspiración que se basa en la ecuación de Penman-Monteith para determinar la cantidad requerida por los cultivos en varias localidades y escenarios climáticos (Castillo, 2014). La precipitación efectiva es calculada por medio del “Método del Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos” mediante las siguientes ecuaciones.

$$a) P_{eff} = P (124 * 0,2P)/125 \quad \text{Si } P \leq 250 \text{ mm} \quad (4)$$

$$b) P_{eff} = 125 + 0,1P \quad \text{Si } P \geq 250 \text{ mm} \quad (5)$$

Donde:

$P_{eff}$  es la precipitación efectiva en mm (absorbida por la vegetación)

$P$  es la precipitación (estación)

Al valor obtenido se le multiplica el total de áreas verdes en unidades de hectáreas (ha) y se tiene como resultado el valor de huella hídrica verde.

### **Huella Hídrica Indirecta**

La huella hídrica indirecta es agua consumida, pero que no se puede ver a simple vista por lo que es ignorado por los consumidores. Así, por ejemplo, cuando se consume un alimento, se compran artefactos, etc., fue necesario un determinado volumen de recurso hídrico para la producción o fabricación de estos productos o insumos. (Castillo, 2014). Se establece como la suma de las huellas indirectas provenientes de la cadena de suministros de la institución. Para el cálculo se consideran los elementos que son fuente de huella indirecta, partiendo del estudio de consumo de insumos en el campus. Se

necesita el total de materiales y sus equivalencias hídricas correspondientes que se encuentran en las bases de datos del manual de la WFN. En la Tabla 2-4 se pueden observar las que mayor impacto representan para el análisis.

**Tabla 2-4 Principales actividades de impacto en la institución.**

SERVICIO	PRODUCTO	INSUMO
Agua potable	Producción de alimentación del patio de comidas	Materiales de papelería (papel, cartón, hojas, cuadernos, esferos, etc.)
Energía Eléctrica	Producción de los talleres mecánicos y eléctricos	Insumos para talleres y laboratorios
Internet y telecomunicaciones	Productos audiovisuales	Materiales para investigaciones
Alcantarillado	Productos de laboratorios de ciencias de la vida	Insumos para el mantenimiento de infraestructuras y áreas verdes
Infraestructuras	Resultados de investigaciones y producción científica	Insumo de servicios adicionales (dispensario médico, odontológico, otros)
Dispensario médico y odontológico		

**Fuente: Guamán, P, 2017, Modificado**

Mediante un sondeo se deben identificar las actividades más importantes para el estudio que pueden ser el consumo de energía eléctrica y el uso de material de papelería (papel) debido a que son los más importantes insumos para el funcionamiento de todos los espacios y personas dentro de un campus universitario.

- **Huella hídrica indirecta asociada al consumo de energía eléctrica**

Para el cálculo de la huella asociada al consumo de energía eléctrica debe reconocerse el tipo y fuente de energía, es decir, de qué fuente proviene la misma (combustión, hidroeléctrica, biomasa, eólica, solar, etc.) (Ortiz, 2018) y el porcentaje de cada fuente de energía en el caso de ser más de una fuente. Así mismo es necesario conocer el consumo de electricidad que tiene la institución en el año de análisis en unidades de kWh y el factor de conversión del tipo de energía que se esté utilizando, que depende de la fuente directa de energía que se utiliza, estos datos se encuentran disponibles en la base de datos de la WFN (Barranza, 2012). El cálculo se efectúa por medio de la siguiente ecuación:

$$WF_{Electricidad} = Consumo\ de\ energia * Factor\ de\ conversion \quad (6)$$

Donde:

$WF_{Electricidad}$  es la huella hídrica producida por la electricidad

*Consumo de energía* es el consumo de energía (kW/h)

*Factor de conversión* es el factor obtenido de la base de datos

- **Huella hídrica indirecta asociada al consumo de material de papelería (papel)**

La huella hídrica ligada al consumo de papel hace referencia al total de papel consumido en el año de análisis, esta cantidad se expresa en unidades de peso y se multiplica por el valor de huella según el tipo de papel que dicta la metodología. (Ortiz, 2018), como lo considera en la siguiente ecuación.

$$WF_{Papel} = Consumo\ de\ papel * Factor\ de\ conversion \quad (7)$$

Donde:

$WF_{Papel}$  es la huella hídrica asociada al papel

*Consumo de papel* es el consumo de papel (kg o ton / año)

*Factor de conversión* es el factor obtenido de la base de datos

### 2.2.3.3 Evaluación de la sostenibilidad

La sostenibilidad del medio, se debe a que los servicios ambientales son el insumo para el progreso económico, social y ambiental de una ciudad; prestando una especial relevancia al recurso hídrico ya que se debe asegurar la disponibilidad y el acceso por lo que la administración sostenible del agua se convierte en una prioridad a nivel social (García & Toro, 2013).

La sostenibilidad de los resultados de la huella hídrica se expresa desde 3 dimensiones, con el fin de lograr analizar los impactos directos e indirectos y que se permita establecer que el valor calculado se encuentre dentro de los márgenes que los recursos hídricos locales puedan resistir. Estas dimensiones son:

- **Ambiental:** Se refiere a la cantidad y calidad del recurso hídrico que debe mantenerse dentro de los límites establecidos por las normativas locales, además, se alude a los caudales de los ríos y aguas subterráneas que deben mantenerse en ciertos límites con el fin de conservar los ecosistemas.

- Social: Hace referencia a la distribución equitativa del agua, costos externos de consumo y contaminación, etc.
- Económica: Consiste en la asignación y manejo de agua dulce de una manera económicamente eficiente, los beneficios de la huella que resultan de usar el agua para cualquier fin deben pesar más que el costo de oportunidad caso contrario se dice que la huella es insostenible (Barranza, 2012).

La metodología de análisis de sostenibilidad se toma del Manual de Evaluación de Huella Hídrica, que corresponde a la calidad de agua que debe conservarse dentro de ciertos límites, de acuerdo con la legislación (Guaman, 2018).

#### **2.2.3.4 Formulación de respuestas**

En esta etapa se plantean una serie de propuestas o estrategias para minimizar el consumo de agua que dio como producto del cálculo de la huella hídrica. Se promueve la reducción y el uso sostenible del agua mediante estrategias que contribuyan con el propósito planteado.

### **2.3 SISTEMAS INTELIGENTES DE MONITOREO Y MANEJO DEL AGUA**

#### **2.3.1 Sistemas de monitoreo de agua**

Para el análisis del consumo como de la calidad del agua se han especificado varios métodos, así: para el consumo se determinaron que los modelos multivariantes son idóneos ya que tienen mayores acercamientos a la realidad. Diferentes experiencias determinan que el precio del agua es un método eficaz con el análisis de las facturas, así mismo la relación del tamaño de los hogares, el consumo y la elasticidad del precio son metodologías estadísticas de análisis (Gildardo Manco Silva et al., 2012).

En cuanto a la calidad del agua por lo general se utiliza el análisis fisicoquímico y microbiológico en laboratorio que sigue los protocolos de manejo de muestras y normas nacionales vigentes en donde se toma en cuenta varios parámetros como cloro-residual, pH, turbiedad, oxígeno disuelto, DBO, parámetros estéticos coliformes totales, fecales, e-Coli, etc.; tomando en cuenta diversas metodologías para la determinación de estos. Además de los estudios en laboratorio existen equipos portátiles y económicos que permiten realizar análisis sencillos in-situ que hacen uso de los sistemas digitales y la electrónica (Mozaquites Ledezma, 2010).

### **2.3.2 Monitoreo de la calidad del agua**

Gran parte de los análisis de monitoreo de calidad de agua se han desarrollado en los Estados Unidos de América, con la “Nacional Stream Quality Accounting Network” (NASQAN) perteneciente a la “U.S. Geological Survey” (USGS) que empezó el monitoreo de la calidad de agua en los ríos más crecidos, como son el Columbia, Mississippi, Colorado y río Grande. El Monitoreo del río Colorado consta de un programa que divide en siete, los cuales conforman los afluentes de este río. Los datos recopilados de las diferentes estaciones tienen como finalidad cuantificar los compuestos químicos y evaluar la tendencia que posee y variaciones con respecto a los diversos aspectos de calidad de agua. Estos datos sirven para localizar las áreas donde se originan la contaminación.

Se dio a conocer como realizan la evaluación del diseño de NASQAN en cuanto a la eficacia en la determinación de la calidad del agua de los ríos utilizando los datos de los tres primeros años de operación. Con NWQMC (National Water Quality Monitoring Council), los diversos estados que conforman el país han ejecutado de forma independiente o en conjunto sobre programas con una gran similitud. Entre éstos se puede mencionar:

Estudios profundos de la cuenca de Nueva York, que posee un programa de monitoreo intensivo como táctica para la valoración general los ríos del Estado, el Programa de Muestreo de Estudios Intensivos de Cuencas (RIBS), ha incluido la valoración de químicos de los contaminantes en el agua, evaluaciones biológicas y evaluaciones de niveles de toxicidad. (Carvajal londoño Adela Londoño et al., 2010).

La Comunidad Europea proporcionó apoyo a los programas de monitoreo ambientales englobando parámetros de biodiversidad. Con estudios realizados en Córdoba, Argentina donde se verifica la utilidad de los índices de calidad de agua para analizar en el tiempo y en el espacio las variaciones producidas en la calidad del agua. En 1995 y 2002, se emplean los datos nacionales de la red hidrológica juntamente con los parámetros en 38 ríos y 25 de las cuencas hidrográficas de Turquía. Los resultados obtenidos aportan una evaluación útil de los controles sobre el volumen y calidad del agua lo cual ayudará a la elaboración de un método de gestión integrado y sostenible de las cuencas hidrográficas en este país (Evrendilek, 2009).

### **2.3.3 Programas de monitoreo de la calidad del agua**

En la actualidad necesario garantizar un recurso hídrico en óptimas condiciones y así prevenir enfermedades. La participación de voluntarios en cuanto al monitoreo variables de calidad de agua empezó en los 60's, un trabajo conjunto de la clase trabajadora y por instituciones dedicadas a la conservación de fuentes hídricas (Rivas Francisco, 2010).

Luego de la segunda década de los 80's, se crean tres proyectos de monitoreo de estuarios que son:

- “Rhode Island Salt Pond Watchers”,
- “Chesapeake Bay Citizens Monitoring Program”
- "Maine's Clean Water Program”.

Debido al apoyo proporcionado por la delegación encargada del control del agua de la agencia de protección ambiental (EPA), surgieron varios programas de monitoreo similares con voluntarios y a su vez se dio importante desarrollo y creación de sistemas de datos a nivel nacional. Gracias a esto se incrementaron los voluntarios, cuyos estudiantes tomaron en consideración manejar métodos de control y monitoreo de sus fuentes de agua superficiales. En los años 80's, grupos y programas de voluntariado fueron creciendo, de tal forma que los integrantes fueron mejorando sus habilidades y mejorando los métodos al momento de medir los parámetros ambientales, logrando así una mejor adquisición y datos más fiables. (unicef, 2013).

El programa Philippines Water Watch (PWW), elige los temas particulares de estudio en cada país donde se acentúa, basado en un acuerdo entre los científicos e integrantes de la comunidad partir de una amplia evaluación de las diferentes características biofísicas y sociales de cada región. Dicho programa se extendió años más tarde a Ecuador, Tailandia y Brasil. (Castleden, 2014).

Las investigaciones sobre el monitoreo de los ríos se ayudan a determinar las características hidráulicas como: caudal, velocidad de flujo, profundidad media y disponibilidad futura. Pero lamentablemente carece de una base de datos disponible en cuanto de medición de parámetros ambientales, pero se han realizado estudios cuyo objetivo esencial es la determinación de algunos parámetros químicos y biológicos que demuestren el nivel de contaminación ambiental de algunos ríos venezolanos. La toma

de muestra y medición de estos distintos parámetros se construyen plantas de tratamiento de agua, donde se determina si posee las características establecidas por las normas sanitarias vigentes del consumo de agua. (Samuel Segnini, 2005).

#### **2.3.4 Sistemas inteligentes de manejo de agua**

Alrededor del planeta, las pérdidas de agua que circula por la red corresponden a un 35% del total de agua desperdiciada, lo que significa que son unos 49000 millones de m<sup>3</sup> que se pierden, por lo que se ha desarrollado tecnologías para la gestión de este recurso. Así según el informe “Global Smart Water Management Market 2016 – 2020”, el uso de nuevas modalidades para el tratamiento inteligente del agua, sean estas “el Big Data, el internet de las cosas, la detección y monitoreo en tiempo real”, puede ayudar a optimizar millones de litros de agua a los servicios públicos en un año (Sanchez, 2015).

Actualmente, existen varios instrumentos que tienen como objeto perfeccionar la utilidad de las redes de distribución de agua, así:

- El sistema “Aquadvanced”, es una solución innovadora que permite la eficiente gestión de la red de abastecimiento, lo que comprime costos operativos, regula la calidad del agua y optimiza el consumo. Este sistema brinda mejoras en los indicadores de rendimiento de una red de agua (caudal, presión y calidad) ya que utiliza sensores que vigilan el comportamiento hidráulico en tiempo real. Esto permite detectar fugas de manera inmediata, así como controlar permanentemente los parámetros de calidad del agua. Su sistema aplica un programa informático que centraliza y analiza los datos y los convierte en una herramienta válida para la toma de decisiones (Sanchez, 2015).
- El sistema nombrado BUS VHF admite el monitoreo inteligente utilizando contadores electrónicos. Utiliza comunicaciones inalámbricas con tecnología de largo alcance VHF, la cual soporta leer de 1 a 50 contadores con un solo dispositivo (implica ahorro de costos). Además, permite el análisis de lecturas diarias con el fin de identificar cualquier consumo inesperado de agua (Sanchez, 2015).

## 2.4 REDES INALAMBRICAS

Las redes sin cable también conocidas como redes inalámbricas (Wireless Networks) son aquellas que se pueden comunicar mediante medios no guiados a través de ondas electromagnéticas para intercambiar información. El envío y recepción de datos se realizan a través de antenas (Andreu Joaquin, 2011). El uso de estas redes puede tener varias ventajas y desventajas tales como:

### Ventajas

- Fácil movilidad
- Accesibilidad
- Productividad
- Costo de mantenimiento bajo
- Instalación rápida
- Algunos de los casos es una solución cuando el cableado es complicado

### Desventajas

- Sensible a interferencias externas
- Alto costo de instalación
- La velocidad es limitada.
- Menor seguridad.

#### 2.4.1 Tipos de redes

Las redes inalámbricas se pueden clasificar dependiendo el alcance y/o tecnología:

- **Red inalámbrica de área personal (WPAN):**

Este tipo de red se basa en el modelo IEEE 802.15.4, el rango de cobertura no excede los 100 metros, es decir es una red de corto alcance, fue diseñada para la conexión de dispositivos como: electrodomésticos teléfonos móviles, etc. Este tipo de red se puede encontrar en las tecnologías de infrarrojo, bluetooth, Zigbee y de RFID (Salazar, 2016)

- **Red inalámbrica de área local (WLAN):**

Se basa en el estándar IEEE 802.11 en sus distintas adaptaciones como (802.11a, 802.11b, 802.11g y la 802.11n), la más conocida es Wifi. Es una red inalámbrica que se sitúa en el mismo edificio, con una cobertura de 20 kilómetros y es utilizada mayormente en el acceso a internet (Salazar, 2016).

- **Red inalámbrica de área metropolitana (WMAN):**

Conocida como redes Wi-Max, es una red que se emplaza en lugar donde la demanda del servicio sea considerable tal como en una urbanización, un barrio, etc. Basado en el estándar 802.16 esta red puede cubrir grandes distancias y conectar diferentes puntos dentro de una metrópolis. Se encuentra presente en las tecnologías de Wireless MAN y LMDS (Salazar, 2016).

- **Red inalámbrica de área mundial (WWAN):**

Esta red se basa en las tecnologías como vSAT, 2G 3G, 4G. generalmente se usa para transmisión de datos y también para acceso a Internet (Salazar, 2016).

#### **2.4.2 Redes de sensores inalámbricas (WSN)**

Esta red está comprendida por nodos de sensores de bajo consumo de energía, basado en dispositivos autónomos que se encuentran distribuidos en una zona determinada los cuales obtienen información de su entorno realizando tareas de censado y comunicación. Este tipo de redes puede realizar tareas como: seguir trayectorias, detectar objetos, monitoreo de variables ambientales. Estos datos luego son enviados al Gateway o nodo central. Estos nodos se encuentran distribuidos en una red ad-hoc formada por nodos móviles (Aakvaag & Frey, 2006). Los elementos que conforman un sistema de sensores inalámbricos se observan en la Figura 2-5.

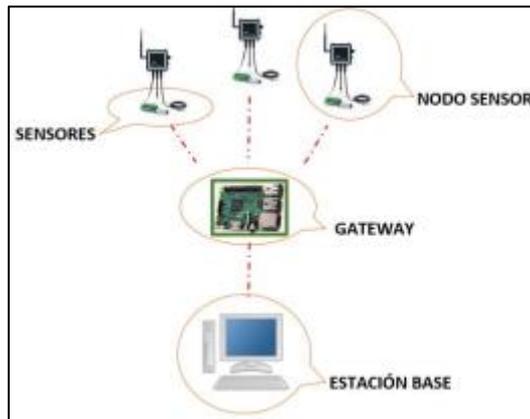


Figura 2-5 Elementos de una red de sensores.  
Fuente: Anónimo

Los elementos se describen a continuación:

- **Nodo central (Gateway)**

Este nodo realiza el enlace entre dos redes iguales o de distinto tipo. Su principal característica es que no posee sensores en su estructura y este puede dominar a los demás sensores de la red. Este nodo se encarga de la recepción y almacenamiento de la información que es adquirida por los sensores. Este puede actuar como estación base y a su vez funciona como puerta de salida de datos (Reyes Guerrero, 2017).

- **Estación base**

La información que se recolectó de los distintos nodos es procesada para su análisis correspondiente. Por lo general la estación base es un computador.

- **Nodo sensor**

Estos elementos de la red son los delegados de adquirir los datos y luego ser transmitidos a un nodo receptor. También se los conoce como motas por su tamaño reducido y su bajo consumo de energía para realizar su función de adquisición de datos. Un nodo sensor está comprendido por: sensores, procesador, comunicación inalámbrica y alimentación.

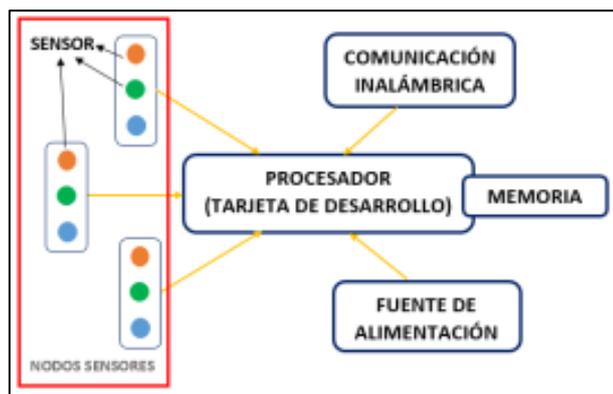


Figura 2-6 Elementos de un nodo sensor.  
Fuente: Anónimo

### 2.4.3 Sensores

Son de tamaño reducido, para realizar su actividad consumen muy poca energía. Estos elementos reciben señales analógicas y las convierte a señales digitales listas para su procesamiento. Estos dispositivos actúan al detectar un cambio de un parámetro ya sea físico o químico del ambiente en el sitio donde está instalado. En el mercado existe una gran diversidad de sensores agrupados dependiendo su funcionamiento:



Figura 2-7 Tipos de sensores.  
Fuente: Autores

Los sensores que utilizarse en la presente investigación se describen a continuación:

### 2.4.3.1 Sensor de pH ENV-40

Un sensor de pH (potencial de hidrógeno) mide el movimiento de iones de hidrógeno en un líquido. En la punta del sensor de pH hay una película de vidrio, esta membrana permite que los iones hidrogeno del líquido que se mide se desactiven en la capa exterior del vidrio, mientras iones más grandes permanecen en el medio. La distinción en la concentración de iones de hidrógeno (fuera de la sonda frente a la sonda) crea una corriente mínima. Esta corriente es equitativa a la concentración de iones de hidrógeno en el líquido que se mide (Atlas Scientific, 2018).

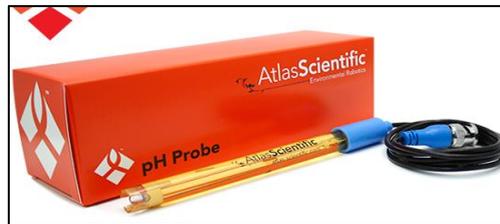


Figura 2-8 Sensor de pH.  
Fuente: Atlas Cientific, 2018.

### 2.4.3.2 Sensor de Conductividad K 1.0

El circuito de conductividad eléctrica de clase EZOTM de Atlas Scientific™, emplea un método de resolución de escala. A medida que aumenta la conductividad, la resolución entre las lecturas disminuye. El circuito de conductividad eléctrica de la clase EZOTM emitirá lecturas de conductividad donde los primeros 4 dígitos son válidos y los otros están configurados en 0 (Atlas Scientific, 2018).

El sensor de conductividad mide la corriente eléctrica del agua entre dos placas de grafito. El cable se puede extender a 100 metros sin pérdida de señal. El sensor se calibra con el cable extendido (Atlas Scientific, 2018).



Figura 2-9 Sensor de Conductividad.  
Fuente: Atlas Cientific, 2018

### 2.4.3.3 Sensor de Oxígeno Disuelto ENV-40

Un sensor de oxígeno disuelto consiste en una película de politetrafluoroetileno, un ánodo bañado en un electrolito y un cátodo. Las moléculas de oxígeno se desactivan a través del sensor a la membrana a una celeridad constante (sin la membrana, la reacción ocurre con aceleración). Cuando las moléculas de oxígeno han atravesado la membrana, se reducen en el cátodo y se produce un pequeño voltaje. Si no se presentan moléculas de oxígeno, el sensor emitirá 0 mV. A medida que acrecienta el oxígeno, también lo hace la salida de mV del sensor. Cada sensor emitirá un voltaje distinto en presencia de oxígeno. Lo único que es constante es que  $0\text{mV} = 0$  Oxígeno (Atlas Scientific, 2018).



Figura 2-10 Sensor de oxígeno disuelto.  
Fuente: Atlas Científic, 2018

## 2.4.4 Tecnologías inalámbricas

### 2.4.4.1 Protocolo IEEE 802.15.1 (bluetooth)

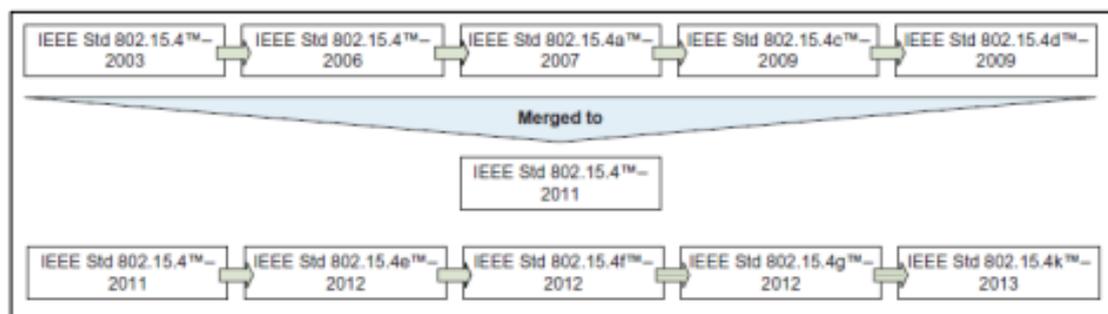
Este estándar fue desarrollado específicamente para “Redes Inalámbricas de Área Personal” (WPAN). Es más utilizado en dispositivos pequeños teléfonos celulares y electrónica de bajo consumo de energía. Entre las tecnologías más populares están el Bluetooth y Zigbee (Bibing, 2009). Estas tecnologías usan las bandas de frecuencia ISM, que son de uso libre a nivel global. Bluetooth es una de las tecnologías de mayor demanda en el mundo que está en todos los dispositivos móviles, computadores, electrodomésticos, etc. Dentro de la familia IEEE 802.15.1 existen tres clases, sus características se especifican en la Tabla 2-5.

**Tabla 2-5 Variantes del estándar 802,15**

	<b>Clases</b>	<b>Distancias</b>	<b>Tasa de transmisión</b>	<b>Detalles</b>
<b>802.15.1</b>	1	100 m	1 Mbps	Usa topológica Piconet, formado por redes Scatternet
	2	10 m	3 Mbps	
	3	1 m	53.480 Mbps	
<b>802.15.3</b>	802.15.3a	2 m	110 Mbps	Redes WPAN de alta velocidad.
	802.15.4a	10 m	110 Mbps	
<b>802.15.4</b>	802.15.4a	(75-100) m	250 kbps	Soporte conexiones de 20.40.50 kb

**Fuente: Acosta Ponce, 2016**

Uno de los estándares como mayor demanda en la actualidad es el IEEE 802.15.4, a continuación, se muestra un diagrama de bloque donde se presenta su evolución a partir del año 2003 hasta el 2013 (Salazar, 2016).



**Figura 2-11 Evolucion de la tecnología IEEE 802.15.4**

**Fuente: WPAN, 2017**

#### **2.4.4.2 Protocolo IEEE 802.15.4 (Zigbee)**

La tecnología inalámbrica Zigbee es de corto alcance y de bajo consumo, esta se definió como solución inalámbrica de baja capacidad para aplicaciones domésticas como la seguridad y automatización tales como:

- Domótica
- Automatización industrial
- Medicina
- Etc.

#### **Bandas de Operación**

Zigbee puede alcanzar una velocidad de 20 a 250kBps es un rango de 10 a 75 metros por lo tanto no obtiene velocidades altas, opera en las bandas libres de 2GHz,

858MHz para Europa y 915MHz para EEUU. En la siguiente gráfica se puede observar cómo está la distribución de las bandas del protocolo 802 (*ZigBee Specification, 2012*).

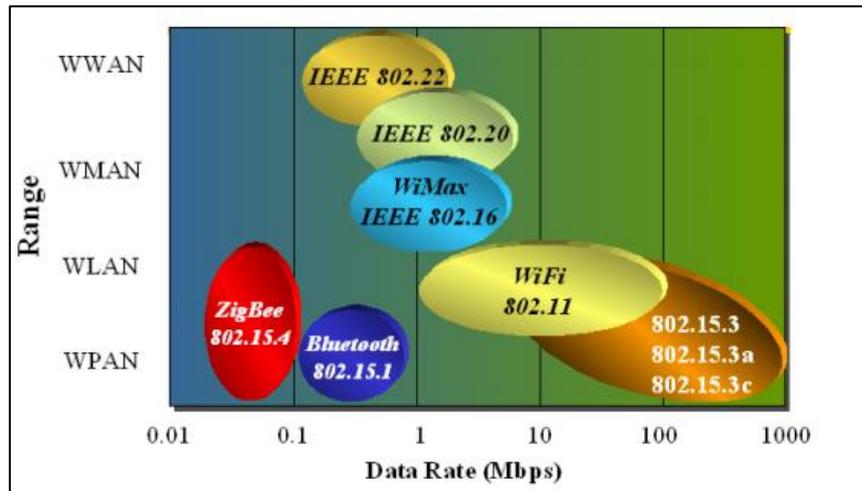


Figura 2-12 Velocidad de distintas tecnológicas inalámbricas  
Fuente: *ZigBee Specification, 2012*

Esta tecnología opera en las bandas libres de 2.4 GHz la cual usa la modulación de espectro expandido DSSS. Cubre un radio de 13 metros aproximadamente, ya que posee una velocidad de trasmisión de 250 kbps y una potencia de 1mW. Trabaja sobre IEEE 802.15.4, que proporciona entornos adecuados para entornos con baja relación señal-ruido (Di Francesco, 2012).

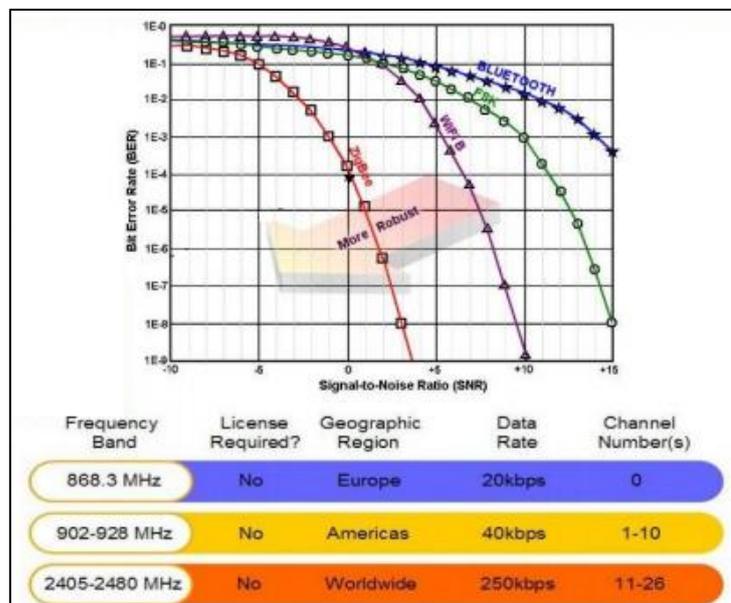


Figura 2-13 Relación señal-ruido de las distintas tecnologías  
Fuente: *Anexo I. Protocolo ZigBee (IEEE 802.15.4), 2017*

## Características de radio

A continuación, se observa una tabla comparativa de la distancia en función de la potencia transmitida y la velocidad de transmisión.

Potencia (mW)/Velocidad (kbps)	1mW	10mW	100mW
28 kbps	23m	54m	154m
250 kbps	13m	29m	66m

Fuente: Anexo I. Protocolo ZigBee (IEEE 802.15.4), 2017

## Topología de red

Se refiere la esquema físico o lógico de una red, la forma de la conexión de los dispositivos entre sí, dentro de la red. Las topológicas más empleadas son:

- **Topología en estrella**

Este tipo de topología se configura un solo coordinador de la red, el cual es el delegado de inicializar todos los dispositivos en la misma, el resto de los elementos se comportan como dispositivos esclavos. Cada mensaje debe pasar por el nodo coordinador el cual enruta la información al correspondiente dispositivo. En la Figura 1.6 se muestra la estructura de una red en topología estrella. Esta topología consume poca energía, pero también no existe comunicación entre los demás nodos, por lo tanto, no existe redundancia (Ordieres, Javier Martínez De Pisón Ascacibar, & González-Marcos, 2009).

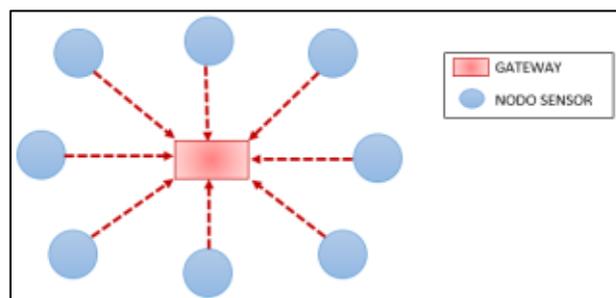


Figura 2-14 Topología en malla  
Fuente: Ordieres et al., 2009).

- **Topología malla**

Consta de un sistema multisalto, donde todos los nodos son routers y son idénticos. Cada nodo tiene la capacidad de enviar y recibir información de otro nodo y de la puerta de enlace, es decir pueden enviar mensajes entre ellos (Ordieres et al., 2009).

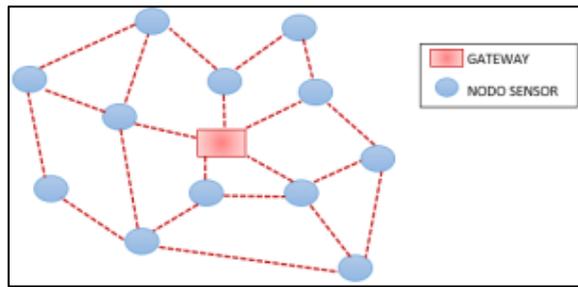


Figura 2-15 Topología malla  
Fuente: Ordieres et al., 2009

- **Topología combinada estrella-malla**

Este tipo de topología combina las características de las topologías estrella y malla, para esta es necesario enrutadores que se usarán de intermediarios entre Gateway y los nodos. Es ideal ya que su consumo de energía es bajo, tiene redundancia en sus nodos y puede ser extensa (Ordieres et al., 2009).

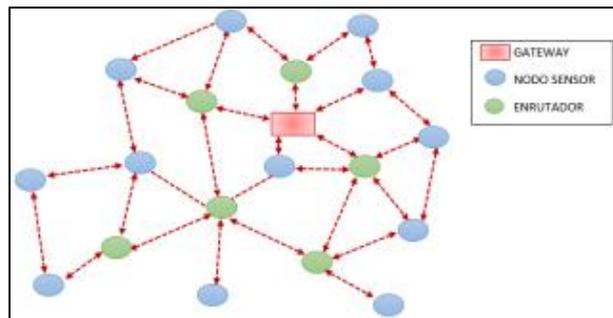


Figura 2-16 Topología combinada estrella-malla  
Fuente: Ordieres et al., 2009

### 2.4.4.3 Arduino

Es una plataforma electrónica donde se puede programar fácilmente y posee código abierto que se fundamenta en *software* y *hardware* según su portal oficial. Las tarjetas de desarrollo de Arduino tienen una gran demanda a nivel global y son las más usadas que se programan en el *software* Arduino IDE basado en Processing y, su lenguaje de programación está basado en Wiring (MCI electronics, 2018).

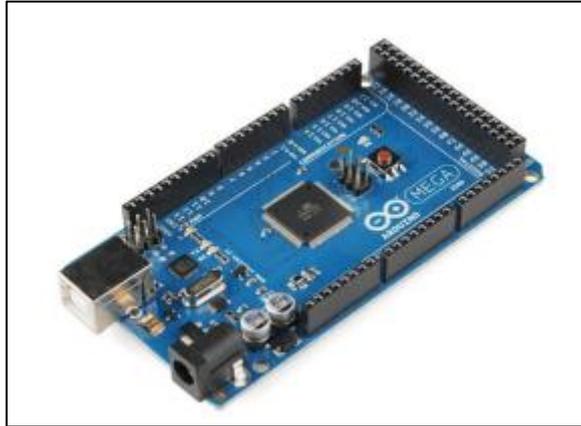


Figura 2-17 *Arduino mega*  
Fuente: “*Arduino.cl*”, 2017

Las características principales de Arduino de acuerdo con las especificaciones que se pueden encontrar en su página (Arduino 2018) es:

- Se puede adquirir en todos los locales comerciales de implementos electrónicos alrededor del mundo.
- Su uso es fácil pues tiene un entorno de programación sencillo y claro. Su software está adecuado para todos los sistemas operativos donde se desee instalar.
- Se puede crear cualquier tipo de proyectos ya sea aficionados, estudiantes y profesionales.
- Su costo es relativamente más bajo en comparación con otras tarjetas de desarrollo.
- Los usuarios pueden realizar contribuciones personales a la plataforma debido a que posee código abierto y es extensible. Los usuarios tienen la libertad de crear y armar sus propios circuitos de tarjetas de desarrollo.

Arduino posee una serie de tarjetas o módulos que pueden ser utilizados dependiendo la aplicación para las que se le requiera. Estos modelos pueden ser: Arduino UNO, Arduino Ethernet y Arduino Yun, Nano, Arduino UNO Wi-fi, Arduino Mega, Arduino (MCI electronics, 2018).

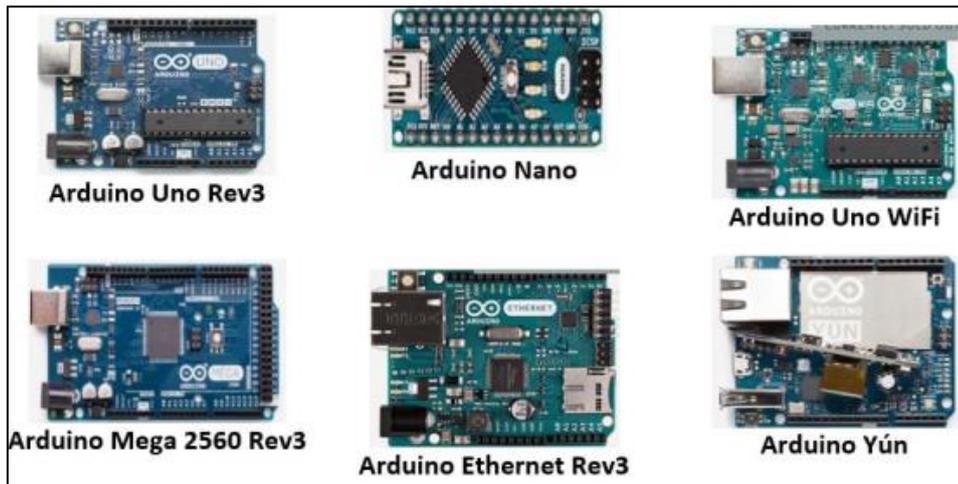


Figura 2-18 Modelos de tarjetas Arduino  
Fuente: "Arduino.cl" 2018.

## 2.4.5 Lenguajes de programación para el desarrollo de una aplicación web

### - Lenguaje HTML

HTML Significa lenguaje de marcado de hipertexto, y es el lenguaje más utilizado para escribir páginas web (Andre, 2017). Un lenguaje de marcado es un grupo de etiquetas de marcado descrito por etiquetas HTML. Cada etiqueta HTML describe el contenido del documento diferente, que son las palabras clave ocultas dentro de una página web. Define cómo el navegador debe formatear y mostrar el contenido (Andre, 2017). La mayoría de las etiquetas deben tener dos partes, una parte de apertura y otra de cierre: <tagname> content </ tag name> las etiquetas HTML normalmente vienen en pares como <p> y </ p> la primera etiqueta de un par es la etiqueta inicial mientras que la segunda etiqueta es la etiqueta final. La etiqueta final se escribe como la etiqueta inicial, pero con una barra inclinada antes del nombre de la etiqueta (Andre, 2017).

### - Lenguaje CSS

El lenguaje CSS (Cascading Style Sheets) es un conjunto de instrucciones, cada una de las cuales le dice a un navegador cómo dibujar un elemento en particular en una página (Mora, 2018).

### - Lenguaje JavaScript

JavaScript se introdujo en 1995 como una forma de agregar programas a páginas web en el navegador Netscape Navigator. Desde entonces, el lenguaje ha sido adoptado por todos los demás navegadores gráficos

principales. Ha hecho posibles las aplicaciones web modernas, aplicaciones con las que puede interactuar directamente sin hacer una recarga de página para cada acción. JavaScript también se usa en sitios web tradicionales para proporcionar diversas formas de interactividad e inteligencia (Haverbeke, 2018).

# CAPÍTULO 3 : MARCO METODOLÓGICO

En el siguiente capítulo se explica la metodología que se empleó para la obtención de los resultados, así como los mecanismos que se aplicaron y las actividades que se emplearon para la obtención de datos.

## 3.1 DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

La metodología empleada para la evaluación de la huella hídrica es la propuesta por Hoekstra en el Manual “The Water Footprint Assessment” (WFP) en el año 2011, la cual determina 4 fases para la estimación que son: establecimiento de objetivos y alcance, contabilidad de la huella hídrica, evaluación de la sostenibilidad y formulación de respuestas (Guaman, 2018).

Las etapas de análisis de la metodología se resumen en la Figura 3-1, que se presenta a continuación:

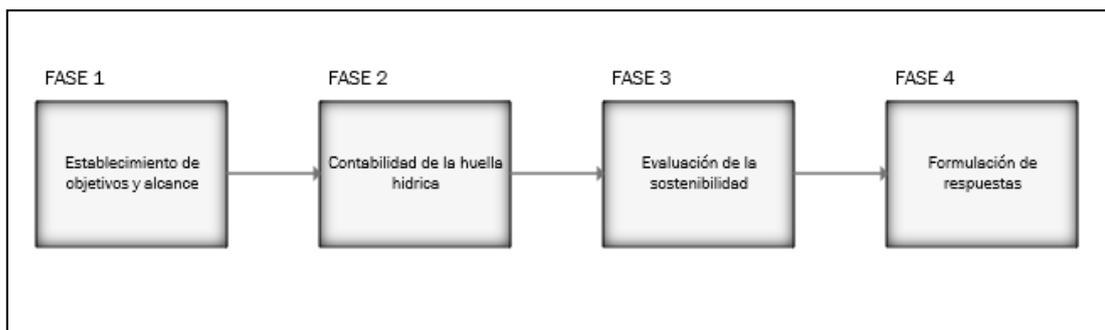


Figura 3-1 Metodología de evaluación de la huella hídrica.  
Fuente: Hoekstra et al, 2011

Para el análisis de los tipos de huella se deben considerar las diferentes fuentes de información, tal como se detallan en la Tabla 3-1.

**Tabla 3-1 Información y fuentes para cada tipo de huella.**

<b>Tipo de huella</b>	<b>Información</b>	<b>Fuente</b>	<b>Forma de estimación</b>
Azul	Facturación mensual de agua (m <sup>3</sup> )	Facturas emitidas mensualmente por ETAPA	Consumo per cápita
	Identificación y uso de fuentes por parte de cada miembro de la comunidad universitaria	Encuestas a personal docente, administrativos, estudiantes y de servicio	Estimación por medio del tratamiento de las encuestas
	Procesos operativos con el uso de agua y porcentajes de evaporación e incorporación	Inventario de bienes hidráulicos y datos bibliográficos	Características de actividades operativas y equipos técnicos, cantidad de bienes que hacen uso de agua,
Gris	Concentración de afluente por parámetros	Datos monitoreados por la red de telemetría	Cálculo de índices que valoren la calidad del agua según datos bibliográficos
	Concentración de efluente por parámetros	Datos monitoreados por la red de telemetría	Cálculo de índices que valoren la calidad del agua según datos bibliográficos
	Concentración máxima establecida por la ley de parámetros	Normativa local en materia hídrica	Parámetros de otros lugares que tengan similitud
Verde	Concentración natural de afluente por parámetros	Informes de monitoreo en la cuenca evaluada	Concentración de parámetros establecidos por la bibliografía local
	Área de cobertura de áreas verdes	Datos del levantamiento por imágenes satelitales	Datos obtenidos de las imágenes satelitales e información sobre el crecimiento de áreas verdes
	Tipo de cobertura para áreas verdes	Datos proporcionados por la institución	Dependiendo de las características que posee la superficie se pueden asumir un porcentaje de cobertura
	Datos de CROPWAT (FAO)	CROPWAT (FAO)	El programa informático proporciona una base de datos que pueden ser usados para obtener los parámetros más cercanos a la realidad
Indirecta	Consumo de energía eléctrica y papel dentro de la institución	Facturas de consumo de energía eléctrica y entrevistas a personal de la institución	Procesamiento de datos de consumo
	Equivalentes de huella para materiales consumidos	Base de datos de Water Footprint Network	Selección de equivalentes de acuerdo con datos bibliográficos

**Fuente: Huella de ciudades, 2017**

### **3.2 VARIABLES, POBLACIÓN Y MUESTRA**

Como se conoce dentro del estudio de la huella hídrica tal como lo aplica la metodología de Hoesktra en su primera etapa, se deben definir los objetivos y alcances para el análisis, así mismo determinar las variables y población involucradas para delimitar la muestra. Por lo tanto, se determina que la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca requiere analizar la huella hídrica de manera integral, desde dos enfoques, una primera que se hace mención de la huella hídrica del consumidor, es decir la que generan todas las personas que componen la comunidad universitaria y una segunda que se refiere a la huella dentro de un área geográfica delimitada que se produce por las actividades que se realizan dentro del área del predio. Los consumidores son todos los integrantes del campus universitario como son: estudiantes, docentes, administrativos, personal de mantenimiento, visitantes, entre otros. Por otra parte, se define el año de análisis de la huella hídrica que es muy importante al momento de recoger los datos y reportar los resultados, así el año que se investigó es el 2018.

- **Variables**

Las variables que se consideraron en el presente estudio son: uso, consumo y calidad de agua dentro del predio universitario, estas variables corresponden la base del estudio de la huella hídrica.

- **Población**

La población que se consideró en el presente estudio se menciona a la comunidad universitaria existente dentro del predio, conformada por 7119 estudiantes, 296 docentes, 240 administrativos y 70 personal de mantenimiento.

- **Muestra**

Para el presente estudio se considera como muestra a la población encuestada y a los espacios donde se colocarán los sensores de la red.

### **3.3 LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

Para la obtención de los datos se emplearon varias actividades, esto con el fin de recolectar la mayor cantidad de datos que se requieren dentro del análisis. Estas actividades se detallan en los siguientes apartados:

### **3.3.1 Levantamiento de consumos de agua en los medidores existentes**

Para el levantamiento de los consumos de agua potable dentro de la institución se emplearon los datos proporcionados por la empresa ETAPA EP correspondientes al año 2018. En un inicio, se efectuó una inspección de campo en el lugar de estudio, donde se determinaron la presencia de 7 medidores situados dentro del predio (ver Anexo 1) que son:

- **Medidor 1 (M1):** Carretas y Calle Vieja (Esquina Edificio Cornelio Merchán)
- **Medidor 2 (M2):** Puerta Calle Vieja y Carretas (Cajero)
- **Medidor 3 (M3):** Biblioteca Cisterna
- **Medidor 4 (M4):** Biblioteca Riego
- **Medidor 5 (M5):** Paces 1
- **Medidor 6 (M6):** Paces 2
- **Medidor 7 (M7):** Edificio en construcción en la calle Turuhaico

El abastecimiento de agua dentro de las instalaciones se realiza mediante 7 medidores, parte del fluido pasa a través de 5 cisternas, mismas que alimentan de agua a las diferentes áreas, mientras que otras áreas son abastecidas directamente del medidor. La descarga de efluentes se realiza mediante un sistema de alcantarillado que consta de 4 accesos como se muestra en la Figura 3-2.

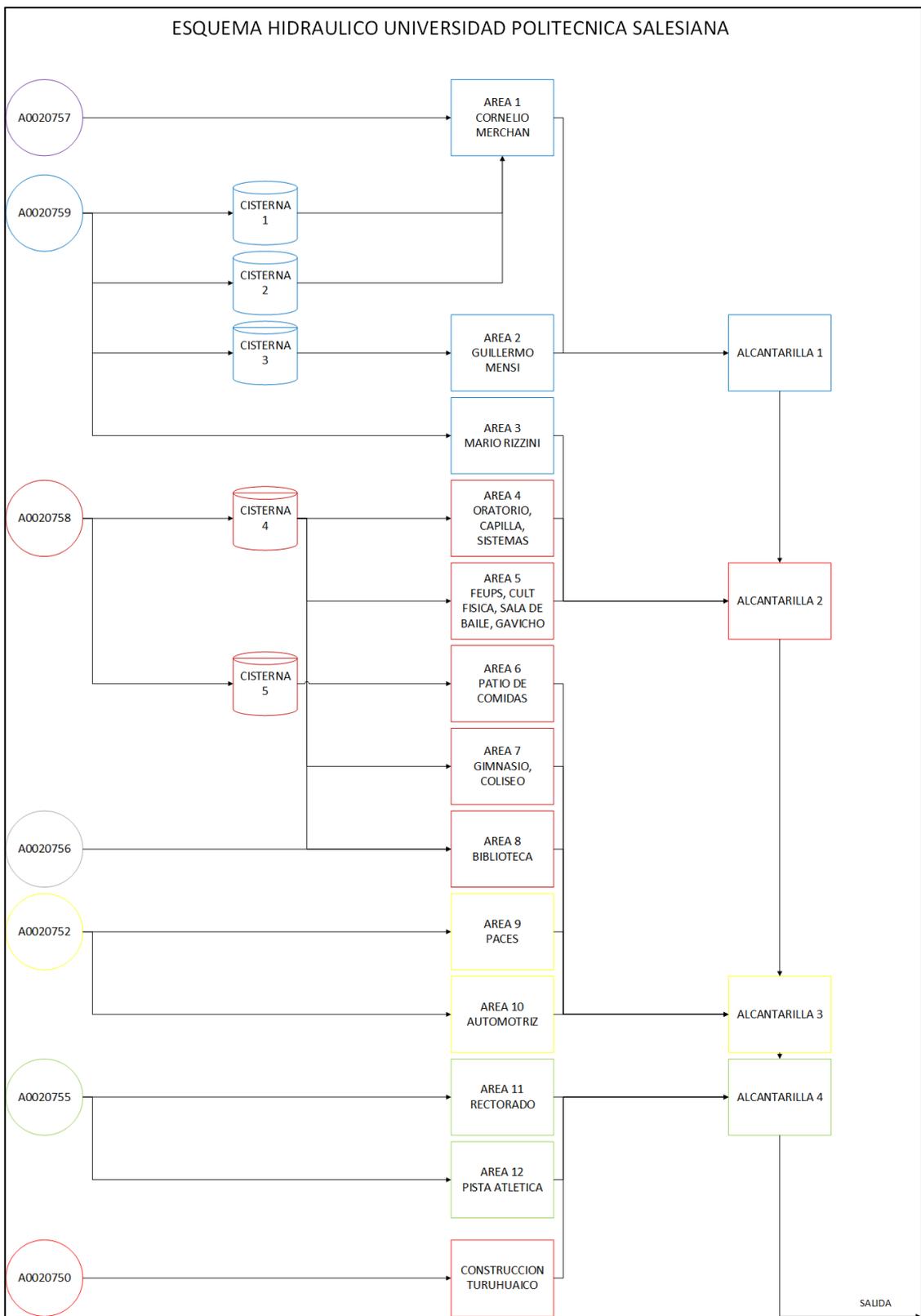


Figura 3-2 Esquema hidráulico de la UPS.  
Fuente: Autores.

Las unidades hidráulicas existentes en el predio universitario se observan en la Tabla 3-2.

**Tabla 3-2 Unidades hidráulicas existentes en el predio universitario.**

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Volumen</b>	<b>Observaciones</b>
Medidores	7	-	-
Cisternas	4	63 m <sup>3</sup>	
	1	5,2 m <sup>3</sup>	4 cisternas de tipo Titan de 1300 L
Accesos al alcantarillado	4	-	-

**Fuente: Autores.**

El análisis de los consumos de agua para el año 2018 para cada medidor se detallan en la Tabla 3-3.

**Tabla 3-3 Consumo de agua potable de los 7 medidores en la UPS en m<sup>3</sup>**

<b>MES</b>	<b>M1</b>	<b>M2</b>	<b>M3</b>	<b>M4</b>	<b>M5</b>	<b>M6</b>	<b>M7</b>	<b>TOTAL</b>
Enero	3	2057	630	5	87	251	134	3167
Febrero	45	1640	744	5	35	216	173	2858
Marzo	4	1517	512	6	50	181	219	2489
Abril	22	1830	772	7	62	186	184	3063
Mayo	0	1576	572	6	66	160	118	2498
Junio	286	1240	687	5	46	207	55	2526
Julio	456	1694	692	8	44	0	86	2980
Agosto	294	1284	558	6	4	251	125	2522
Septiembre	118	1241	653	9	29	245	263	2558
Octubre	105	1185	557	4	107	219	215	2392
Noviembre	314	953	480	0	84	216	273	2320
Diciembre	435	686	479	0	53	175	379	2207
<b>TOTAL</b>	<b>2082</b>	<b>16903</b>	<b>7336</b>	<b>61</b>	<b>667</b>	<b>2307</b>	<b>2224</b>	<b>31580</b>

**Fuente: ETAPA EP, 2018**

El registro de consumo de agua en el año 2018 ascendió a 31580 m<sup>3</sup>, el medidor M2 registró el mayor consumo, esto se explica debido a que abastece a dos cisternas y un edificio (ver Figura 3-2), por otro lado, el medidor M4 registró el menor consumo, esto se explica debido a que cubre el espacio de riego de la biblioteca y no abastece a ninguna cisterna. Al analizar la temporalidad de la totalidad de consumo de agua, en el mes de enero se observó el mayor consumo, mientras que el mes de diciembre registró el mínimo consumo.

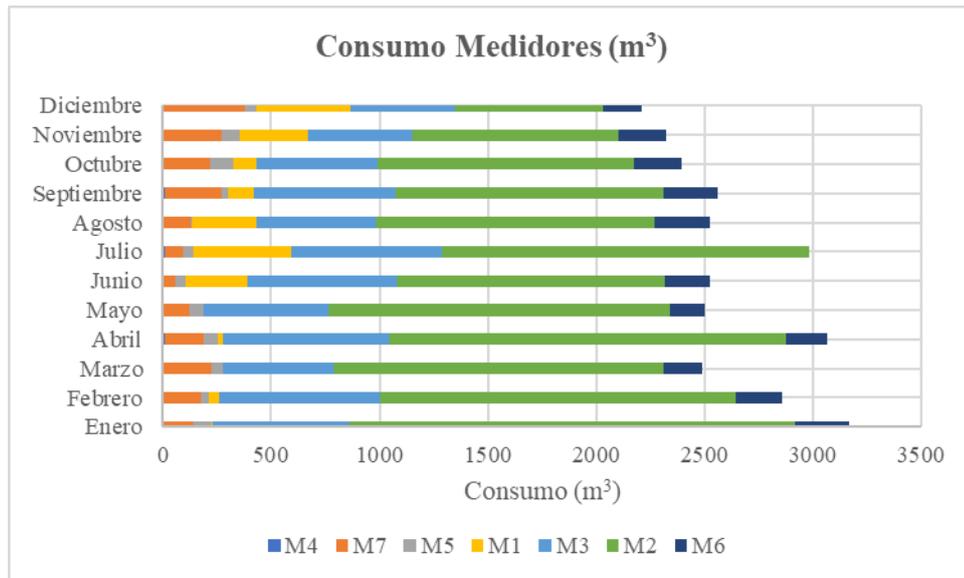


Figura 3-3 Gráfico del consumo de medidores en el predio universitario.  
Fuente: Autores

En la Figura 3-3 se puede observar que el medidor M2 (Cajero) es el que registra un mayor consumo, se debe a que abastece a 2 cisternas y un edificio como se observa en la Figura 3-2.

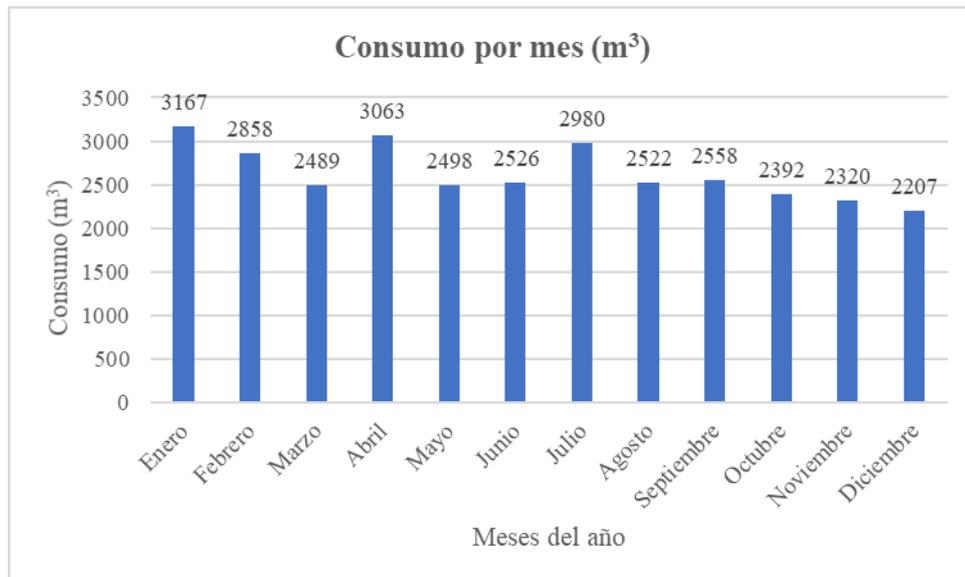


Figura 3-4 Consumo mensual de agua potable en la UPS.  
Fuente: Autores

En la Figura 3-4 que representa la sumatoria de los valores de todos los medidores se puede ver que el mes que registra el mayor consumo es enero, en tanto que, el mes con el mínimo consumo es diciembre.

### 3.3.2 Identificación de procesos y equipos que hacen uso de agua

Para la identificación de los procesos y equipos que requieren agua para su funcionamiento se realizó un inventario de equipos que requieren agua para su funcionamiento, para la cual se dividió al predio universitario en 12 áreas (ver Anexo 2) que son:

- **Área 1:** Cornelio Merchán
- **Área 2:** Guillermo Mensi
- **Área 3:** Mario Rizzini
- **Área 4:** Oratorio, Capilla, Sistemas
- **Área 5:** FEUPS, Cultura Física, Sala de baile
- **Área 6:** Patio de Comidas
- **Área 7:** Gimnasio
- **Área 8:** Biblioteca
- **Área 9:** Paces
- **Área 10:** Área de Automotriz
- **Área 11:** Rectorado
- **Área 12:** Edificio en construcción Calle Turuhaico

El análisis se enfocó en 3 aspectos que son:

- **Estructuras hidráulicas:**

Las estructuras hidráulicas comprenden: baños, llaves de lavaderos, urinarios, duchas, duchas de emergencia, pozos de limpieza y gabinetes contra incendios, se consiguieron los siguientes resultados:

**Tabla 3-4 Total de estructuras hidráulicas identificadas en la UPS.**

Áreas	Baños	Llaves	Urinarios	Duchas	Duchas emergencia	Pozo	Gabinetes
Área 1	51	81	12	-	2	-	-
Área 2	40	24	12	-	-	-	-
Área 3	55	47	24	-	-	-	-
Área 4	6	6	-	-	-	-	-
Área 5	13	11	2	10	-	-	-
Área 6	7	15	3	-	-	1	-
Área 7	11	10	3	8	-	-	-
Área 8	22	21	11	-	-	3	-
Área 9	5	7	-	-	-	-	-
Área 10	38	43	14	7	-	4	4
Área 11	20	23	-	-	-	-	-
Área 12	8	7	3	-	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>276</b>	<b>295</b>	<b>84</b>	<b>25</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>4</b>

**Fuente: Autores**

- **Equipos hidráulicos:**

Dentro de los equipos hidráulicos se consideran aquellos que hacen uso de agua por sobre los 20 lt a la semana para su funcionamiento, así mismo se considera máquinas de agua en botellones como parte de los equipos hidráulicos, así:

**Tabla 3-5 Total de equipos hidráulicos encontrados en la UPS.**

Áreas	Dispositivos Hidráulicos	Botellones	Otros (Agua que se usa para insumo)
Área 1	19	21	4
Área 2		-	-
Área 3	-	-	-
Área 4	-	1	-
Área 5	-	1	-
Área 6	-	-	-
Área 7	-	-	-
Área 8	-	1	-
Área 9	2	2	-
Área 10	3	13	-
Área 11	-	6	-
Área 12	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>24</b>	<b>45</b>	<b>4</b>

**Fuente: Autores**

- **Equipos de áreas verdes:**

Para los implementos que hacen uso del agua dentro de las áreas verdes del predio universitario se contabilizaron los siguientes dispositivos: aspersores, llaves, bombas hidráulicas, etc. Para las áreas verdes se estableció una nueva zonificación que incluye 8 áreas de estudio (ver Anexo 3) según se detalla a continuación:

**Tabla 3-6 Total de equipos para áreas verdes identificadas en la UPS.**

Área	Descripción	Aspersores	Llaves	Bombas Hidráulicas
Área verde 1	Cajero	1	-	-
Área verde 2	Patio central	38	6	-
Área verde 3	Guillermo Mensi	9	3	-
Área verde 4	Estadio Gavicho	14	1	2
Área verde 5	Área entrada	1	6	-
Área verde 6	Área posterior	1	4	-
Área verde 7	Biblioteca	-	5	-
Área verde 8	Automotriz	-	3	-
	<b>TOTAL</b>	<b>64</b>	<b>28</b>	<b>2</b>

**Fuente: Autores**

La información antes detallada evidencia que el área 1 (edificio Cornelio Merchán) tiene una mayor demanda de bienes hidráulicos por lo que requiere una mayor atención en esta investigación. El área que se encuentra en construcción no es tomada en cuenta en el estudio debido a la insuficiencia de datos.

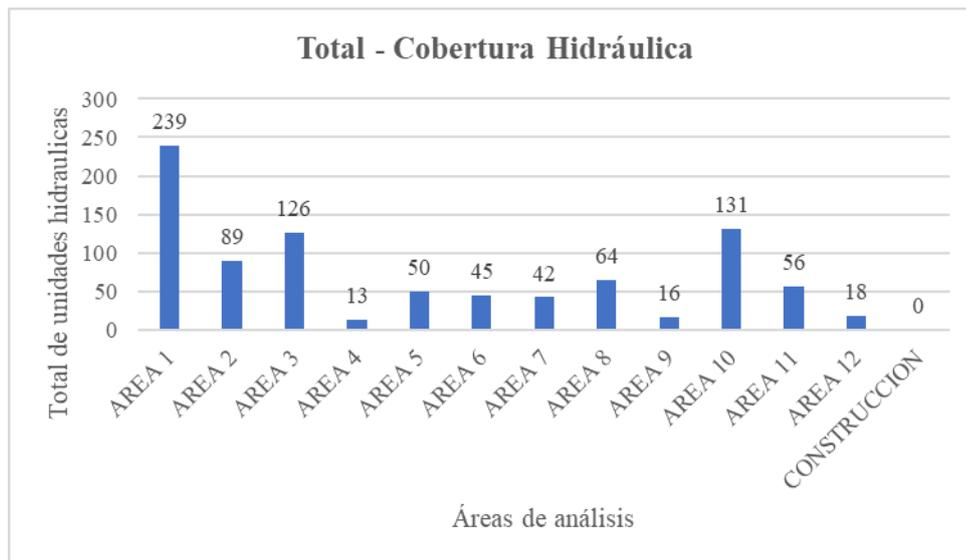


Figura 3-5 Total de bienes hidráulicos de la UPS.  
Fuente: Autores

### 3.3.3 Identificación de superficie de áreas verdes y cobertura vegetal

Para la identificación de superficie de áreas verdes y los tipos de cobertura vegetal existente dentro de las mismas, se utilizó el análisis de imágenes aéreas en las cuales se identifican la cobertura vegetal presentes en el campus, mediante la inspección in situ se distinguen los tipos de vegetación que incluye en cada espacio.

Se identificaron 8 áreas verdes, las mismas que fueron empleadas para el inventario de bienes hidráulicos, que se observa en el (ver Anexo 3) estas fueron determinadas de acuerdo con la ubicación dentro del predio y nominadas en relación con los edificios cercanos a las mismas.

En la Tabla 3-7 se distinguen los valores de área de cobertura de los espacios verdes presentes en el campus en unidades de m<sup>2</sup>, así:

**Tabla 3-7 Valor de cobertura de áreas verdes.**

Área	Descripción	Valor (m <sup>2</sup> )
Área verde 1	Puerta Calle Vieja (Cajero)	623,126
Área verde 2	Patio central	875,250
Área verde 3	Edificio Guillermo Mensi	201,955
Área verde 4	Estadio Valeriano Gavinelli (Gavicho)	11948,281
Área verde 5	Área entrada	1082,033
Área verde 6	Área posterior calle Turuhuaico	1320,570
Área verde 7	Biblioteca	47,151
Área verde 8	Automotriz	47,458
Pista Atlética	-	4970,843
<b>TOTAL</b>		<b>16145,823</b>

Fuente: Autores

En la Figura 3-6 se puede observar el porcentaje que ocupa cada área de vegetación dentro del predio, siendo el Área 4 la que está representada por un mayor porcentaje de cobertura vegetal, así:

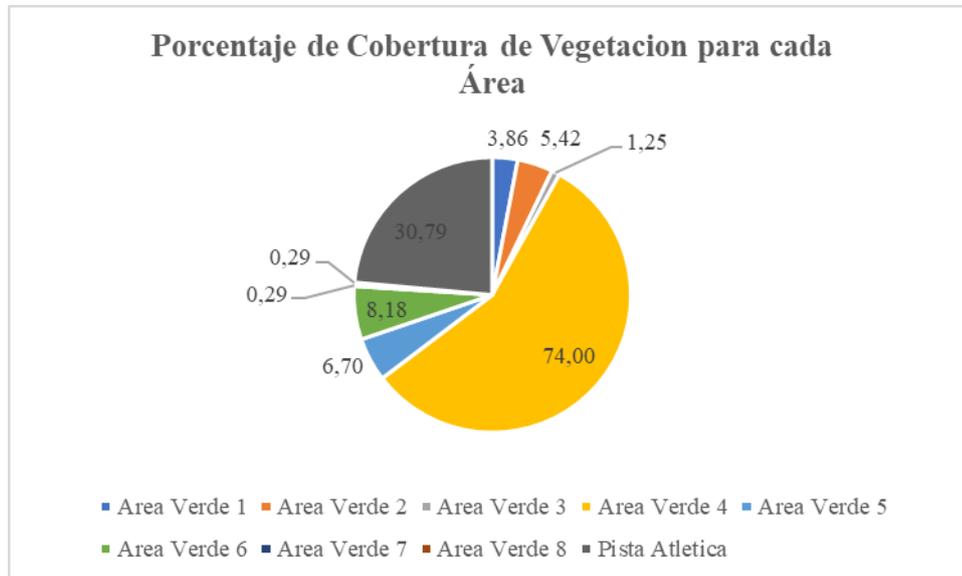


Figura 3-6 *Porcentaje de cobertura vegetal para cada área de vegetación.*  
Fuente: Autores

Las áreas verdes representan un 23,30% de la superficie total del campus universitario.

Con respecto al tipo de vegetación existente dentro del predio se pudo determinar que existen 3 tipos de vegetación de manera general: ornamentales sin flor, ornamentales florales y kikuyo.

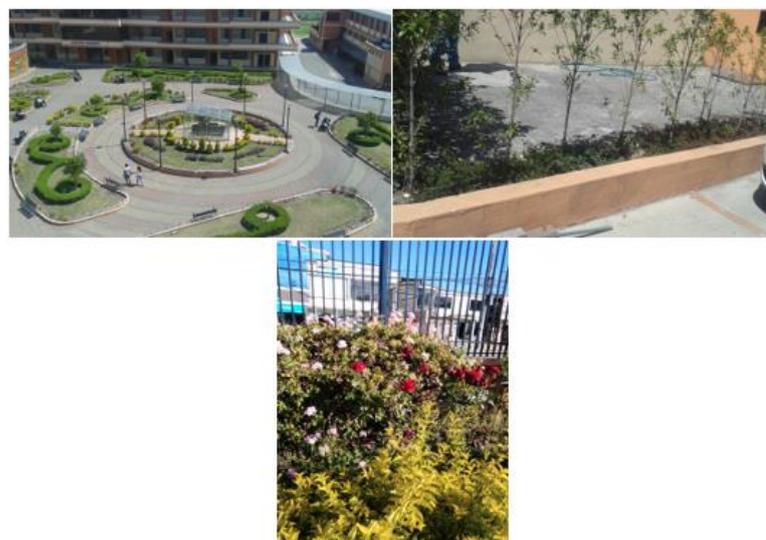


Figura 3-7 *Áreas verdes, ornamentales no florales, florales y kikuyo.*  
Fuente: Autores

### 3.3.4 Análisis de variables influyentes en el clima

Para el análisis de variables climáticas, se procesaron los datos obtenidos de la estación meteorológica UPS-INNER, ubicada dentro del mismo predio universitario correspondiente al año 2018. Las variables analizadas son: precipitación, temperatura, humedad relativa, viento y horas de insolación. La frecuencia del muestreo es de 60 minutos.

- **Precipitación**

La precipitación es la caída de agua en sus distintos estados, desde la atmosfera hacia la superficie terrestre. Estas precipitaciones pueden ser de tipo liquidas (lluvia) y solidas (granizo, etc.) (Ambientum, 2016). La lluvia tiene influencia en el estudio de la huella hídrica debido a que aporta con entrada de agua a los cultivos e interviene en la huella hídrica verde por lo que es significativo su análisis. A continuación se muestra la precipitación en la UPS Sede Cuenca para el año 2018.

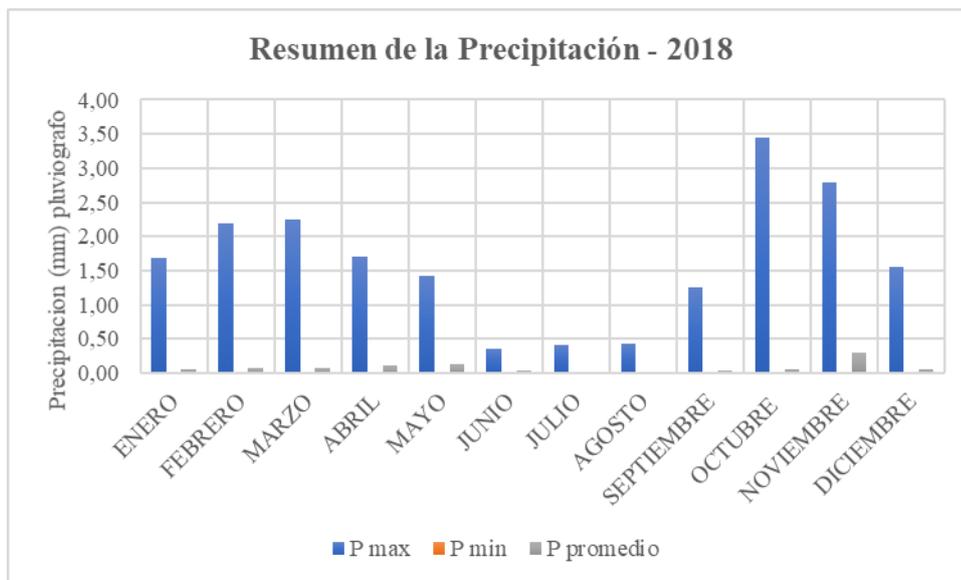


Figura 3-8 Resumen de la precipitación para el año 2018, Estación UPS INNER.  
Fuente: Autores

Como se puede observar en la Figura 3-8 el valor máximo de precipitación para el año en mención se registra en el mes de octubre de 3,44 mm en el pluviógrafo, los meses en los que se observan las lluvias más fuertes son marzo y octubre.

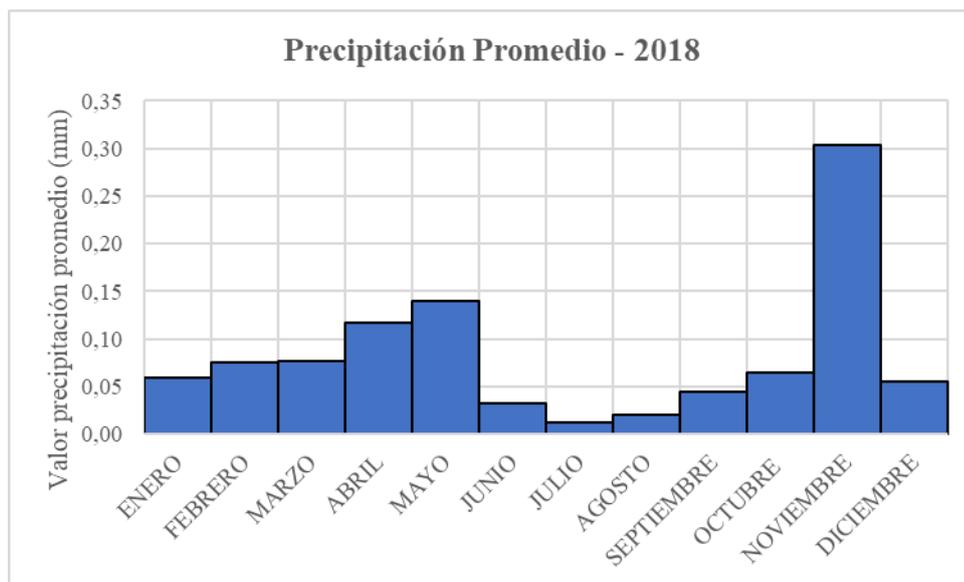


Figura 3-9 Comportamiento de la precipitación promedio en el año 2018, Estación UPS INER.  
Fuente: Autores

Para la precipitación promedio se puede indicar en la Figura 3-9 que el mes de noviembre obtuvo el valor máximo, mientras que el mes de julio es el que registra el valor más bajo de lluvia siendo junto con los meses de junio y agosto la temporada más seca del año. Los valores alcanzados anualmente de precipitación se presentan en la Tabla 3-8.

**Tabla 3-8 Valores totales anuales de precipitación, Estación UPS INER.**

Parámetro	Unidad	Valor
Precipitación máxima	mm	3,44
Precipitación mínima	mm	0,0
Precipitación promedio	mm	0,08
Total de lluvia anual	mm	714,6

Fuente: Autores

En cuanto al total de lluvia se registra el valor de 714,6 mm del pluviógrafo, el valor máximo se registra en el mes de enero mientras que el mínimo en el mes de julio, lo cual confirma lo expuesto anteriormente. Se debe tomar en cuenta que los datos son valores del pluviógrafo de la estación analizada.

Al realizar una comparación con los datos recolectados por la estación meteorológica “Ucubamba” de la Red Hidrometeorológica de ETAPA en el periodo de 1998 – 2018, se puede establecer que existen similitudes en cuanto al periodo húmedo (marzo, abril, octubre, noviembre y diciembre) y el periodo seco (junio, julio, agosto y septiembre). Sin embargo, al comparar los valores extremos se evidencia variaciones entre las dos estaciones meteorológicas, la precipitación máxima en la estación

meteorológica de la UPS se registró en el mes de noviembre (ver Figura 3-10), mientras que en la estación meteorológica de Ucubamba se registró en el mes de marzo (ver Figura 3-11).

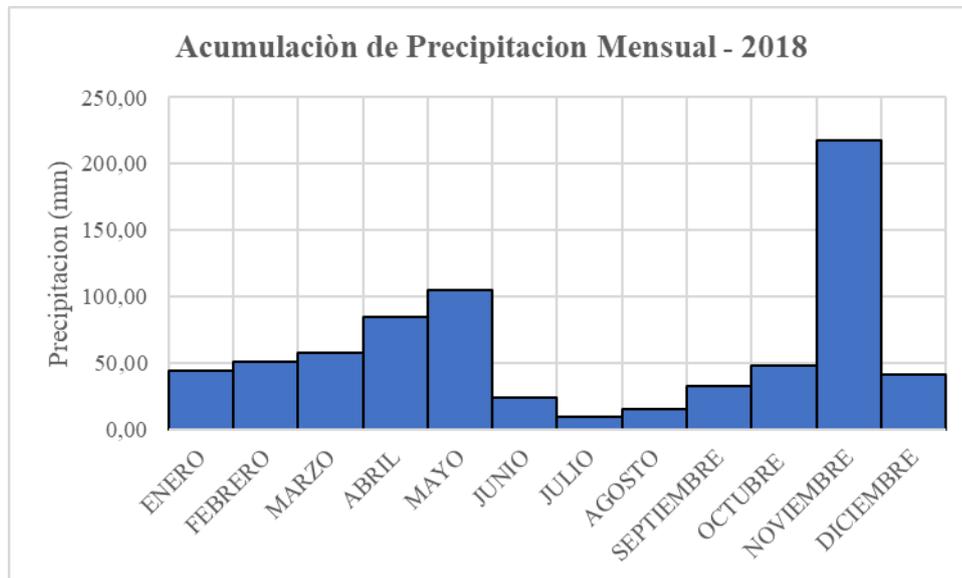


Figura 3-10 Acumulación de la precipitación en el año 2018, Estación UPS INER.  
Fuente: Autores.

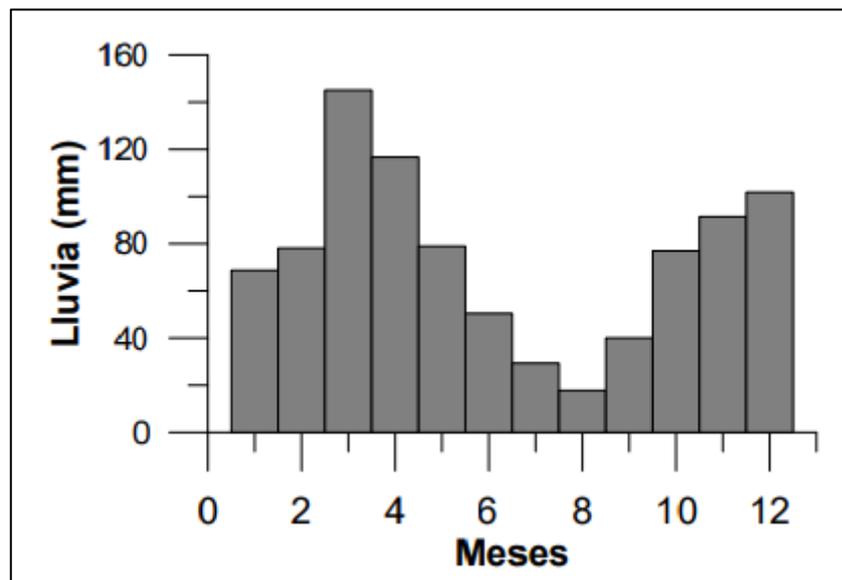


Figura 3-11 Acumulación de la precipitación para el periodo 1998-2018 de la estación Ucubamba.  
Fuente: ETAPA, 2019

- **Temperatura**

La temperatura es un elemento para describir el clima que se refiere al grado de calor específico del aire en un momento determinado (Ambientum, 2016). Este parámetro es importante para la delimitación de los tipos climáticos. Con relación a la huella hídrica la temperatura es importante debido a que define algunas de las

necesidades hídricas tanto de los consumidores como de los suelos para cultivos, los cuales pueden verse alterados debido a este factor.

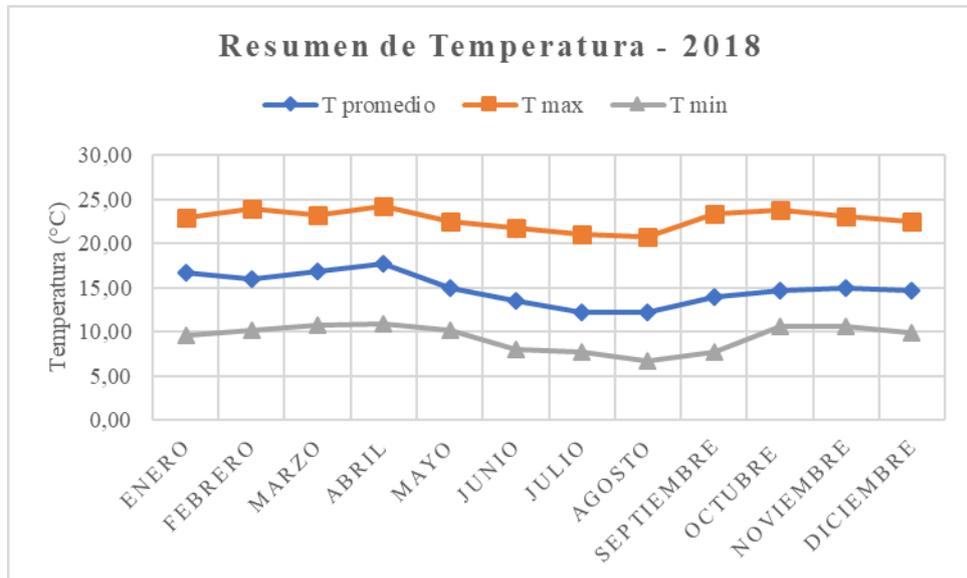


Figura 3-12 Comportamiento de la temperatura para el año 2018, Estación INER UPS.  
Fuente: Autores

Como se puede observar en la Figura 3-12 la temperatura máxima alcanza su valor más alto en el mes de febrero mientras que el valor mínimo se registra en el mes de julio. Se establece que las épocas más calurosas están a principios y a finales de año, mientras que los meses de junio, julio y agosto presentan las temperaturas más bajas, precipitaciones bajas y velocidades del viento más elevadas. Los valores obtenidos de temperatura se dan a conocer a continuación en la Tabla 3-9.

Tabla 3-9 Valores de temperatura para el año 2018, Estación UPS INER.

Parámetro	Unidad	Valor
Temperatura máxima	°C	24,25
Temperatura mínima	°C	6,67
Temperatura promedio	°C	14,85

Fuente: Autores

- **Humedad relativa**

La humedad relativa se comprende como la “relación existente entre la presión parcial del vapor de agua y la presión de vapor de equilibrio a una temperatura dada”, este parámetro se relaciona con el punto de rocío (Ambientum, 2016). Tiene importancia en el cálculo de la huella hídrica debido a que forma parte del agua reservada en la evaporación de las plantas, siendo parte así del análisis de la huella hídrica verde. A continuación, se presenta el análisis de humedad relativa para el siguiente estudio.

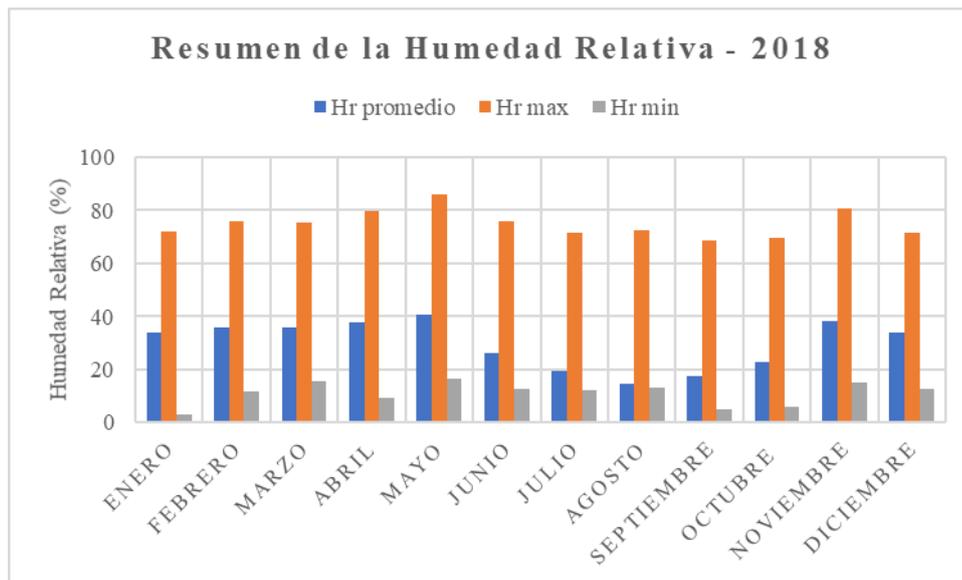


Figura 3-13 Comportamiento de la humedad relativa para el año 2018, Estación UPS INER.  
Fuente: Autores

Como se puede observar en la Figura 3-13 la humedad relativa presenta los mayores niveles en el mes de mayo y noviembre los cuales coinciden con los valores de precipitación, mientras que los valores menores se presentan en los meses de septiembre y octubre. Los valores de humedad relativa obtenidos en el análisis se dan a conocer a continuación en la Tabla 3-10.

**Tabla 3-10 Valores correspondientes a la humedad relativa en el año 2018.**

Parámetro	Unidad	Valor
Humedad relativa máxima	%	74,95
Humedad relativa mínima	%	11,09
Humedad relativa promedio	%	29,79

Fuente: Autores

- **Viento**

El viento es una “corriente de aire” que se produce en la atmósfera que proviene a partir de los movimientos de rotación y traslación de la tierra, surge de las diferencias de temperatura, lo que causa diferencias de presión y por ende el movimiento de las masas de aire (Jervez Cobo & Armijos Arcos, 2016). Es importante su análisis debido a que muestra relación directa con la precipitación y la temperatura, de esta manera influye significativamente en la variedad del clima. El comportamiento de los vientos en la UPS Sede Cuenca se detalla a continuación.

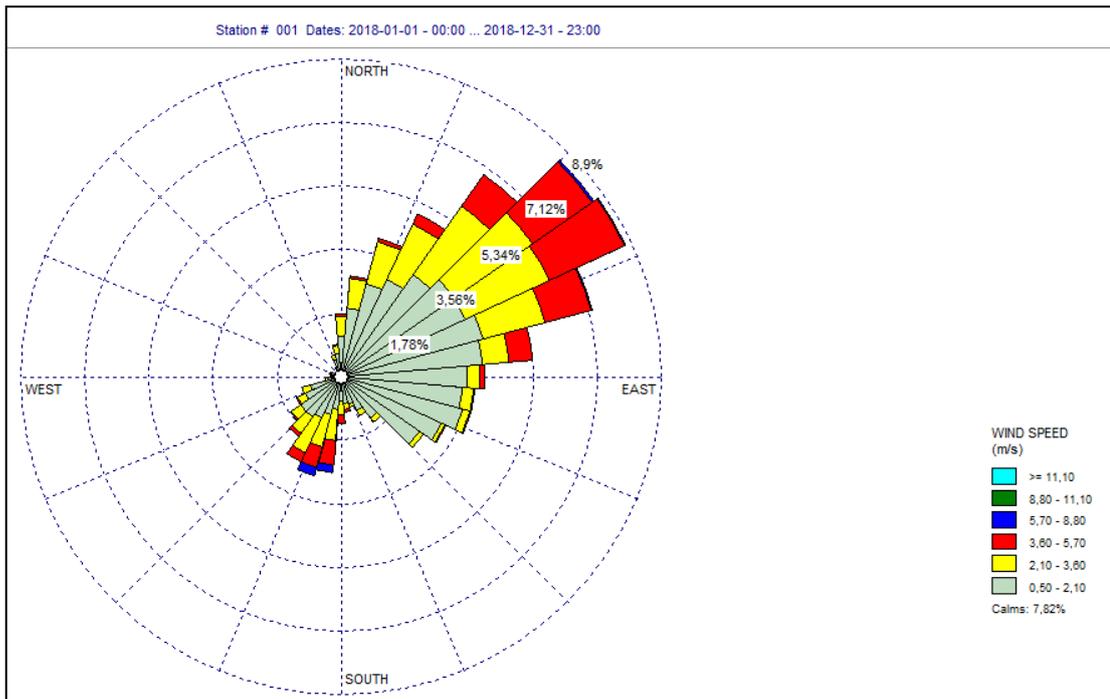


Figura 3-14 Rosa de los vientos correspondiente al año 2018, Estación UPS INER.  
Fuente: Autores

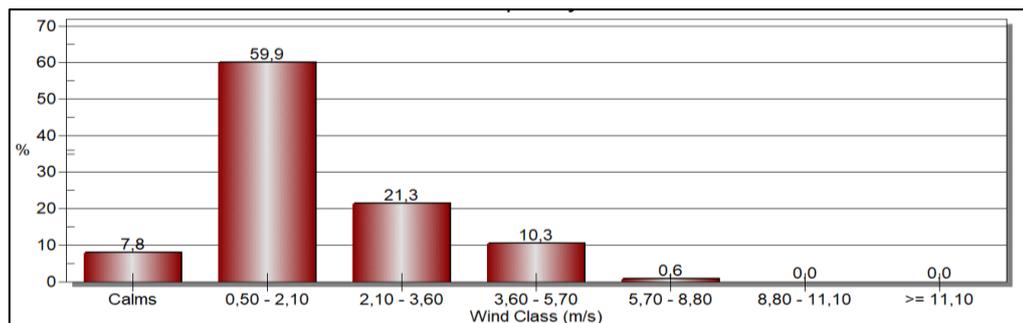


Figura 3-15 Tabla de frecuencias de la velocidad de viento para el año 2018, Estación UPS INER.  
Fuente: Autores

Como se puede observar en la Figura 3-14, el viento proviene del Noreste y se dirige al sur este durante el año 2018, en la Figura 3-15 se observa que los vientos de entre 0,5 a 2,10 m/s presentan una mayor frecuencia en la distribución de las velocidades de viento por lo que se deduce que el mayor tiempo se tienen vientos moderados. Así, la mayor velocidad de viento se registra en los meses de julio, agosto y septiembre como se observa en la Figura 3-16. Los valores promedio de velocidades del viento obtenidas para el presente análisis se detallan en la Tabla 3-11.

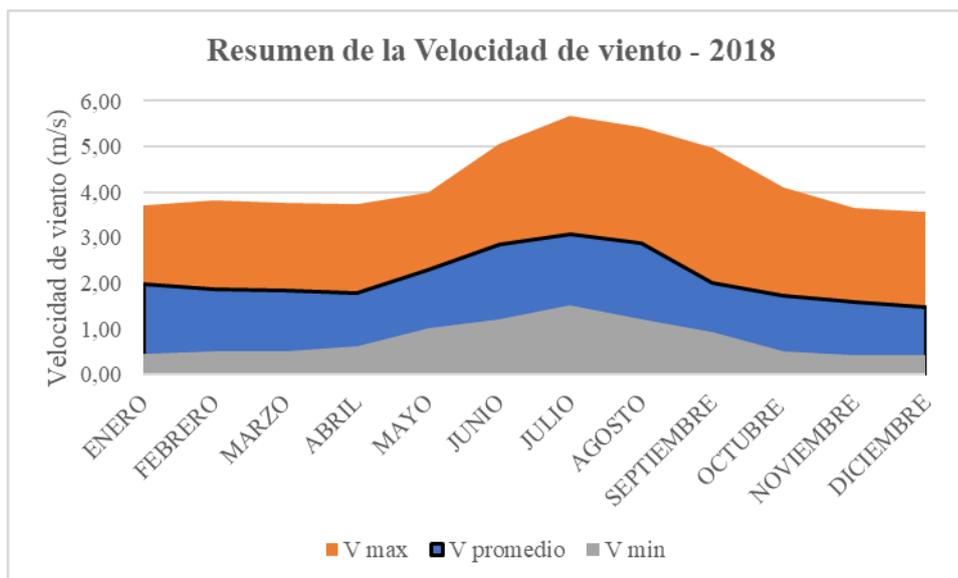


Figura 3-16 Comportamiento de la velocidad de viento para el año 2018, Estación UPS INER.  
Fuente: Autores

**Tabla 3-11 Valores de la velocidad promedio del viento en el año 2018.**

Parámetro	Valor [m/s]
Velocidad de viento máxima	5,68
Velocidad de viento mínima	0,41
Velocidad de viento promedio	2,12

Fuente: Autores

- **Horas de radiación solar**

Conocida como heliofanía, se refiere al tiempo de duración del brillo solar, entendido como la heliofanía absoluta, se expresa en horas y minutos. Se debe considerar que la heliofanía relativa debe ser calculada con relación a las horas teóricas de permanencia de sol sobre el horizonte (12 horas en el Ecuador). Este valor tiene nexo con la huella hídrica verde ya que es necesario conocerla y así obtener una referencia en cuanto a los procesos metabólicos de los vegetales. Las horas de sol se registran a escala mensual como se observa a continuación:

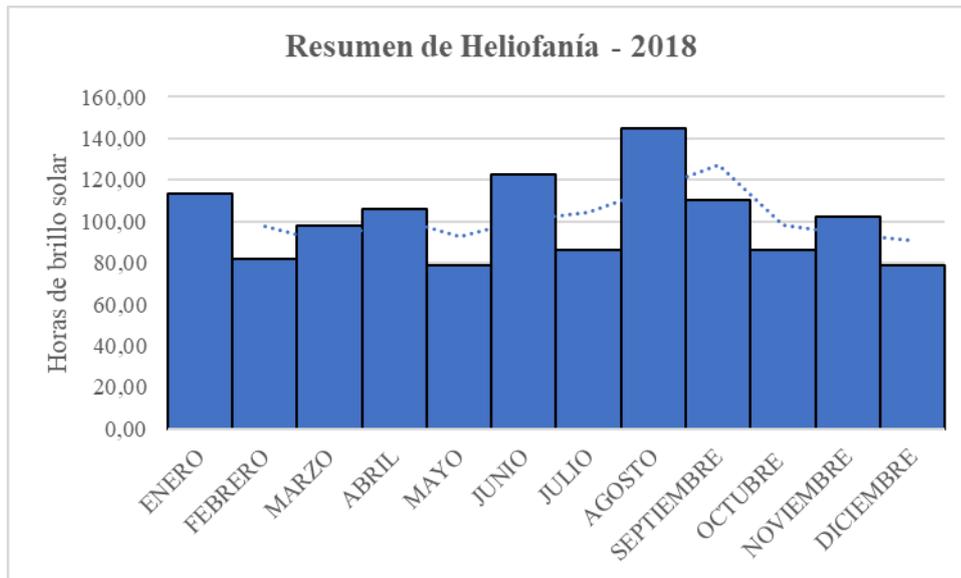


Figura 3-17 *Resumen de horas de radiación solar, Estación UPS INER.*  
Fuente: Autores

La Figura 3-17 exhibe a agosto como el mes con mayor número de horas de sol (144.00), por otro lado, los meses de mayo y diciembre tienen menor número de horas de sol (79 horas respectivamente), estos valores corresponden a la suma de horas de sol presente en cada mes.

### 3.3.5 Análisis del consumo de energía eléctrica

El análisis de consumo de energía eléctrica se realizó con datos de planillas de pago a la empresa eléctrica CENTROSUR correspondientes al año 2018. La Universidad Politécnica Salesiana se rige a la tarifa “Comercial por Demanda Horaria”, la cual involucra rubros correspondientes a un cargo por comercialización, un cargo por demanda y un cargo por energía consumida en el horario de 07h00 a 33h00 y de 22h00 a 7h00 (Deleg, Octavio, Farez, & Carlos, 2016).

Para el análisis del consumo de energía eléctrica, se recopilaron los datos encontrados en las planillas de energía eléctrica de la Empresa Eléctrica CENTROSUR, correspondientes al año 2018. Los mismos que están representados en la Tabla 3-12:

**Tabla 3-12 Consumo de energía eléctrica en la UPS correspondiente al año 2018.**

<b>Meses 2018</b>	<b>Consumo de electricidad (kWh)</b>
Enero	92427
Febrero	74601
Marzo	81374
Abril	86802
Mayo	93256
Junio	91128
Julio	99715
Agosto	75860
Septiembre	77156
Octubre	94649
Noviembre	90342
Diciembre	82054
<b>TOTAL</b>	<b>1039364</b>

**Fuente: CENTROSUR, 2018**

Según los autores (Serrano, Narváez, Urigüen, & Escrivá-escrivá, 2016) entre los años 2000 y 2012, la demanda de potencia eléctrica se ha incrementado en un porcentaje de 5.5% anualmente. Y se espera que para el 2017 este porcentaje suba a 21.3%.

Además, de los datos de consumo, se necesita conocer la estructura de la producción de energía eléctrica, es decir, las fuentes de donde se genera la electricidad y el porcentaje de cada una de ellas, para posteriormente obtener el factor de conversión de cada fuente energética. En la Tabla 3-13 se presentan los valores de potencia instalada en el Ecuador en porcentajes hasta el año 2019.

**Tabla 3-13 Potencia nominal de generación de energía eléctrica hasta el año 2019.**

<b>Tipo de energía</b>	<b>Descripción</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Energía Renovable	Hidráulica	58,49
	Eólica	0,24
	Fotovoltaica	0,32
	Biomasa	1,66
	Biogás	0,08
Total, Renovable		60,80
Energía No Renovable	Térmica MCI	23,25
	Térmica Turbo gas	10,63
	Térmica Turbo vapor	5,32
Total, No Renovable		39,20
<b>TOTAL, POTENCIA NOMINAL</b>		<b>100</b>

**Fuente: Regulación eléctrica, “Agencia de Regulación y Control de Electricidad”, 2019**

Posteriormente se obtuvieron los factores de conversión para cada fuente de energía y así proceder a la obtención de la huella hídrica los cuales constan en el manual de la WFN y se presentan en la Tabla 3-14.

**Tabla 3-14 Equivalencias de Huella Hídrica de las fuentes de energía.**

<b>Fuente Energética</b>	<b>Equivalencia Huella Hídrica</b>	<b>Unidad</b>
Agua (energía hidroeléctrica)	22,3	m <sup>3</sup> /GJ
Gas natural	0,11	m <sup>3</sup> /GJ
Energía Eólica	0,00	m <sup>3</sup> /GJ
Energía Solar	0,27	m <sup>3</sup> /GJ
Carbón	0,16	m <sup>3</sup> /GJ
Total	22,84	m <sup>3</sup> /GJ

Fuente: Water Footprint Network, 2012

### 3.3.6 Análisis del Consumo de papel

Para efectuar el análisis del consumo de papel dentro del predio universitario, se efectuaron entrevistas al personal encargado de adquirirlo; así también se utilizaron los resultados de las encuestas elaboradas de forma virtual, así en la Tabla 3-15 se especifican los tipos de papel empleados dentro del predio universitario.

**Tabla 3-15 Papel utilizado dentro del campus de la UPS en el año 2018.**

<b>Descripción del artículo</b>	<b>Peso (gramos)</b>	<b>N° de hojas por paquete</b>	<b>Total, de paquetes</b>
Papel bond A4	75	500	500
Papel bond	75	100	3000
Membretado A4			
Revistas y publicaciones	80	60	6000
Cuadernos universitarios	60	200	14238
Hojas impresiones	75	500	1000
Hojas refiles	60	50	14238
Hojas ministro	60	100	2278
TOTAL	485	1510	41254

Fuente: Departamento de coordinación administrativa, 2018

Según Castillo (2016) la huella hídrica para el papel de escritura y de impresión es de 518,5 m<sup>3</sup>/T, así entonces se debe multiplicar el valor del peso por el equivalente de huella hídrica para obtener la huella del papel.

### 3.4 IDENTIFICACIÓN DE USOS DEL AGUA EXISTENTES DENTRO DEL PREDIO Y OBTENCIÓN DE LOS PERFILES DE CONSUMO

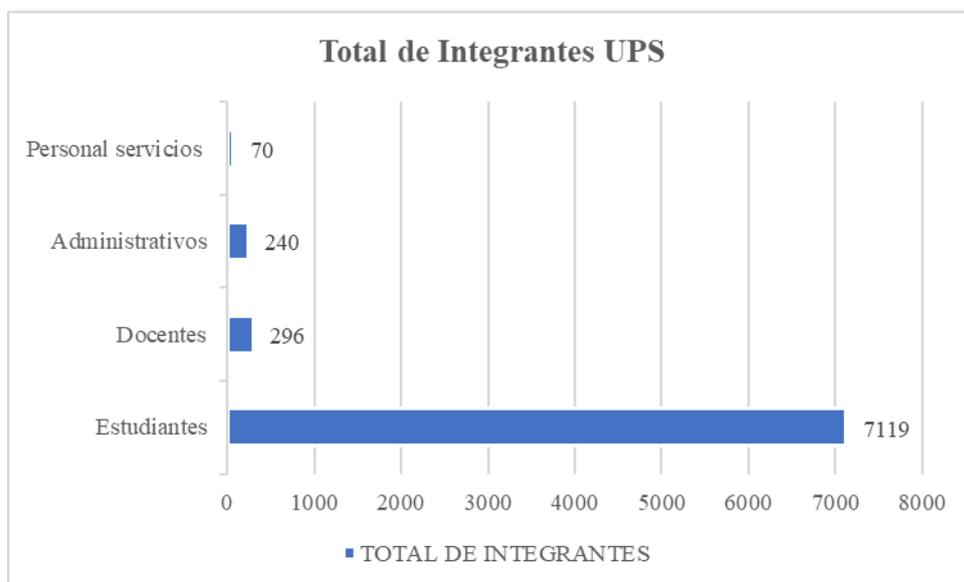
Para la identificación de usos del agua se realiza como primer paso la caracterización de la población universitaria y así mismo se precisa conocer el total de miembros de cada grupo de población existente durante el año de análisis, mediante encuestas a los departamentos involucrados se obtuvieron los datos descritos a continuación:

**Tabla 3-16 Distribución de la población universitaria.**

<b>POBLACION</b>	<b>TOTAL, DE INTEGRANTES</b>	<b>OBSERVACIONES</b>
Estudiantes	7119	Pregrado (21 carreras) según UPS cifras 2017-2018
Docentes	232	Titulares
	41	Ocasionales
	23	Técnicos docentes
Administrativos	240	Personal administrativo, empleados
Personal de servicios	46	Construcción
	14	Patio de comidas
	10	Guardias

**Fuente: Departamento Gestión de Talento Humano, UPS en cifras 2017 – 2018**

De acuerdo con los datos se tiene que la población total del campus bordea los 7725 personas que para el presente estudio serán distribuidas de la siguiente manera como lo muestra la Figura 3-18



**Figura 3-18 Caracterización de la población universitaria.**

Fuente: Autores

### **3.4.1 Elaboración y resultados de encuestas**

Con el fin de reconocer los usos más recurrentes del agua en la población universitaria se elaboraron encuestas mediante formularios web en la plataforma de Google Drive o mediante entrevistas personales (ver Anexo 4) según el grupo de población.

- **Estudiantes encuestados**

En el caso de los alumnos se realizaron un total de 72 encuestas que corresponden al número de respuestas registradas vía on-line de las cuales se consiguen los siguientes resultados:

**Tabla 3-17 Resultados de la encuesta a estudiantes.**

<b>Número</b>	<b>Pregunta</b>	<b>Resultados</b>	<b>Observaciones [% de los estudiantes encuestados]</b>
1	Volumen de agua que se consume a diario	2 litros	70%
2	Tipo de agua que se consume	Agua de grifo	63%
3	Uso del inodoro al día	3 veces al día	90%
4	Descargas del tanque del inodoro/urinario	3 veces al día	90%
5	Uso del lavamanos	Entre 1 y 3 veces al día	61,50%
6	Tiempo de uso de lavamanos	10 segundos aproximado	85%
7	Cepillado de dientes en la institución	No realiza esta actividad	74,10%
	El 25,9% de personas que si cepillan los dientes	Entre 2 y 3 veces al día con 5 minutos de uso.	92%
8	Uso de bienes hidráulicos	No	
9	Medio de transporte que usa	Transporte público	69,20%
10	Dispositivos electrónicos usados	Computadora	55%
11	Cuadernos utilizados en el ciclo	1 a 3 cuadernos	46,20%
12	Mecanismos de entregas de trabajos	Ambiente virtual	50%
13	Entrega de trabajos en forma física (hojas)	Aproximadamente usa 100 hojas al ciclo	38%
14	Personas que si hacen uso bienes deportivos dentro del predio	3 veces a la semana	29,6%
15	Personas que si hacen uso de duchas	10 segundos 3 veces a la semana	18,7%

**Fuente: Autores.**

- **Docentes encuestados**

En el caso de los docentes se receptaron un total de 16 encuestas que corresponden al número de respuestas registradas vía on-line de las cuales se obtienen los siguientes resultados.

**Tabla 3-18 Resultados de encuestas a docentes.**

<b>Número</b>	<b>Pregunta</b>	<b>Resultados</b>	<b>Observaciones [% de los docentes encuestados]</b>
1	Cantidad de agua que se consume a diario	Entre 1 y 2 litros al día	83,3%
2	Tipo de agua que se consume	Agua de grifo	83,3
3	Uso del inodoro/urinario dentro del predio	Entre 3 y 4 veces al día	66,70%
4	Uso de lavamanos en el predio	10 veces al día (15 a 20 segundos)	66,7%
5	Cepillado de dientes en la institución	3 veces al día por 5 minutos.	66,70%
6	Alumnos promedio en cada aula	Entre 20 y 35 alumnos	83,3%
7	Medio de transporte	Automóvil	50%
8	Dispositivos electrónicos usados	Computador portátil y celular	89%
9	Cuadernos utilizados en el ciclo	Entre 1 y 2 cuadernos	83%
10	Hojas papel bond utilizadas al ciclo	Entre 100 y 500 hojas	75%
11	Reciclaje de hojas de papel bond	Si	100%
12	Uso de bienes deportivos dentro del predio	1 a 2 veces a la semana	83,30%
13	Uso de duchas	2 veces a la semana por 5 minutos	16,7%

**Fuente: Autores**

- **Personal administrativo encuestado**

En el caso del personal administrativo se receptaron un total de 17 encuestas en los diferentes departamentos técnicos y administrativos de la institución que corresponden al número de respuestas registradas vía on-line, de estos se obtienen los siguientes resultados.

**Tabla 3-19 Resultados de encuestas a personal administrativo de la institución.**

<b>Número</b>	<b>Pregunta</b>	<b>Resultados</b>	<b>Observaciones [% del personal administrativo encuestados]</b>
1	Departamento	Bienestar estudiantil, secretaria, biblioteca, coordinación administrativa, entre otros	-
2	Cantidad de agua que se consume a diario	Consume 2 a 3 litros	71,3%
3	Tipo de agua que se consume	Botellón y 14,3% de grifo	85,70%
4	Uso del inodoro/urinario dentro de la institución	3 a 6 veces al día	85,70%
5	Uso del lavamanos dentro de la institución	6 a 8 veces por 10 segundos	80%
6	Cepillado de dientes dentro de la institución	No realiza esta actividad	71,50%
	El 28,50% de personas que si cepillan los dientes	Entre 2 y 3 veces al día con 5 minutos de uso.	82%
7	Medio de transporte usado	Vehículo personal	85,70%
8	Dispositivos electrónicos utilizados	Computadora y celular	100%
9	Cuadernos utilizados al ciclo	1 cuaderno	90%
10	Hojas de papel bond utilizadas	400 y 500 hojas	100%
11	Reciclaje de hojas de papel bond	Si	40%
12	Uso de bienes deportivos de la institución	3 veces a la semana	71,50%
13	Uso de duchas	1 a 2 veces por 15 minutos	40%

**Fuente: Autores**

- **Personal de servicios encuestado**

Para el personal de servicio se realizaron encuestas de forma personal y se dividieron en personal de cafetería (4 encuestas debido a la existencia de 4 locales de comida) y personal de riego (2 encuestas que son las personas encargadas del riego), los resultados de estas se detallan a continuación:

**Tabla 3-20 Resultados de encuesta a personal de servicio en general.**

<b>Número</b>	<b>Pregunta</b>	<b>Resultados</b>	<b>Observaciones [% del personal de servicio]</b>
1	Cantidad de agua que se consume a diario	Consume 2 litros	85%
2	Tipo de agua que se consume	Grifo	85,70%
3	Uso del inodoro dentro de la institución	3 a 6 veces	85,70%
4	Uso del lavamanos dentro de la institución	8 veces por 10 segundos	90%
5	Tiempo del uso del lavamanos	10 seg	90%
6	Cepillado de dientes dentro de la institución	2 veces por 4 minutos	71,50%

Fuente: Autores

**Tabla 3-21 Resultados a la encuesta realizada al personal de la cafetería.**

<b>Número</b>	<b>Pregunta</b>	<b>Resultado</b>	<b>Observaciones [% de los locales que conforman]</b>
1	Litros de agua para cocinar al día	13,75 a 15 litros diarios	100%
2	Numero promedio de platos que se lava al día	25 platos al día por local	100%
3	Tiempo para lavar los platos	3 horas	100%
4	Aparatos eléctricos dentro del local	8 promedio de los 4 locales	75%

Fuente: Autores

**Tabla 3-22 Resultados de la encuesta aplicada a personal de limpieza y riego.**

<b>Número</b>	<b>Pregunta</b>	<b>Resultado</b>	<b>Observaciones [% del personal encuestado]</b>
1	Litros de agua para labores de limpieza	5 litros 3 veces al día	90%
2	Tipo de detergentes utilizados	Detergentes convencionales	100%
3	Frecuencia de riego de jardines	1 vez al día en época seca. Cuando llueve no se realiza el riego.	
4	Tiempo para el riego de espacios verdes	3 horas	100%
5	Uso de agua lluvia en el riego	Si	100%

Fuente: Autores.

### 3.4.2 Tabulación de resultados de encuestas

Como tercer paso se evalúan los resultados de las encuestas obtenidas anteriormente con relación a los días laborables y a datos de consumo de agua en griferías obtenidos en la literatura.

- **Días laborables**

Para la estimación de los días laborables se emplea los calendarios académicos de la sede Cuenca correspondientes a los periodos 51 (septiembre 2017-febrero 2018), 52 (marzo 2018-agosto 2018) y 53 (septiembre 2018-febrero 2019), se considera la semana laborable de 5 días y el sábado medio día. Así, el total de días trabajados es de 200,5 para el caso de los estudiantes y de 250,5 para el restante de la población universitaria.

Los horarios de consumo son de 07:00 hasta las 22:00 en el caso de los estudiantes y docentes de 08:00 hasta las 18:00 en caso de personal administrativo.

- **Totales encontrados**

Considerando los resultados encontrados de total de población, total de días laborables al año y resultados de encuestas realizadas se procede a estimar los volúmenes totales de agua consumidos al año, en la Tabla 3-23 se puede observar el cálculo del volumen de agua por persona. En la Tabla 3-24 se puede observar el cálculo de los volúmenes de agua consumida anualmente para cada grupo de población universitaria y el total obtenido.

**Tabla 3-23 Cálculo del consumo de agua por persona al día.**

<b>Pregunta</b>	<b>Estudiantes</b>	<b>Docentes</b>	<b>Administrativos</b>	<b>Personal de Servicios</b>
Lt de consumo de agua diario	2	1	2	1
Tiempo (seg) lavado de manos al día	30	100	80	80
lt/día lavado de manos (0,2 lt/s)	4,5	15	12	1
Descargas inodoro día	3	4	6	6
lt/día descarga de inodoro (3lt/descarga)	9	12	18	18
Tiempo de lavado de dientes al día	-	60	-	60
lt/días usados lavado de dientes (0,2lt/s)	-	9	-	9
lt/días usados para cocina	-	-	-	13,75
Tiempo de lavado de platos (seg)	-	-	-	3600
lt/días usados para lavado de platos (0,2lt/s)	-	-	-	720
Tiempo de limpieza (seg)	-	-	-	300
lt/días usados para limpieza (2lt/d)	-	-	-	600
<b>Total (lt)</b>	<b>7,75</b>	<b>18,5</b>	<b>16</b>	<b>1373,75</b>

**Fuente: Autores**

**Tabla 3-24 Cálculo del total de consumo de agua anual.**

<b>Periodo Estudiantes</b>	<b>Días por ciclo</b>	<b>lt/persona</b>	<b>Cantidad de personas</b>	<b>Cantidad en lt</b>	<b>Cantidad en m<sup>3</sup></b>
51	32	248	7119	11062036,1	11062,03
52	100	775	7119		
53	68,5	530,87	7119		
<b>Total</b>	<b>200,5</b>	<b>1553,87</b>			
<b>Docentes</b>					
51	43	795,5	296	1388166	1388,16
52	122	2257	296		
53	88,5	1637,25	296		
<b>Total</b>	<b>253,5</b>	<b>4689,75</b>			
<b>Administrativos</b>					
51	43	688	240	973440	973,44
52	122	1952	240		
53	88,5	1416	240		
<b>Total</b>	<b>253,5</b>	<b>4056</b>			
<b>Servicios</b>					
51	43	860	70	354900	698,07
52	122	2440	70	343175,625	
53	88,5	1770	70		
<b>Total</b>	<b>253,5</b>	<b>5070</b>			
<b>Total de agua consumida</b>					<b>14121,71</b>

**Fuente: Autores**

Se obtuvo como resultado que el consumo de agua para actividades humanas dentro del predio universitario es de 14121,71 m<sup>3</sup> para el año 2018. Cabe resaltar que a este resultado se le debe adicionar el valor del agua empleada para el funcionamiento de equipos hidráulicos y el agua empleada para las actividades de riego, para obtener el valor de consumo total que se puede apreciar en el establecimiento del balance hídrico.

### **3.4.3 Localización de usos críticos significativos**

Partiendo del análisis de las encuestas se procedió a identificar los usos más significativos de agua dentro del predio universitario, así en la Figura 3-19 se puede observar que los estudiantes registran un mayor consumo.

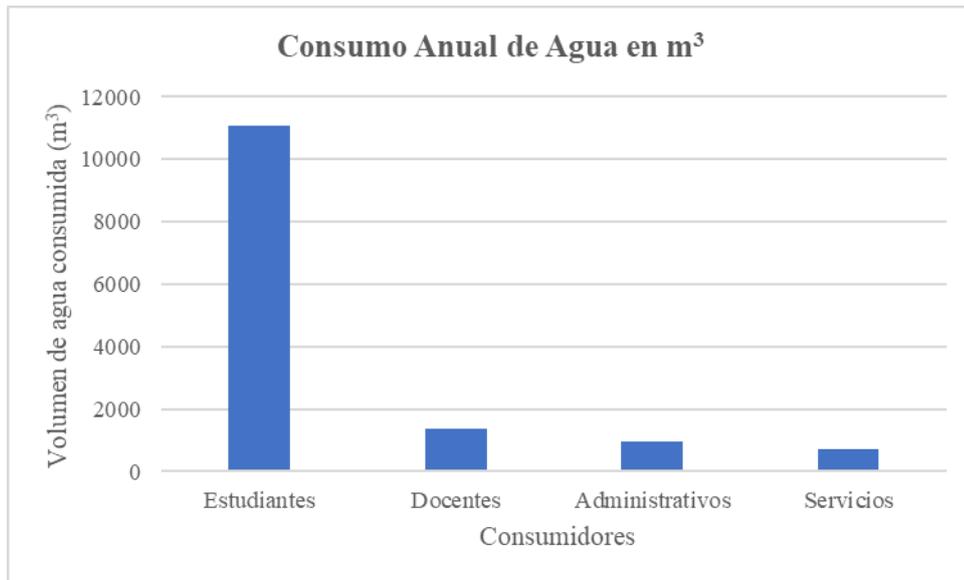


Figura 3-19 Consumo anual de agua en m<sup>3</sup> en la UPS.  
Fuente: Autores

Se pueden identificar además los principales usos que tiene el agua en el predio universitario, siendo estos:

- Consumo personal
- Aseo personal
- Descargas en sanitarios y urinarios
- Usos en cafetería
- Limpieza
- Artefactos hidráulicos
- Riego
- Pérdidas

Los volúmenes de cada uso identificado se encuentran en la Figura 3-20, donde se puede apreciar el porcentaje de cada uno.

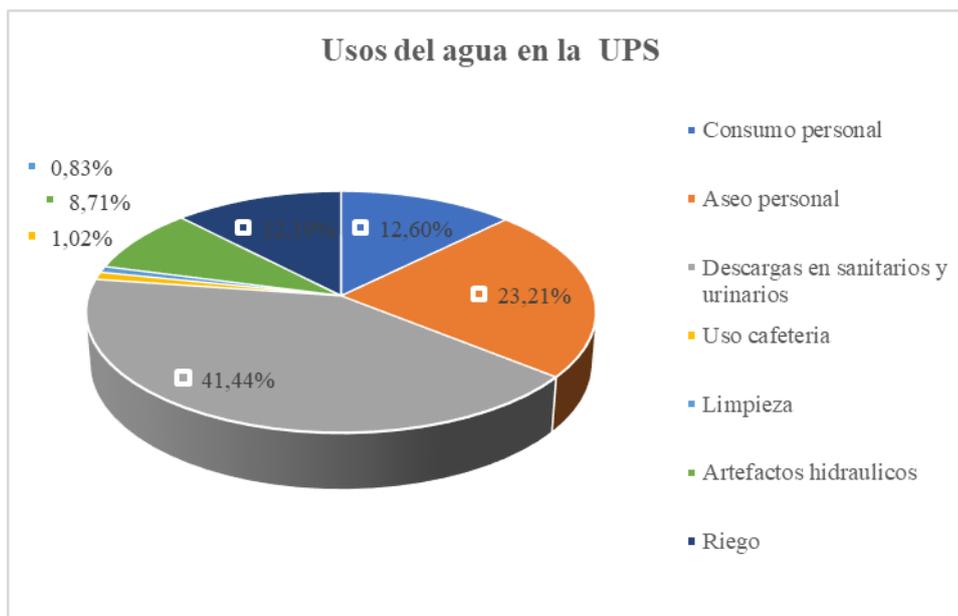


Figura 3-20 Volúmenes de usos del agua en la UPS.  
Fuente: Autores

Como se puede observar los usos más significativos son: descargas de urinarios y sanitarios con 41,44% del volumen de agua según el resultado del análisis de las necesidades hídricas de los usuarios, 23,21% para uso en aseo personal que comprende principalmente el uso de lavamanos, 12,6 % para consumo personal, el 12,19% para consumo personal y por último incluye el agua empleada en el riego de espacios verdes que registra el 12,19%.

### 3.4.4 Análisis de consumo vs precipitación

Una vez presentados los datos de consumo total de agua se procedió a analizarlos con la precipitación resultante del análisis climático, esto con el fin de establecer un indicador que nos demuestre el comportamiento del campus ante este fenómeno. En la Figura 3-21 se puede observar una comparación entre dichos datos.

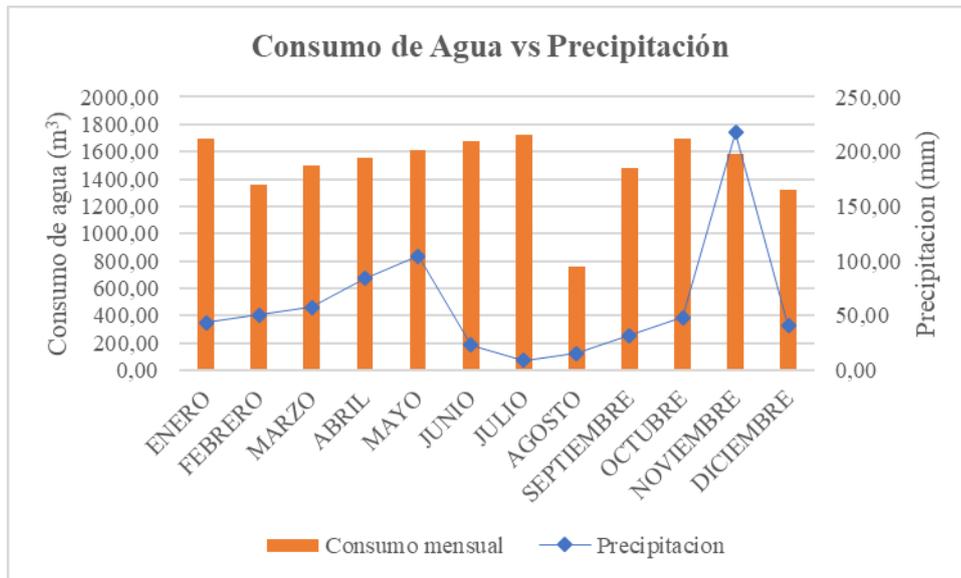


Figura 3-21 Comparación entre los valores de consumo de agua en el campus y la precipitación existente.

Fuente: Autores

Como se puede apreciar la precipitación es mayor en el mes de noviembre, sin embargo, el consumo en este mismo mes es alto por lo que se determina que existiría un almacenamiento mínimo de agua lluvia en ese mes, por otra parte, en el mes de agosto se registra el menor consumo, pero al coincidir con valores bajos de precipitación de igual manera no podría realizarse un almacenamiento de agua lluvia.

### 3.4.5 Obtención de perfil de consumo

Con el uso de un flujómetro ultrasónico (marca TUF-2000M) se logró tomar medidas del caudal durante un día, estas mediciones se realizaron en los tanques de reserva ubicados en la parte superior del edificio Cornelio Merchán, en las tuberías de ingreso en las cisternas. Las mediciones se tomaron con una frecuencia horaria durante un día de consumo normal, este día se seleccionó utilizando el método estadístico aleatorio. Se encontró que el horario de consumo está entre las 07h00 hasta las 22h00, los registros fuera de este horario pueden asumirse como pérdidas en el sistema o como consumos no registrados. El valor más alto se registra a las 13 horas como se observa en la Figura 3-22.

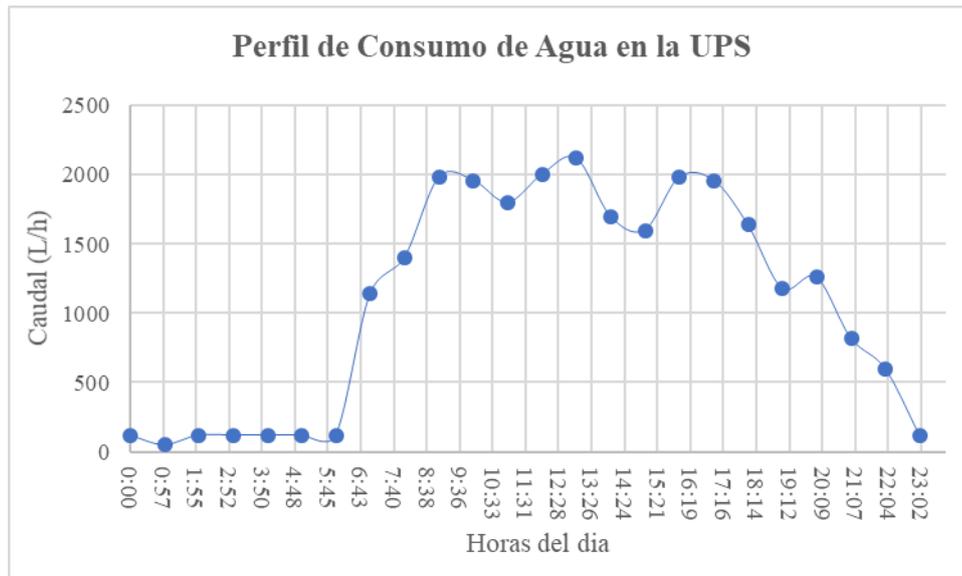


Figura 3-22 Perfil de consumo de agua en la UPS.  
Fuente: Autores

La figura 3-22 muestra un patrón estacional entre las 9h00 y las 19h00, con el pico más alto registrado a las 13h00 con un valor de 2120 L/h, esto se explica por la mayor presencia de estudiantes, docentes y personal administrativo.

### 3.5 ESTABLECIMIENTO DEL BALANCE HÍDRICO

Para establecer el balance hídrico, se consideran las entradas y salidas de flujo de agua, específicamente de uso directo dentro del predio universitario. Así mismo se considera que los elementos que conforman huella gris no forman parte de este análisis debido a que corresponden a una cantidad de agua teórica necesaria para diluir el contaminante.

Las entradas consideran al agua que ingresa por las precipitaciones, el agua suministrada por la empresa ETAPA EP y el agua de pomos que abastecen las oficinas de docentes y administrativos.

En las salidas se considera el agua que no es empleada, es decir, que luego de ser utilizada es desechada hacia el alcantarillado, estas aguas son: agua de riego (el riego depende de la precipitación existente, si no llueve se riega de forma manual), agua de uso personal y agua de uso en equipos hidráulicos de talleres y laboratorios.

Por otra parte, se debe mencionar que las pérdidas por evaporación se dan por lluvia, por agua de riego y para usos personales, las cuales conforman también los tipos de huellas verde y azul de forma indirecta.

En la Figura 3-23 se presenta un esquema del balance hídrico del predio universitario en análisis.



Figura 3-23 Balance hídrico de la Universidad Politécnica Salesiana  
Fuente: Autores

Según los valores obtenidos se establecen en la Tabla 3-25 los valores de entrada y salida del balance hídrico.

Tabla 3-25 Valores del balance hídrico en la UPS.

ENTRADAS [m <sup>3</sup> ]		SALIDAS [m <sup>3</sup> ]	
Origen	Valor	Origen	Valor
Agua de precipitaciones	16,15	Agua de riego (áreas verdes)	2228,77
Agua de medidores de ETAPA	31580	Agua para usos personales	14121,7178
Agua de botellones	86,4	Agua de uso en talleres y laboratorios	1593,24
<b>TOTAL</b>	<b>31682,55</b>	<b>TOTAL</b>	<b>17943,72</b>

Fuente: Autores.

Estos datos facilitan el cálculo de las diferentes componentes de la huella hídrica directa.

# **CAPÍTULO 4 DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA RED DE TELEMETRÍA**

En este capítulo se explica el diseño e implementación de la red de telemetría para obtener los parámetros de calidad de agua de agua dentro del campus, se describe el diagrama de bloques para el diseño y funcionamiento de la red. También se muestra el procedimiento a seguir para la configuración de cada sensor. Posteriormente, se presenta la interfaz de la página web para la interpretación, análisis y obtención de datos, los procesos para el tratamiento de la información y la puesta en marcha del servidor para el monitoreo de la calidad del agua. Finalmente se presentan los resultados de las comparaciones de los datos logrados de la red implementada, con mediciones realizadas por un laboratorio externo y con un equipo multiparámetro de la marca “Hanna Instruments”, modelo JI7629829. El contraste de datos sirve para validar las mediciones realizadas por la red implementada. Luego, se realiza el cálculo del índice de calidad de agua, siendo este valor un indicador de contaminación del recurso hídrico.

## **4.1 REQUERIMIENTOS DEL PROYECTO**

La red de telemetría debe obedecer a los siguientes requerimientos:

- Debe estar diseñada para monitorear la calidad de agua dentro del campus “El Vecino”.
- Los puntos de muestreo (nodos) se determinan mediante el levantamiento de bienes hidráulicos.

- Los nodos deben poseer sensores que midan la conductividad, el pH y la concentración de oxígeno disuelto, para una monitorización in-situ de la calidad de agua en una institución educativa.
- Los sensores deben estar calibrados en relación con los criterios de la calidad de aguas para consumo humano presente en la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes.
- Los datos obtenidos deben ser acumulados para un posterior análisis.

## 4.2 DISEÑO DEL PROTOTIPO DE LA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS

De acuerdo con los requerimientos que posee la red, se necesita la instalación de tres nodos: uno de entrada, uno de salida y uno de recolección de información. El nodo sensor de entrada se instaló en uno de los tanques de almacenamiento de agua ubicados en la cubierta del edificio Cornelio Merchán, el nodo sensor de salida se instaló en el área de descarga de alcantarillado del edificio Guillermo Mensi y el nodo de almacenamiento se localizó en una oficina dentro del campus universitario. (ver Figura 4-1)



Figura 4-1 Disposición de los nodos en el campus  
Fuente: Google Earth, 2019

En el diseño de la red se usa una topología en estrella en la cual cada uno de los nodos está conectado al nodo principal. En la Figura 4-2 se muestra el diagrama de bloques que sigue la red de telemetría.

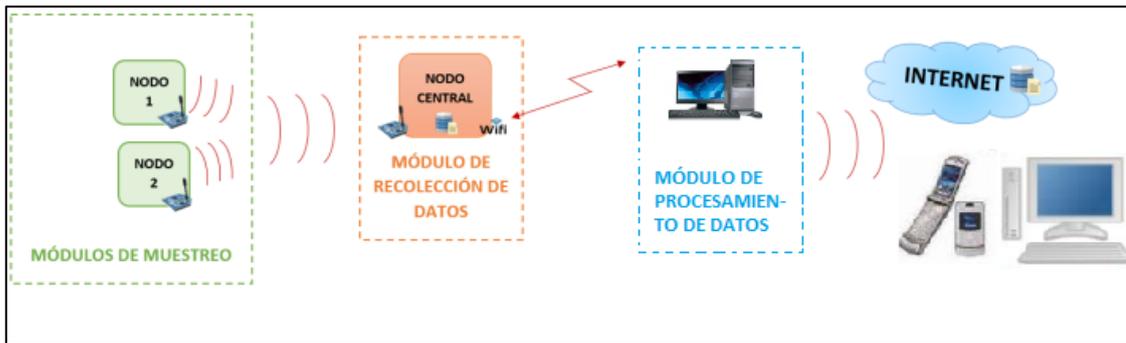


Figura 4-2 Diagrama de bloques del diseño del prototipo.  
Fuente: Autores

#### 4.2.1 Módulo de muestreo

Para la configuración de los nodos de muestreo se realiza en el software “XCTU” donde se coloca la dirección ID la misma que el coordinador para que estos puedan establecer comunicación entre ellos, (ver Figura 4-3).



Figura 4-3 Configuración de nodo de muestreo  
Fuente: Autores

Cada nodo sensor está constituido por 4 bloques (ver Figura 4-4), el primero de ellos es el conjunto de sensores que adquieren la señal, estos son de conductividad, pH y de oxígeno disuelto. Esta información es enviada al módulo de procesamiento en el dispositivo Arduino que a su vez utiliza una fuente de alimentación cercana, dependiendo de las especificaciones del circuito. Los datos son enviados por medios inalámbricos gracias a la función del módulo xbee.

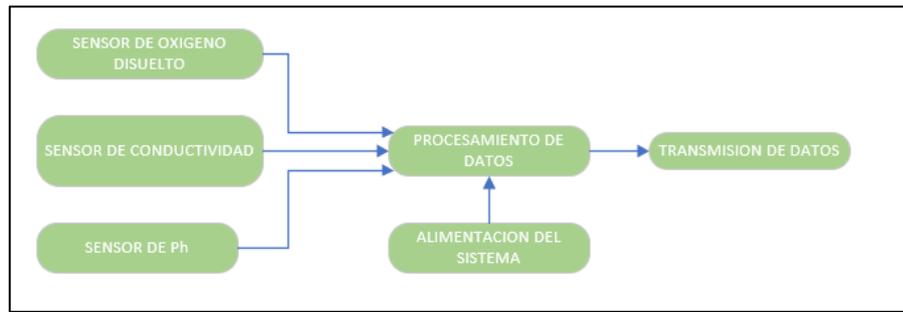


Figura 4-4 *Diagrama de bloques del nodo sensor.*  
Fuente: Autores

Los componentes de cada nodo sensor son los siguientes:

- Sensor de pH
- Sensor de OD
- Sensor de conductividad
- Placa de sensores
- Módulo Arduino
- Módulo XBee
- Antenas

En la Figura 4-5 se muestra un nodo con sus respectivos componentes.



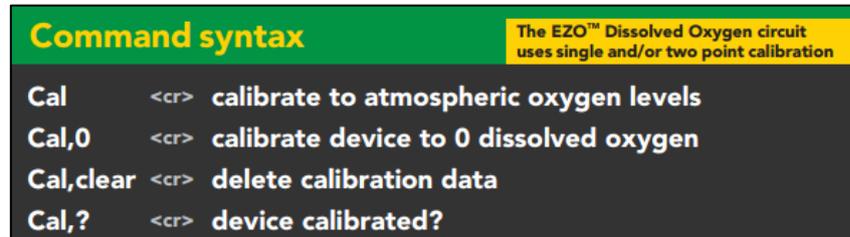
Figura 4-5 *Composición del nodo sensor de pH, conductividad y OD.*  
Fuente: Autores

#### 4.2.1.1 Configuración de los sensores

Para configurar cada uno de los sensores se ejecutan los programas diseñados para cada nodo y para cada tipo de sensor (ver anexo 5), también se especifica la velocidad a 9600 baudios. La calibración de las sondas se realiza acorde a las hojas de datos de los sensores disponibles en el sitio web.

- **Calibración de las sondas de Oxígeno Disuelto (OD).**

Para calibrar la sonda de oxígeno disuelto es necesario tener conocimiento de los comandos expuestos en las hojas de datos de las sondas como se observa en la Figura 4-6.



Command syntax		The EZO™ Dissolved Oxygen circuit uses single and/or two point calibration
Cal	<cr>	calibrate to atmospheric oxygen levels
Cal,0	<cr>	calibrate device to 0 dissolved oxygen
Cal,clear	<cr>	delete calibration data
Cal,?	<cr>	device calibrated?

Figura 4-6 Comandos básicos para la calibración de la sonda de OD  
Fuente: Atlas Scientific, 2018

Para calibrar la sonda de oxígeno disuelto se siguen los siguientes pasos:

1. Ejecutar el código de oxígeno disuelto en el software “ConfigOxi” de Arduino (ver anexo 5).
2. Ingresar el comando “cal” para calibrar la sonda antes de ser sumergida en el líquido.
3. Introducir la sonda en el líquido de oxígeno cero, durante un lapso de 10 segundos aproximadamente para que la sonda empiece a censar en el nuevo medio.
4. Ejecutar el comando “cal,0” para calibrar la sonda en el líquido.
5. Comprobar la calibración ejecutando el comando “cal,?” Si la respuesta es “2” significa que la sonda está calibrada en los dos puntos y por lo tanto esta lista para realizar pruebas.

- **Calibración de la sonda de Conductividad.**

Para calibrar la sonda de conductividad es necesario tener conocimiento de los comandos expuestos en las hojas de datos de las sondas como se observa en la Figura 4-7.

Command syntax		Dry calibration must always be done first!
Cal,dry	<CF>	dry calibration
Cal,n	<CF>	single point calibration, where n = any value
Cal,low,n	<CF>	low end calibration, where n = any value
Cal,high,n	<CF>	high end calibration, where n = any value
Cal,clear	<CF>	delete calibration data
Cal,?	<CF>	device calibrated?

Figura 4-7 Comandos básicos para la calibración de la sonda de conductividad.  
Fuente: Atlas Scientific, 2018

Para la calibración de la sonda de conductividad se siguen los siguientes pasos:

1. Ejecutar el código de conductividad en el software “ConfigCon” de Arduino. (Para empezar la calibración es recomendable borrar cualquier tipo configuración anterior con el comando “cal, clear”)
2. Ingresar el comando “cal,dry” para calibrar en seco, si la respuesta es “ok”, quiere decir la calibración es correcta.
3. Calibrar en el líquido de punto bajo con el comando “cal, low, 12800”, si la respuesta es “ok” el punto esta correctamente calibrado.
4. Calibrar en el líquido de punto alto usando el comando “cal, high, 150000”, si la respuesta es “ok” el punto esta correctamente calibrado. Finalmente, ejecutar el comando “cal,?” y si la respuesta es 2, significa que los dos puntos están calibrados.

- **Calibración de la sonda de pH**

Para la calibración de la sonda de pH se establece los siguientes pasos.

1. Ejecutar el código en el software “ConfigpH” de Arduino (ver anexo 5). Para la calibración de la sonda de pH, se utilizan dos soluciones de pH 3 y pH 8 de la marca Atlas Scientific.
2. Introducir la sonda en la solución de pH 3, verificando que esta quede totalmente sumergida y tomar el valor de voltaje medido. Luego introducir la sonda en la solución de pH 8 y tomar el nuevo valor de voltaje medido, posteriormente realizar un promedio de los dos valores obtenidos.
3. Introducir el valor promedio obtenido en el software detallado en el punto 1 y de esta forma la sonda esta lista para realizar las pruebas.

Para finalizar la configuración de los nodos sensores se ejecuta los códigos denominados “slave uno” si es del nodo 1 y “slave dos” si es del nodo 2 para guardar la configuración en los módulos Arduino.

#### 4.2.1.2 Diseño de la placa de circuito impreso para los nodos sensores.

Para el diseño de la placa del nodo sensor se utiliza el software “ARCIS”, este programa informático que cuenta con las herramientas necesarias para un correcto diseño de placas PCB como se ve en las siguientes figuras.

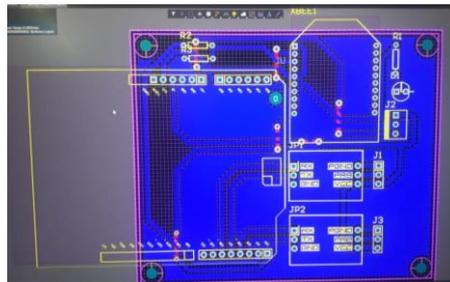


Figura 4-8 *Diseño de la placa en arcis.*  
Fuente: Autores

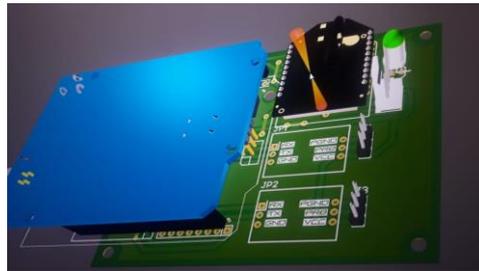


Figura 4-9 *Elementos del nodo sensor en el software.*  
Fuente: Autores.

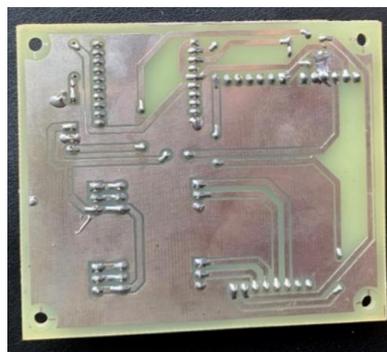


Figura 4-10 *Placa impresa final.*  
Fuente: Autores

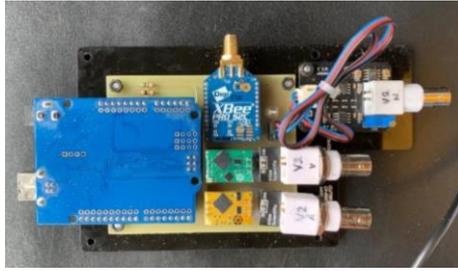


Figura 4-11 Placa con los componentes del nodo sensor.  
Fuente: Autores

#### 4.2.2 Módulo de recolección de datos

La configuración del módulo de recolección de datos (coordinador) se realiza en el software “X-CTU” donde se debe considerar los comandos de: DH, DL, MY, SH SL y PAN ID, que sirven para que el nodo coordinador tenga la capacidad de identificar a los nodos que conformar la red. Primero se selecciona en el ícono buscar, luego se elige el puerto USB donde se encuentra conectado el módulo. El proceso de configuración del nodo es el siguiente:

1. Acceder a los parámetros del módulo xbee, seleccionando el módulo que ha reconocido en el lado izquierdo de la Figura 4-12. Aquí se pueden ver los parámetros de la red. Este para poder establecer comunicación con los otros nodos debe tener la misma ID.

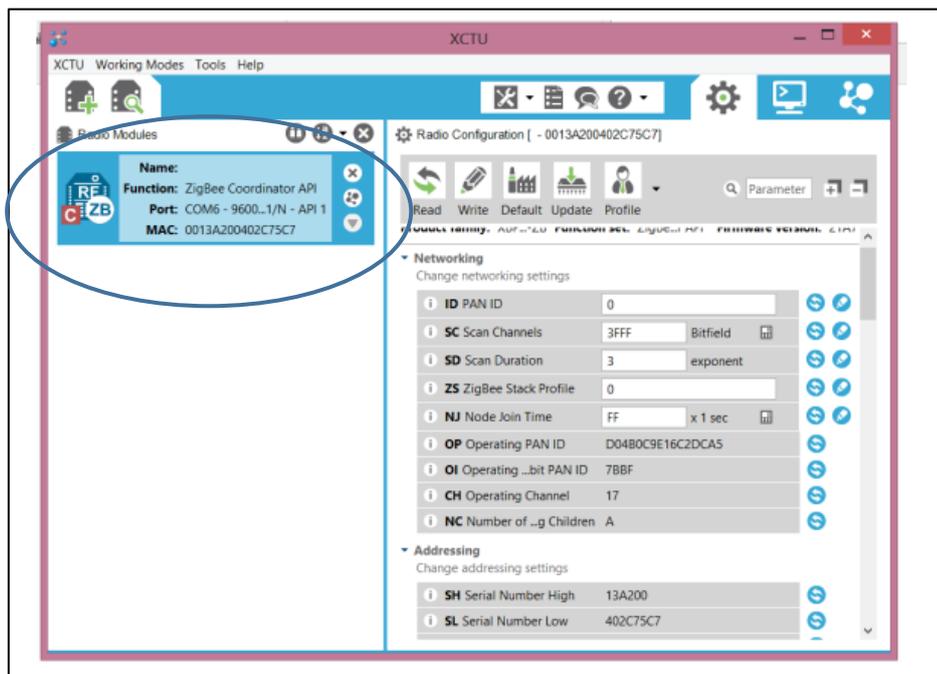


Figura 4-12 Pantalla de inicio para configurar módulos XBee.  
Fuente: Autores

2. Configurar el módulo como “coordinador” seleccionando la opción de “coordinator enable” como se observa en la Figura 4-13.

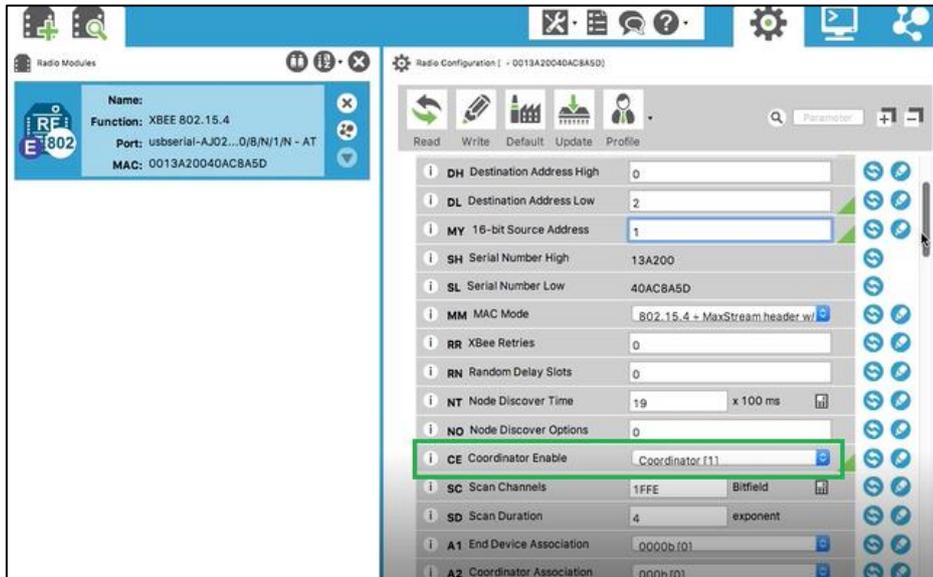


Figura 4-13 Configuración XBee como coordinador.  
Fuente: Autores

### 4.2.3 Módulo de procesamiento de datos

En el módulo de procesamiento de datos, los valores son clasificados y puestos a disposición del usuario. Como puede ser la visualización en tiempo real o la observación del comportamiento que se ha tenido en periodo predefinido.

#### 4.2.3.1 Procesamiento de datos en tiempo real.

El procesamiento de la información en tiempo real se realiza mediante la ejecución de comandos en el lenguaje de “Python”. Para mostrar el comportamiento de los parámetros de calidad del agua, se extrae los valores de la base de datos mediante la librería “AJAX”, en tanto que la presentación de datos se realiza mediante la librería “highcharts”, la cual exporta las imágenes en múltiples formatos.

#### 4.2.3.2 Almacenamiento de datos

Para el proceso de almacenamiento se importan las librerías que sirven para leer el puerto serial (ver Figura 4-14) que son: “datetime” para obtener la hora del día, y “mysqldb” que permite la creación de los enlaces (sockets) de conexión con la base de datos.

El programa se encuentra en un bucle o secuencia infinita ya que debe procesar datos en tiempo real. El bucle continuo realiza la lectura mediante la función “readline()” decodificada en el formato “utf-8”. Esa lectura contiene 6 datos que se encuentran separados por “;” y se realiza un salto (Split) a dicha cadena de caracteres (string) acomodando los valores en la base de datos.

```
import serial
import datetime
import MySQLdb

db = MySQLdb.connect(host="localhost",      # your host, usually local
                    user="root",          # your username
                    passwd="",            # your password
                    db="agua")

cur = db.cursor()

ser = serial.Serial(port = 'COM6', baudrate = 115200)

print("Iniciando...")
while True:
    datos = ser.readline().decode("utf-8")
    datos = datos.split(";")
    ph1 = datos[0]
    ox1 = datos[1]
    con1 = datos[2]
    ph2 = datos[3]
    ox2 = datos[4]
    con2 = datos[5]
    now = datetime.datetime.now()
    fecha = str(now.year)+"-"+str(now.month)+"-"+str(now.day)
    hora = str(now.hour)+":"+str(now.minute)+":"+str(now.second)
    cur.execute(("INSERT INTO datos(fecha,hora,ph1,ox1,con1,ph2)
    db.commit()
db.close()
ser.close()
```

Figura 4-14 Código para el procesamiento de datos.  
Fuente: Autores.

- **Base de datos**

Para la gestión de la base de datos se eligió “MariaDB” debido a que es libre, de fácil acceso y flexible en el uso. Una vez descargado e instalado el sistema se crean las columnas de la base de datos con la información procesada anteriormente, así: ph1, ph2, ox1, ox2, con1, con2, fecha, hora, como se observa en la Figura 4-15. El almacenamiento se da de manera continua pudiendo visualizarse en el mismo sistema.

				fecha	hora	ph1	ox1	con1	ph2	ox2	con2	id
<input type="checkbox"/>				2019-04-09	19:45:09	0.1	5.9	7.8	10.8	20.5	4.9	3847
<input type="checkbox"/>				2019-04-09	19:45:14	3.1	43.8	5.4	13.4	16.5	10.3	3848
<input type="checkbox"/>				2019-04-09	19:45:19	4.3	21.2	6.4	15.3	12.7	8.1	3849
<input type="checkbox"/>				2019-04-09	19:45:24	4	6.2	0.7	4.4	8.4	9.4	3850
<input type="checkbox"/>				2019-04-09	19:45:29	3.7	22.3	7.9	17.8	19.1	9.6	3851
<input type="checkbox"/>				2019-04-09	19:45:34	4.7	7.6	7.8	24.2	11	6.8	3852
<input type="checkbox"/>				2019-04-09	19:45:39	2.2	24.9	1.9	4.6	29.2	10.6	3853
<input type="checkbox"/>				2019-04-09	19:45:44	0.1	6.6	6.6	4.5	20.3	9.9	3854
<input type="checkbox"/>				2019-04-09	19:45:49	3.5	11.7	1.8	15.3	20.8	11.4	3855
<input type="checkbox"/>				2019-04-09	19:45:54	3.6	37	4	9.6	10.5	6.3	3856
<input type="checkbox"/>				2019-04-09	19:45:59	2.7	48.6	2.8	24.9	10.1	6	3857
<input type="checkbox"/>				2019-04-09	19:46:04	2.9	38.8	9.7	15.8	22.3	9	3858

Figura 4-15 Datos almacenados en la base de datos.

Fuente: Autores.

### 4.3 EJECUCIÓN DEL SERVIDOR DE CALIDAD DE AGUA

Para iniciar el proceso de lectura y almacenamiento de datos se ejecuta el software “XAMPP Control Panel v3.2.3”. Dentro del mismo se inician las opciones de “MySQL” que sirve para iniciar la gestión de base de datos, y “apache” que sirve para ejecutar el servidor web.

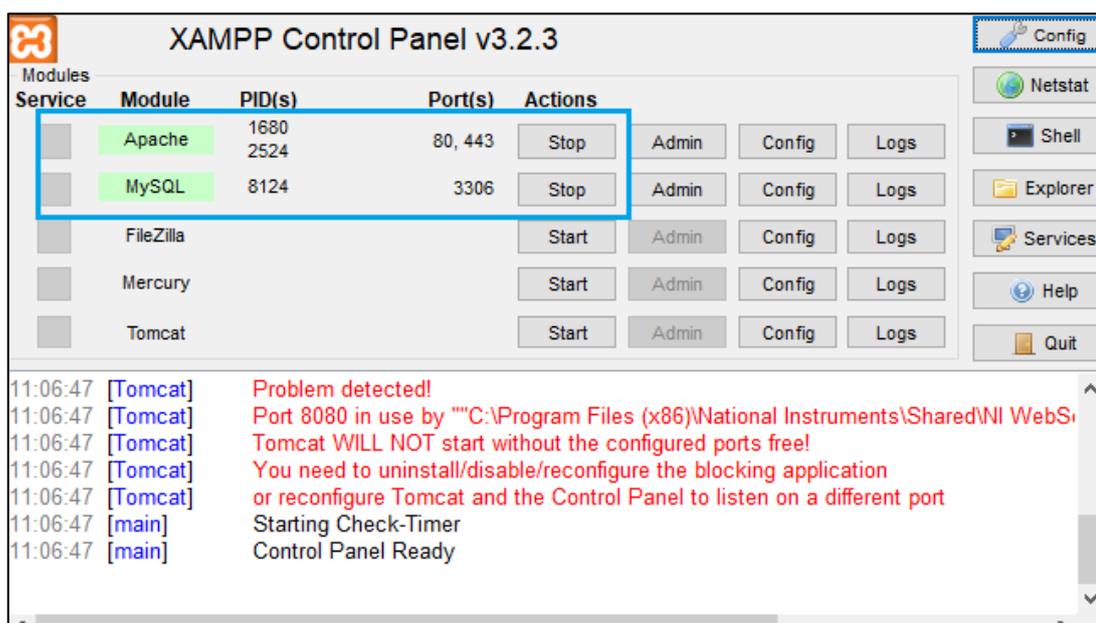


Figura 4-16 Panel de control de apache y de mySQL.

Fuente: Autores

Luego, se ejecuta el programa “extracción de datos” en el software “Spyder” de “Python” con el botón de iniciar. Este proceso da inicio a la lectura y almacenamiento de datos (ver Figura 4-17).

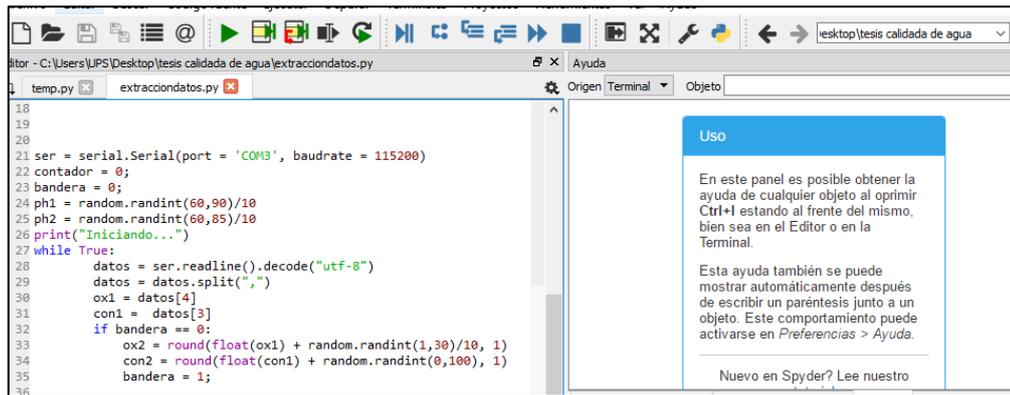


Figura 4-17 Panel frontal del código en spyder.

Fuente: Autores

Adicionalmente, es necesario conocer la dirección IP que está asignada al servidor, para esto se ejecuta el comando “CMD” en el computador y con el comando “ipconfig” se valida la dirección asignada por la red (ver Figura 4-18).

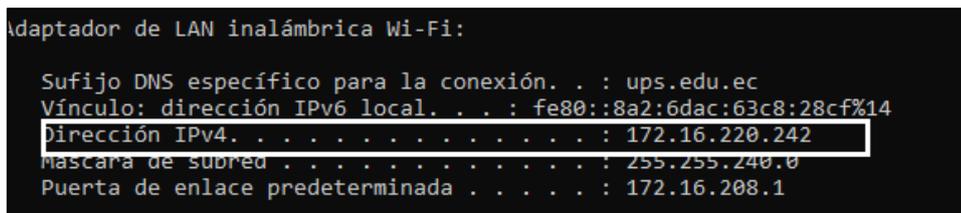


Figura 4-18 Dirección IP asignada por la red.

Fuente: Autores

Finalmente se ingresa la dirección IP en el navegador de su preferencia y se visualiza la interfaz gráfica donde se pueden ver los datos en tiempo real además de los datos que se han adquirido y han sido almacenados (ver Figura 4-19). Esta interfaz puede ser visualizada en cualquier navegador.



Figura 4-19 Interfaz gráfica de página web para la calidad de agua.

Fuente: Autores

Además de visualizar los datos en gráficas, se tiene la opción de descargar los mismos en diferentes formatos como se observa en la Figura 4-20.



Figura 4-20 *Panel de descarga de datos.*  
Fuente: Autores

#### 4.4 INSTALACIÓN DE LOS NODOS SENSORES

Para recoger los datos de calidad de agua de ingreso se instaló un nodo sensor en la parte superior del edificio Cornelio Merchán, en los tanques de reserva de agua potable de la manera que se observa en la Figura 4-21.



Figura 4-21 *Instalación de nodo sensor para la calidad de agua de ingreso.*  
Fuente: Autores

De igual manera se realiza el mismo procedimiento para medir la calidad de agua de salida, instalando un segundo nodo en la parte posterior del edificio Guillermo Mensi, tal cómo se observa en Figura 4-22.



Figura 4-22 *Instalación de nodo sensor para la calidad de agua de salida.*  
Fuente: Autores

## **4.5 IMPLEMENTACIÓN DE LA RED DE TELEMETRÍA**

Con la ayuda de la red de telemetría se pueden conocer los parámetros de calidad de agua en la institución, estos datos se pueden encontrar en tiempo real y almacenada en una base datos para verificar su comportamiento pasado, esto se puede apreciar de mejor forma a continuación:

### **4.5.1 Datos en tiempo real**

Los datos en tiempo real se actualizan cada 10 segundos. En la Figura 4-23, Figura 4-24 y Figura 4-25, las curvas de color celeste representan las mediciones del nodo de ingreso y las curvas de color negro las mediciones del nodo de salida. En el eje de las abscisas se muestra el número del dato y en el eje de la Y la medición del parámetro.

La Figura 4-23 muestra en tiempo real el valor de la conductividad en los dos nodos. Se puede apreciar que el valor en el nodo de salida de este parámetro es de 300  $\mu$ siemens aproximadamente en comparación a los 200  $\mu$ siemens del nodo de ingreso.



Figura 4-23 Comportamiento en tiempo real de la conductividad.  
Fuente: Autores

La Figura 4-24 muestra el comportamiento del oxígeno disuelto en mg/L, se puede observar que el flujo de ingreso varía desde los 8mg/L hasta los 7,5mg/L, en relación con el valor de ingreso se mantiene en 7mg/L aproximadamente.

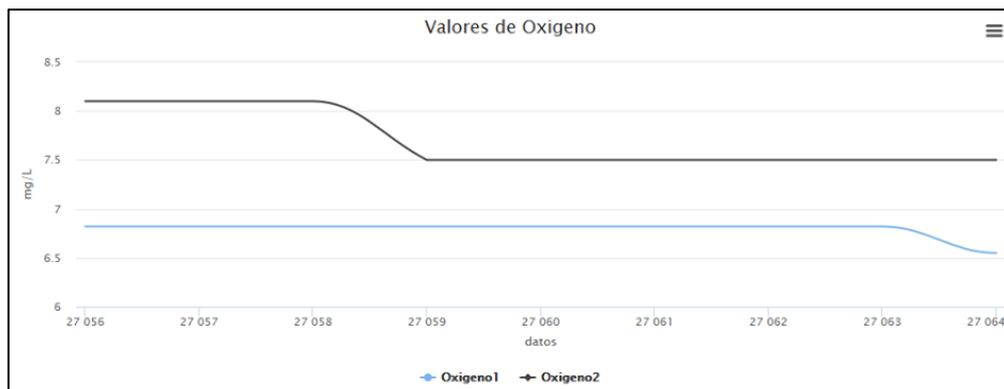


Figura 4-24 Comportamiento en tiempo real del oxígeno disuelto.  
Fuente: Autores

La Figura 4-25 demuestra el comportamiento de potencial de hidrogeno, se puede observar que el flujo de ingreso toma un valor aproximado de 8 unidades y el flujo de salida llega a un valor de alrededor de 7 unidades.

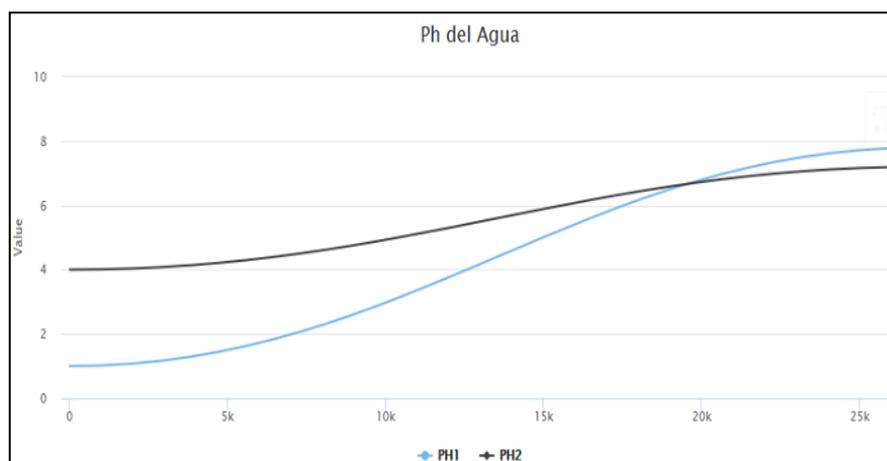


Figura 4-25 Comportamiento en tiempo real del pH.  
Fuente: Autores.

#### 4.5.2 Datos almacenados

Para saber si los parámetros de calidad de agua están dentro de los rangos permitidos se basa en el Acuerdo Ministerial AM-097 que se encuentra el Libro XI, Anexo 1 del TULSMA (“Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente de Ecuador”) en donde constan los límites permitidos tanto en agua de consumo y en agua para descarga al alcantarillado. Estos valores se detallan en la Tabla 4-1:

**Tabla 4-1 Límites permisibles de parámetros utilizados según la normativa.**

Agua de consumo humano			Agua de descarga al alcantarillado		
Parámetro	Valor	Unidad	Parámetro	Valor	Unidad
Conductividad	100-1000	µsiemens/cm	Conductividad	500-1500	µsiemens/cm
pH	6-9	-	pH	5-9	-
Oxígeno disuelto	0-6	mg/L	Oxígeno disuelto	1-4	mg/L

Fuente TULSMA, 2012

A continuación se muestran los datos almacenados de los parámetros de pH, oxígeno disuelto y conductividad de ingreso y de desagüe, a su vez se puede observar las líneas de color azul y verde que son indicadores de límites permisibles en cada gráfica.

En la Figura 4-26 se puede ver el comportamiento del pH, desde el dato 1 al dato 37 existe una variación grande, luego el valor se estabiliza en aproximadamente 15 unidades, lo cual indica que el sensor debe ser recalibrado.

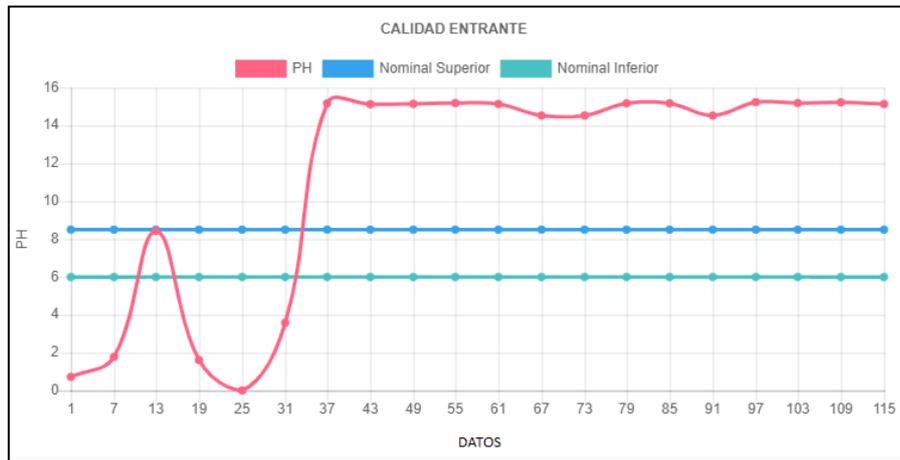


Figura 4-26 Representación de los datos almacenados de pH del agua de ingreso.  
Fuente: Autores

La Figura 4-27 muestra el comportamiento del oxígeno disuelto, esta se encuentra apegado a la norma establecida en la mayoría de las mediciones, tiene variaciones durante todo su periodo. Solamente en la posición 13 presenta un valor pico que rebasa los límites permisibles.

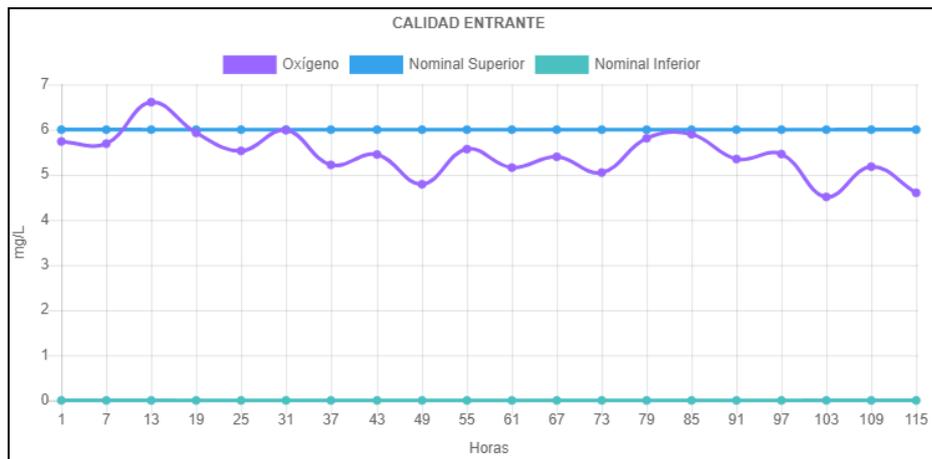


Figura 4-27 Representación de los datos almacenados de oxígeno disuelto del agua de ingreso.  
Fuente: Autores.

En la Figura 4-28 se observa que el valor de la conductividad se encuentra en los rangos permitidos para el consumo de 200  $\mu$ siemens aproximadamente. Se determina que este valor se mantiene casi constante.

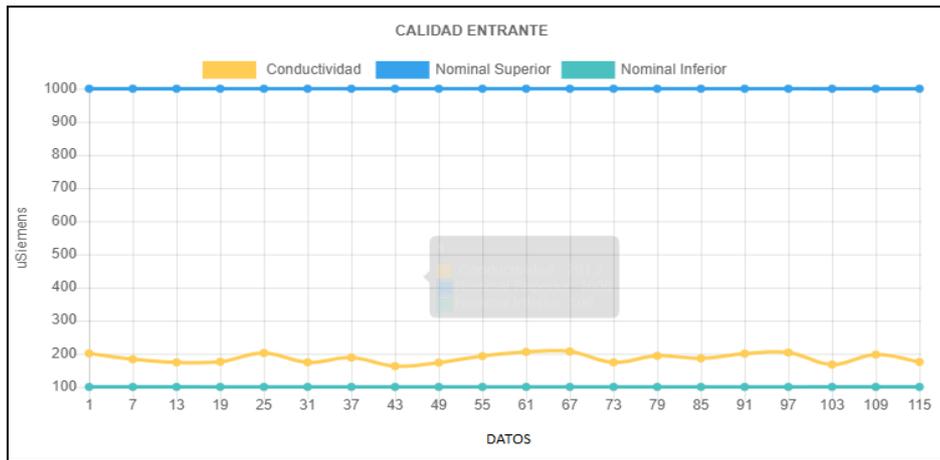


Figura 4-28 Representación de los datos almacenados de conductividad del agua de ingreso.  
Fuente: Autores

En la Figura 4-29 se observa el comportamiento del pH de salida, se evalúa que existe una variación debido a que en este punto se presentan fluctuaciones de caudal.

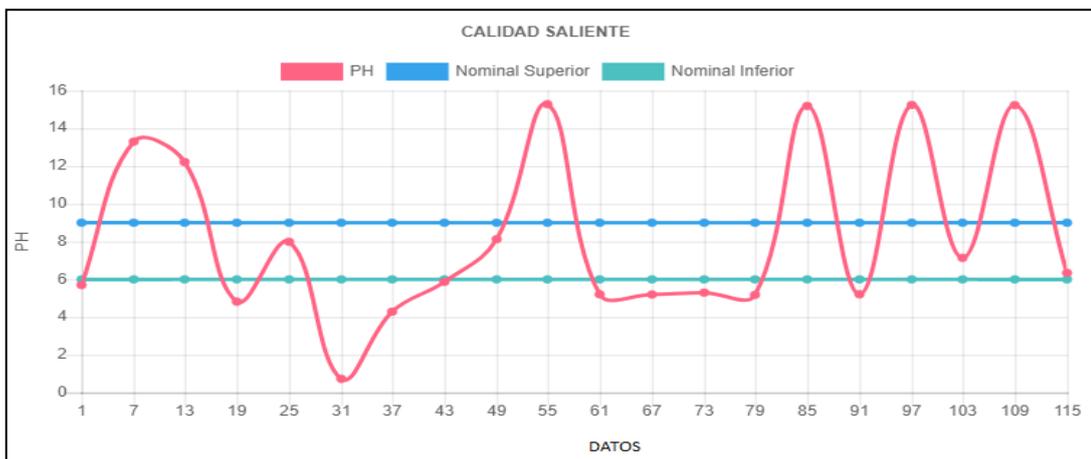


Figura 4-29 Representación de los datos almacenados de pH del agua de salida.  
Fuente: Autores.

La Figura 4-30 muestra que el oxígeno disuelto presenta un comportamiento muy variable por el constante cambio de caudal. Se presenta que la mayoría de los valores no se sitúan entre los límites permisibles.

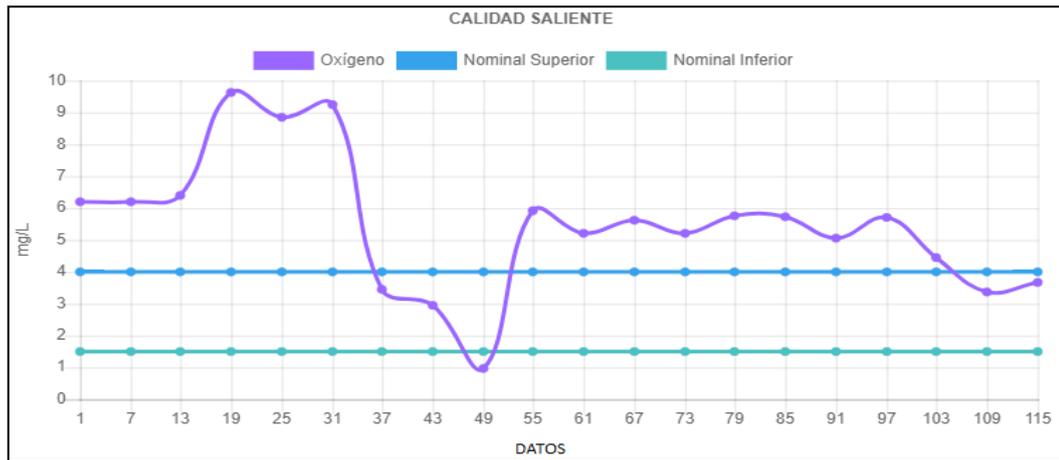


Figura 4-30 Representación de datos almacenados de OD de agua de salida.  
Fuente: Autores

El parámetro de conductividad para el flujo de salida presenta un comportamiento menos variable en comparación de los dos anteriores. Este valor se sitúa por debajo de los límites permitidos solo llegando en la posición 19 a la normativa de 500  $\mu$ siemens como se observa en la Figura 4-31.

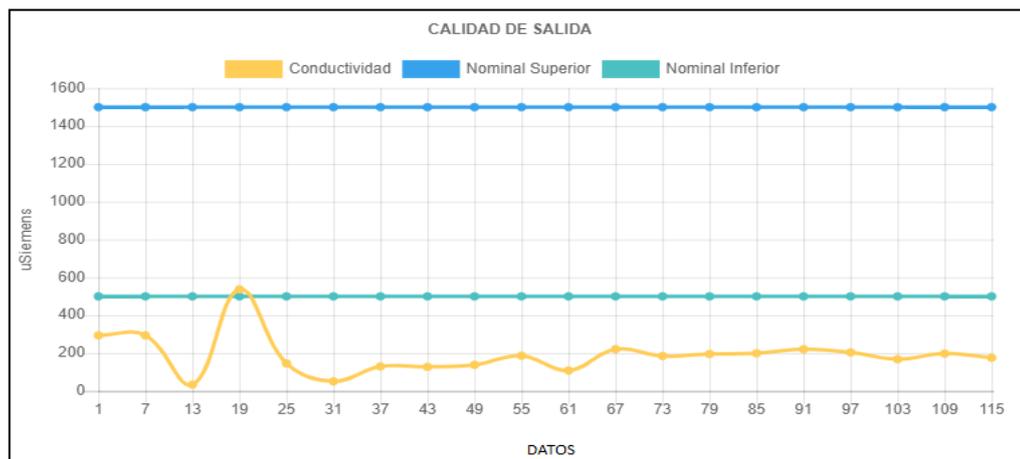


Figura 4-31 Representación de los datos almacenados de conductividad del agua de salida.  
Fuente: Autores.

### 4.5.3 Validación de las mediciones de la red de telemetría

Para corroborar la validez de la red de telemetría para el control de los parámetros propuestos se tomaron muestras de agua donde se encuentran instalados los dos nodos sensores. Estas muestras se enviaron al laboratorio “ILITALAB” y los resultados se pueden observar en la Tabla 4-2. Los datos se comparan con los generados en la red de telemetría obteniendo los siguientes valores.

**Tabla 4-2 Datos obtenidos en el laboratorio y de la red.**

<b>Parámetros</b>	<b>Datos laboratorio Salida</b>	<b>Datos laboratorio Ingreso</b>	<b>Red Salida</b>	<b>Red Ingreso</b>	<b>Error Salida [%]</b>	<b>Error Ingreso [%]</b>	<b>Error Promedio [%]</b>
Conductividad [uSiemens]	645	235	679	223	5,27	5,10	8,32 salida
pH	8,77	7,72	9,15	7,33	4,33	5,11	4,16 ingreso
Oxígeno disuelto [mg/L]	1,17	6,15	1,35	6,29	15,388	2,27	6,24 total

**Fuente: Autores.**

El promedio del error porcentual de la red de telemetría es de 6.24%, esto indica que los valores entregados por la red son aceptables, según la teoría de errores cuanto más pequeño sea este valor mejor será la aproximación a los valores reales (Universitaria de Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones U.L.P.G.C, 2016). Al analizar individualmente cada nodo, se observa que existe un mayor error en el flujo de datos del nodo de salida (8,33%), debido a que el flujo es variable ya que en ese punto convergen varias tuberías de desagüe. En el flujo de ingreso se tiene un error de 4,17% siendo el valor menor al de salida debido a que el flujo es constante por estar almacenado en tanques para su distribución.

Para el siguiente análisis se emplean los datos obtenidos con un instrumento de análisis multiparámetro (Marca “Hanna Instruments”, modelo JI7629829.) que proporciona datos de calidad de agua. La información es comparada de igual forma con los valores de la red de telemetría, dando como resultado los valores indicados en la Tabla 4-3 (con datos del 13 al 17 de mayo del 2019).

**Tabla 4-3 Datos de multiparámetros y de nodo de ingreso y salida.**

Días	Parámetros	Datos Mult Salida	Datos Mult Entrada	Red Telemetría Salida	Red Telemetría Ingreso	Error Salida [%]	Error Ingreso [%]	Error Total [%]	Error Promedio [%]
Lunes	Conductividad [uSiemens]	843	223	859	227	1,89	1,79	14,51	11,08
	pH	8	7,02	7,82	7,3	2,18	3,91	6,80	
	OD [mg/L]	2,23	6,01	1,35	6,9	39,46	14,71	10,66	
Martes	Conductividad [uSiemens]	793	220	725	227	8,57	3,18	17,50	
	pH	8,1	7,1	7,83	7,2	3,22	1,40	4,73	
	OD [mg/L]	2,21	6,19	1,31	6,79	40,72	9,60	11,11	
Miércoles	Conductividad [uSiemens]	851	214	851	246	0	14,95	10,44	
	pH	8,04	7,1	9,95	7,2	23,75	1,40	7,52	
	OD [mg/L]	2,11	6,11	1,95	6,49	7,58	6,21	8,98	
Jueves	Conductividad [uSiemens]	855	216	950	223	11,11	3,24	23,23	
	pH	8,04	6,91	9,55	7,32	18,78	5,93	3,90	
	OD [mg/L]	2,11	6,31	2,95	6,14	39,81	2,55	13,57	
Viernes	Conductividad [uSiemens]	955	217	821	220	14,03	1,38	22,92	
	pH	7,44	6,61	8,55	7,52	14,91	13,76	6,19	
	OD [mg/L]	2,11	6,41	2,95	6,18	39,81	3,44	14,55	

**Fuente: Autores.**

Los valores observados tienen un comportamiento similar a los de análisis de laboratorio, en particular el error del flujo de salida es mayor en comparación al error de flujo de entrada, este análisis se ha realizado por 5 días y los hallazgos se reportan en la Tabla 4-2. Existe un mayor error en cuanto al análisis del flujo de salida debido a la variación constante.

La Tabla 4-4 detalla el error calculado en el nodo de ingreso, es muy importante validar los datos en este nodo de forma individual ya que es el nodo que proporciona datos de agua que se consume.

**Tabla 4-4 Datos de multiparámetro y de nodo de ingreso.**

<b>Días</b>	<b>Parámetros</b>	<b>Datos Mult. Entrada</b>	<b>Red Telemetría Ingreso</b>	<b>Error Ingreso [%]</b>	<b>Error Total [%]</b>	<b>Promedio Error [%]</b>
Lunes 13 de mayo	Conductividad [uSiemens] pH OD [mg/L)	223 7,02 6,01	227 7,3 6,9	1,79 3,91 14,71	6,80	5,83
Martes 14 de mayo	Conductividad [uSiemens] pH OD [mg/L)	220 7,1 6,19	227 7,2 6,79	3,18 1,40 9,60	4,73	
Miércoles 15 de mayo	Conductividad [uSiemens] pH OD [mg/L)	214 7,1 6,11	246 7,2 6,49	14,95 1,40 6,21	7,52	
Jueves 16 de mayo	Conductividad [uSiemens] pH OD [mg/L)	216 6,91 6,31	223 7,32 6,14	3,24 5,93 2,55	3,90	
Viernes 17 de mayo	Conductividad [uSiemens] pH OD [mg/L)	217 6,61 6,41	220 7,52 6,18	1,38 13,76 3,44	6,19	

**Fuente: Autores.**

Como se mencionó anteriormente, el nodo de ingreso presenta un menor error porcentual (5,83%), debido a las condiciones que posee el lugar donde está instalado el nodo.

#### **4.5.4 Índice de calidad de agua.**

Según el INDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales) el método para el cálculo del índice de calidad de agua empieza con los datos de concentración de un conjunto de variables que establecen la calidad de agua. Para este caso se toma los valores promedio del nodo de entrada, debido a la importancia que tiene como agua de consumo humano. A estos valores también se les asigna un peso o coeficiente de ponderación según la importancia del parámetro ( $W_i$ ) (ver Tabla 4-5).

**Tabla 4-5 Coeficiente de ponderación para cada parámetro.**

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso [Wi]</b>
Oxígeno disuelto entrada	6,15 (mg/L)	0,2
Conductividad eléctrica entrada	255 (µsiemens)	0,2
Potencial de hidrogeno entrada	7,725	0,2

Fuente: INDEAM, 2017

Para el cálculo del índice de calidad se aplica la siguiente ecuación:

$$ICA \text{ promedio} = \frac{\sum_{k=1}^n I_i W_i}{\sum_{k=1}^n W_i} \quad (8)$$

Donde:

$I_i$  es el indicador de calidad del parámetro  $i$ ,

$W_i$  es la variable de ponderación del parámetro  $i$  y .

$n$  es el número total de parámetros.

Para este caso es necesario calcular el índice de calidad de cada parámetro, es decir del oxígeno disuelto, conductividad eléctrica y potencial de hidrógeno. Utilizando las siguientes formulaciones.

**Oxígeno Disuelto:**

$$I_{OD} = 1 - (1 - 0,01PS_{OD}) \quad (9)$$

Siendo  $PS_{OD}$  el porcentaje de saturación del oxígeno disuelto se obtiene con la siguiente expresión.

$$PS_{OD} = -0.6537153 - 0.0104799T + 6.9180790D + 0.2075711 * T * OD - 0.0129793 * OD * OD \quad (10)$$

$$PS_{OD} = 54,05$$

$$I_{OD} = 0,5406$$

Aplicado las fórmulas (9) y (10) se tiene un índice de 0,5406.

### Conductividad Eléctrica

$$I_{CE} = 1 - 10^{(-3,26+1,34\log(CE))} \quad (11)$$

$$I_{CE} = 1 - 10^{(-3,26+1,34\log(255))}$$

$$I_{CE} = 0,07793$$

### Potencial de Hidrogeno (pH)

$$\text{Si } pH < 4, \quad I_{pH} = 0,1 \quad (12)$$

$$\text{Si } 4 \leq pH \leq 7, \text{ entonces } I_{pH} = 0,02628419 e^{(ph0,520025)} \quad (13)$$

$$\text{Si } 7 < pH \leq 8, \text{ entonces } I_{pH} = 1 \quad (14)$$

$$\text{Si } 8 < pH \leq 11, \text{ entonces } I_{pH} = 1 * e^{(ph-8)-0,5187742} \quad (15)$$

Como se tiene un pH de 7,725 se emplea la ecuación (12), obteniendo el resultado:  $I_{pH} = 1$

Ahora se aplica la ecuación (8) y se obtiene:

$$ICA \text{ promedio} = \frac{0,2(1) + 0,2(0,07793) + 0,2(0,5406)}{0,6}$$

$$ICA \text{ promedio} = 0,53951$$

En la Tabla 4-6 se puede observar la calificación de la calidad de agua según el valor calculado y definido en la tabla del ICA (índice de calidad de agua).

**Tabla 4-6 Rango de índice de la calidad del agua.**

Categoría de los valores que puede tomar el indicador	Calificación de la calidad del agua	Señal de alerta
0,00-0,25	Muy mala	Roja
0,26-0,50	Mala	Naranja
0,51-0,70	Regular	Amarillo
0,71-0,90	Aceptable	Verde
0,91-1,00	Buena	Azul

Fuente: IDEAM,2017

En función del índice de calidad de agua alcanzado y los valores de comparación presentados por el IDEAM 2017, la calidad de agua de entrada es regular ubicándose en el casillero de color amarillo, debido a su valor de 0,539.

# **CAPÍTULO 5 : EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

En el presente capítulo se exponen los resultados de la estimación de los componentes de la huella hídrica empleando los datos conseguidos en los capítulos anteriores. Una vez obtenidos dichos componentes se realizaron la sumatoria de los mismos para obtener el valor de la huella hídrica total del campus. Posteriormente se validó el resultado alcanzado de la huella hídrica mediante el análisis de la sostenibilidad desde la dimensión ambiental y se realizó la formulación de respuestas ante los resultados logrados en el trabajo de investigación.

## **5.1 HUELLA HIDRICA DIRECTA**

La adquisición de la huella hídrica directa se realiza mediante los procedimientos de cálculo de las huellas individuales como: verde, azul y gris.

### **5.1.1 Cálculo de la huella verde**

Para el cálculo de la huella verde se utilizan datos de superficie de cobertura de espacios con vegetación y de precipitación procedentes de la estación meteorológica INER UPS, que fueron analizados en el apartado 3.3.4. En la Tabla 5-1 se describen en la primera columna los datos de precipitación, en la segunda columna se hace uso de la ecuación (4). En la tercera columna se convierten los datos de mm de precipitación a  $m^3/ha$ ; estos resultados en la cuarta columna se multiplican por el área en ha de superficies de áreas verdes obtenidas y en la quinta columna se obtiene el valor de huella verde para cada mes.

La superficie de cobertura de áreas verdes del predio universitario es de 16125,823 m<sup>2</sup> o 1,61258 ha, distribuidos de la siguiente manera:

**Tabla 5-1 Cálculo de la huella hídrica verde mensual.**

Mes	P (mm)	P efectiva (mm)	P (m <sup>3</sup> /ha)	Área (ha)	HH verde (m <sup>3</sup> )
Enero	0,06	0,1	1	1,61	1,61
Febrero	0,08	0,1	1	1,61	1,61
Marzo	0,08	0,1	1	1,61	1,61
Abril	0,12	0,1	1	1,61	1,61
Mayo	0,14	0,1	1	1,61	1,61
Junio	0,03	0	0	1,61	0,00
Julio	0,01	0	0	1,61	0,00
Agosto	0,02	0	0	1,61	0,00
Septiembre	0,04	0	0	1,61	0,00
Octubre	0,06	0,1	1	1,61	1,61
Noviembre	0,30	0,3	3	1,61	4,84
Diciembre	0,06	0,1	1	1,61	1,61
TOTAL	1,00	1	10	1,61	16,15

Fuente: Autores, modificado de Castillo, 2014

Como se observa en la escala mensual, los meses de junio, julio, agosto y septiembre el valor de la huella es de 0 debido a que las precipitaciones son bajas, mientras que el mes de octubre es el que posee el mayor valor y coincide con la época de lluvia. Los porcentajes de huella hídrica mensual se observan en la Figura 5-1:

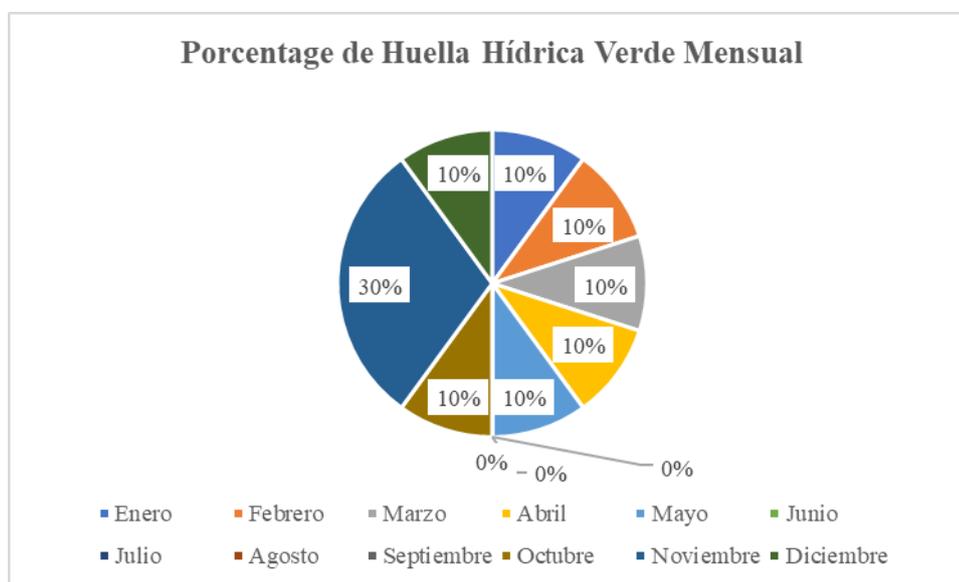


Figura 5-1 Porcentajes de huella hídrica verde mensual.

Fuente: Autores

La huella hídrica verde tiene un valor de 16,15 m<sup>3</sup>/año, lo cual representa el agua de precipitaciones dentro del balance hídrico.

### 5.1.2 Cálculo de la huella azul

Para la huella azul se debe considerar lo estipulado en la ecuación (2). Así el cálculo del afluente y efluente se determina a continuación:

- **Afluente**

Como afluente se consideran los valores del total de agua que ingresa por los 7 medidores e incluye el valor de agua que ingresa por las pomas. Tomando en cuenta que cada poma contiene 20 L de agua este valor se multiplica por la totalidad de pomas existentes en el campus y por la frecuencia de cambio de estas pomas (2 veces al mes en promedio).

**Tabla 5-2 Valores de agua de los medidores y de pomas que constituyen el afluente.**

Mes	Medidores [m <sup>3</sup> ]	Agua pomas [m <sup>3</sup> ]
Enero	3167	1,8
Febrero	2858	1,8
Marzo	2489	1,8
Abril	3063	1,8
Mayo	2498	1,8
Junio	2526	1,8
Julio	2980	1,8
Agosto	2522	1,8
Septiembre	2558	1,8
Octubre	2392	1,8
Noviembre	2320	1,8
Diciembre	2207	1,8
TOTAL	31580	21,6

Fuente: Autores

- **Efluente**

Dentro del efluente se incluyen valores como son los de uso personal de agua, uso para el mantenimiento y función de equipos hidráulicos, además del uso para riego (especialmente en épocas secas).

#### **Agua para uso personal**

Según el resultado de las encuestas realizadas en el apartado 3.4, se obtiene la cantidad de agua utilizada en las actividades realizadas por todos los miembros del campus. Así, según el análisis se obtienen los siguientes resultados detallados en la Tabla 5-3 para los 4 grupos de interés detallados en el estudio.

**Tabla 5-3 Volumen de agua al año empleado por los grupos de usuarios en la UPS.**

<b>Grupo</b>	<b>Consumo anual</b>	<b>Unidad</b>
Estudiantes	11062,036	m <sup>3</sup>
Docentes	1388,166	m <sup>3</sup>
Administrativos	973,440	m <sup>3</sup>
Servicios	698,076	m <sup>3</sup>
Total	14121,718	m <sup>3</sup>

Fuente: Autores

### Agua para uso de equipos hidráulicos

Para el cálculo del agua de uso de equipos se parte del inventario de bienes hidráulicos de la institución, ahí se establecen los volúmenes de agua necesarios para cada equipo y se expresan en m<sup>3</sup>.

**Tabla 5-4 Valores de volumen de agua empleada por equipos hidráulicos.**

<b>Laboratorio</b>	<b>Equipo</b>	<b>Caudal (L/mes)</b>	<b>Volumen (L)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>
Odontología	Equipo de odontología	80,00	960,00	0,96
Biotecnología	Purificador de agua	80,00	960,00	0,96
	Generador de hidrogeno	36,00	432,00	0,43
Química general	Destilador de agua	400,00	4800,00	4,80
Maquinas térmicas	Caldero pirotubular	8000,00	96000,00	96,00
	Depósito de agua	8000,00	96000,00	96,00
	Intercambiador de calor	80000,00	960000,00	960,00
Termofluidos	RA2 Air Conditioning Unit	0,25	3,00	0,00
	HT10XC Heat Transfer Service (Transferencia de calor)	1440,00	17280,00	17,28
	RA2 Vapour Compressor Refrigeration Unit (unidad de refrigeracion por compresion)	5,83	69,96	0,07
	HT10XC Heat Transfer Service Unit (Intercambiador de calor)	1440,00	17280,00	17,28
	TH3 Saturation Pressure (Calderilla)	1440,00	17280,00	17,28
	C4-MKII Multipurpose Flume (Tunel de agua)	3,33	39,96	0,04
	FM52 Gear Pump (Bomba de engranajes)	8,00	96,00	0,10
	FM62 Pelton Turbine (Turbina Pelton)	2,00	24,00	0,02
	FM53 Plunger pump (Bomba sin fin corona)	0,50	6,00	0,01
	Tubo Venturi (Unidad Bernoulli)	3,50	42,00	0,04
	Banco de pruebas para bombas centrifugas (Bombas centrifugas)	3,33	39,96	0,04
	FM6X Turbine Service Unit (Turbina de reacción)	2,00	24,00	0,02
	Insumos	24,92	299,04	0,30
Taller de belleza	Regaderas	14400,00	172800,00	172,80
Taller automotriz	HDS 798 C/CSXEco Lavador de piezas a vapor	14400,00	172800,00	172,80
	Pozas separadoras de agua y aceite	3000,00	36000,00	36,00
<b>TOTAL</b>		132769,66	1593235,92	1593,24

Fuente: Autores

## Agua para uso por riego

Para el cálculo del agua de uso para riego se emplean las variables de temperatura, humedad relativa, viento e insolación proporcionados por la estación meteorológica. Además, se utiliza el software “CROPWAT 8.0” para obtener el valor de evapotranspiración de referencia, para este cálculo el software utiliza la ecuación de Penman-Monteith para datos climáticos. En la Tabla 5-5 se encuentra el valor de evapotranspiración.

**Tabla 5-5 Cálculo de la evapotranspiración de referencia.**

Mes	Input			Output			Días del mes	ETo mm/mes	
	Tmin °C	Tmax °C	Humedad %	Viento m/s	Insolación Horas	Radiación MJ/m <sup>2</sup> /día			ETo mm/día
Enero	9,57	22,86	34,00	1,98	3,66	14,9	4,1	31	127,72
Febrero	10,12	23,85	35,96	1,87	2,91	14,1	4,0	28	113,12
Marzo	10,81	23,14	36,03	1,84	3,16	14,5	4,0	31	124,93
Abril	10,91	24,25	37,80	1,80	3,53	14,4	3,8	30	120,90
Mayo	10,22	22,46	40,90	2,29	2,55	12,1	4,6	31	117,49
Junio	8,05	21,77	26,09	2,86	4,10	13,7	4,8	30	136,5
Julio	7,70	21,03	19,26	3,08	2,78	12,1	2,6	31	148,49
Agosto	6,67	20,75	14,50	2,88	4,66	15,7	5,0	31	155,0
Septiembre	7,74	23,34	17,71	2,02	3,68	14,9	4,5	30	134,7
Octubre	10,56	23,83	22,88	1,73	2,79	13,8	4,2	31	129,58
Noviembre	10,67	23,06	38,24	1,59	3,40	14,5	3,9	30	116,10
Diciembre	9,92	22,47	34,12	1,46	2,55	13,1	3,6	31	110,36
TOTAL	9,41	22,73	29,79	2,12	3,31	14,0	4,20		127,91

Fuente: Cropwat, 2019

Para la obtención del Kc (coeficiente único de cultivo) se toman en cuenta los tipos de cultivo que son: ornamentales con y sin flor y kikuyo, haciendo un promedio de los coeficientes obtenidos por la literatura el valor es de 0,9. En el asunto de los requerimientos o necesidades de agua en cultivos (CWR en inglés) se emplea la siguiente formula:

$$CWR[m^3] = Kc * ETo [m^3] \quad (16)$$

Donde:

*CWR* = Requerimientos de agua del cultivo

*Kc* = Coeficiente único del cultivo

*ETo* = Evapotranspiración

Una vez obtenidos estos resultados, se deben restar de la huella hídrica verde para así alcanzar el valor del requerimiento total que tiene la planta de riego incluyendo el valor de las precipitaciones, en la Tabla 5-6 se representan los valores obtenidos.

Tabla 5-6 Cálculo del agua para riego.

Mes	ETo mm/mes	ETo m <sup>3</sup> /ha	Kc	CWR m <sup>3</sup> /ha	CWR m <sup>3</sup>	Huella verde m <sup>3</sup>	Agua de riego m <sup>3</sup>
1	127,72	1277,20	0,9	1149,48	1855,93	1,61	185,43
2	113,12	1131,20	0,9	1018,08	1643,77	1,61	164,22
3	124,93	1249,30	0,9	1124,37	1815,39	1,61	181,38
4	120,90	1209,00	0,9	1088,10	1756,83	1,61	175,52
5	117,49	1174,90	0,9	1057,41	1707,28	1,61	170,57
6	136,50	1365,00	0,9	1228,50	1983,51	0,00	198,35
7	148,49	1484,9	0,9	1336,41	2157,74	0,00	215,77
8	155,00	1550,00	0,9	1395,00	2252,34	0,00	225,23
9	134,70	1347,00	0,9	1212,30	1957,36	0,00	195,74
10	129,58	1295,80	0,9	1166,22	1882,96	1,61	188,13
11	116,10	1161,00	0,9	1044,90	1687,08	4,84	168,22
12	110,36	1103,60	0,9	993,24	1603,67	1,61	160,21
TOTAL							2228,77

Fuente: Autores, modificado de Castillo, 2014

- **Procedimiento para el cálculo de la huella azul**

En el cálculo de la huella azul final se emplea la ecuación (2), obteniéndose el siguiente valor.

$$HH\ Azul = 31666,4m^3 - 17943,72m^3$$

$$HH\ Azul = 13722,68 m^3$$

El resultado de la HH Azul tiene un valor de 13722,68 m<sup>3</sup>/año, considerando que los valores de afluente y efluente parten del balance hídrico establecido anteriormente.

### 5.1.3 Cálculo de la huella gris

Para la huella gris se emplean los valores obtenidos mediante la red de telemetría implementada en el predio universitario, la misma que nos arroja los resultados de la calidad de agua en función a 3 parámetros (pH, oxígeno disuelto y conductividad). Para el presente análisis se escogió el oxígeno disuelto. Para la obtención de la huella gris se hace uso de la ecuación (3) aplicándola de la siguiente manera:

$$HH\ Gris = \frac{(15714953,67L * 1,35\ mg/L) - (31666400L * 6,29\ mg/L)}{6\ mg/L - 7,5\ mg/L}$$

$$HH\ Gris = 118644312,4\ L \rightarrow 118644,3124\ m^3$$

El valor de  $C_{nat}$  es igual al de oxígeno disuelto detectado en la cuenca alta del río Machangara (Alomía Herrera & Chimbo Patiño, 2014), que es el principal abastecedor de agua del campus universitario.

El valor obtenido de huella hídrica gris es de 118644,31 m<sup>3</sup>/año, considerando que este es un volumen ficticio que indica el nivel de contaminación en el agua por medio de un parámetro y la capacidad de esta para diluir el contaminante.

#### 5.1.4 Cálculo de la huella hídrica directa total

La huella hídrica directa se calcula mediante la sumatoria de las 3 huellas (verde, azul y gris) como se demuestra a continuación:

$$HH \text{ directa} = HH \text{ verde} + HH \text{ azul} + HH \text{ gris} \quad (17)$$

$$HH \text{ directa} = 16,15 \text{ m}^3 + 13722,68 \text{ m}^3 + 118644,3124 \text{ m}^3$$

$$HH \text{ directa} = 132383,1424 \text{ m}^3$$

La huella hídrica directa total calculada es de 132383,14 m<sup>3</sup>/año, como se puede observar la huella gris tiene el valor más alto, que corresponde al 89,62% del valor de la huella directa. Este volumen ficticio si bien no forma parte del cálculo del balance hídrico, es importante debido a que es un indicador de contaminación del agua.

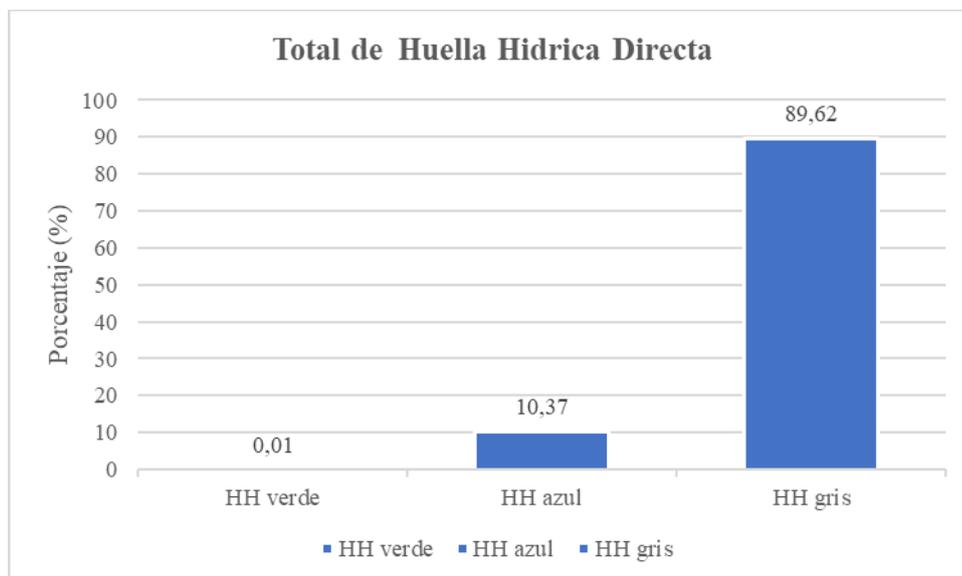


Figura 5-2 Totalidad de huella hídrica directa.  
Fuente: Autores.

## 5.2 CÁLCULO DE HUELLA HÍDRICA INDIRECTA

Para el cálculo de la huella hídrica indirecta, se determinan las huellas referentes a la energía eléctrica y al uso de papel en el predio universitario, así:

### 5.2.1 Cálculo de la huella de energía eléctrica

Para la estimación de la huella de energía eléctrica se considera la ecuación (6), que indica que el valor del consumo de energía debe ser multiplicado por el coeficiente de conversión. En este caso dicho factor depende del porcentaje de energía aportado por la fuente que la abastece, por lo cual es necesario realizar cálculos que están especificados en la Tabla 5-7, para así obtener el valor de la huella en  $m^3$ .

**Tabla 5-7 Cálculo de la huella hídrica asociada al consumo de energía eléctrica.**

Mes	Valor kWh	Valor GJ	Renovable				No renovable	Total $m^3$
			Hidráulica	Eólica	Fotovoltaica	Biogás	Térmica	
1	92427	332,73	4339,95	0,00	0,29	0,64	20,87	4361,74
2	74601	268,56	3502,92	0,00	0,23	0,51	16,84	3520,51
3	81374	292,94	3820,95	0,00	0,25	0,56	18,37	3840,14
4	86802	312,48	4075,82	0,00	0,27	0,60	19,60	4096,28
5	93256	335,72	4378,87	0,00	0,29	0,64	21,06	4400,85
6	91128	328,06	4278,95	0,00	0,28	0,63	20,58	4300,44
7	99715	358,97	4682,16	0,00	0,31	0,69	22,51	4705,67
8	75860	273,09	3562,04	0,00	0,24	0,52	17,13	3579,92
9	77156	277,76	3622,89	0,00	0,24	0,53	17,42	3641,08
10	94649	340,73	4444,28	0,00	0,29	0,65	21,37	4466,60
11	90342	325,23	4242,04	0,00	0,28	0,62	20,40	4263,35
12	82054	295,39	3852,88	0,00	0,26	0,57	18,53	3872,23
TOTAL	1039364	3741,68	48803,75	0,00	3,23	7,16	234,68	49048,82

Fuente: Autores

Se obtuvo el valor de 49048,82  $m^3$ /año como huella hídrica asociada al consumo de energía eléctrica.

### 5.2.2 Cálculo de la huella del papel

Para la determinación de la huella hídrica asociada al uso de papel se debe emplear la ecuación (7), para lo cual los valores se obtienen en razón al peso, número de hojas y paquetes adquiridos en el año. Estos deben multiplicarse entre sí para obtener el gramaje total, posteriormente se aplica la ecuación con el valor de conversión obtenido de la literatura y al final el resultado es la huella total asociada al papel. La Tabla 5-8 muestra los resultados en la obtención de esta huella.

**Tabla 5-8 Cálculo de la huella hídrica asociada al papel.**

<b>Descripción</b>	<b>Peso (gr)</b>	<b>N° de hojas por paquete</b>	<b>Total, de paquetes</b>	<b>Total, gramaje (gr)</b>	<b>Total, gramaje (ton)</b>	<b>Huella hídrica (m<sup>3</sup>)</b>
Papel bond A4	75,00	500	500	18750000	18,75	9721,875
Papel bond membretado A4	75,00	100	3000	22500000	22,5	11666,25
Revistas y publicaciones	80,00	60	6000	28800000	28,8	14932,8
Cuadernos universitarios	60,00	200	14238	170856000	170,856	88588,836
Hojas impresiones	75,00	500	1000	37500000	37,5	19443,75
Hojas refiles	60,00	50	14238	42714000	42,714	22147,209
Hojas ministro	60,00	100	2278	13668000	13,668	7086,858
<b>TOTAL</b>	<b>485,00</b>	<b>1510,00</b>	<b>41254,00</b>	<b>334788000</b>	<b>334,79</b>	<b>173587,58</b>

**Fuente: Autores modificado Castillo, 2014**

Se obtuvo el valor de 173587,58 m<sup>3</sup>/año como la huella hídrica asociada al consumo de papel en el predio universitario, cabe recalcar que el papel contabilizado el de uso académico y de oficinas, casos como el papel de baño o desechables no se incluyen en el estudio.

### **5.2.3 Cálculo de la huella hídrica indirecta total**

Para el cálculo de la huella hídrica indirecta total se realizó una sumatoria de las huellas asociadas al consumo de electricidad y al consumo de papel, obteniendo los siguientes resultados.

$$HH \text{ indirecta} = HH \text{ electricidad} + HH \text{ papel} \quad (18)$$

$$HH \text{ indirecta} = 49048,82 \text{ m}^3 + 173587,58 \text{ m}^3$$

$$HH \text{ indirecta} = 222636,40 \text{ m}^3$$

La huella hídrica indirecta tiene un valor de 222.636,40 m<sup>3</sup>/año, así la huella asociada al papel es mayor que la huella por electricidad, así le corresponde un 77,97% de la totalidad de la huella hídrica indirecta (ver Figura 5-3).

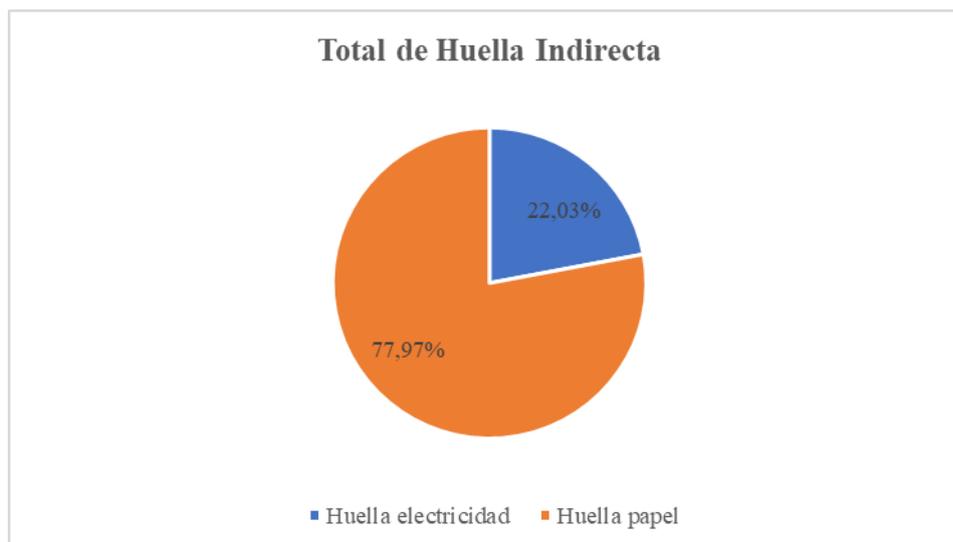


Figura 5-3 *Huella hídrica indirecta.*  
Fuente: Autores

### 5.3 ESTIMACIÓN TOTAL DE LA HUELLA HÍDRICA

Para la estimación del valor total de huella hídrica registrado en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, se utilizó la ecuación (1) que describe la sumatoria de la huella directa más la indirecta como se explica a continuación:

$$HH \text{ Total} = 132383,1424 \text{ m}^3 + 222636,40 \text{ m}^3$$

$$HH \text{ Total} = 355019,5424 \text{ m}^3$$

La huella hídrica total tiene un valor de 355019,54 m<sup>3</sup>/año de la cual un 37,29% es huella directa y un 62,71% es huella indirecta. En la Tabla 5-9 se observa un resumen de los valores de huella hídrica.

**Tabla 5-9 Valores de huella hídrica totales para el año 2018 en la UPS Sede Cuenca**

Huella	Tipo de Huella	Valor [m <sup>3</sup> ]	Total [m <sup>3</sup> ]
HH Directa	HH Verde	16,15	132383,13
	HH Azul	13722,68	
	HH Gris	118644,31	
HH Indirecta	HH Electricidad	49048,82	222636,40
	HH Papel	173587,58	
Total de la HH de la UPS para el año 2018			355019,54

Fuente: Autores

En la Figura 5-4 se muestra la conformación de la huella hídrica calculada en la UPS. En la huella directa la mayor componente es la huella gris, en tanto que en la huella indirecta el mayor componente es la huella de papel, siendo este el mayor componente en general.

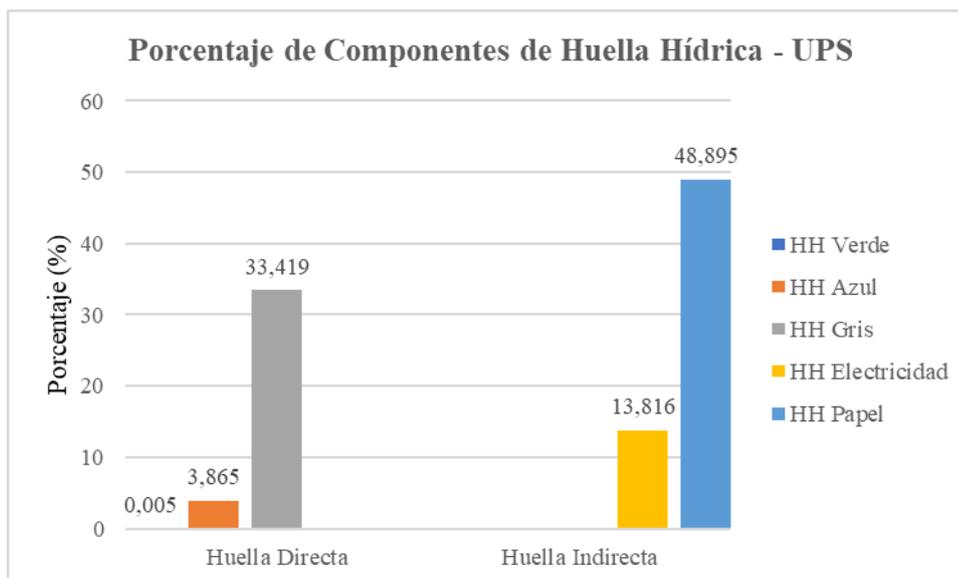


Figura 5-4 Porcentaje de la Huella Hídrica de la UPS.  
Fuente: Autores

### 5.3.1 Huella hídrica per cápita

La huella hídrica per cápita tiene un valor de 45,96 m<sup>3</sup>/persona año, este valor se encuentra desglosado para cada uno de los generadores de huella en la Tabla 5-10. En la Figura 5-5 se observa el porcentaje de huella generado por cada clasificación de consumidores dentro del predio universitario.

Tabla 5-10 Valores de huella hídrica por grupos de población universitaria.

Población	Total	Valor de huella [m <sup>3</sup> /año]
Estudiantes	7119	327169,46
Docentes	296	13603,34
Administrativos	240	11029,73
Servicios	70	3217,01

Fuente: Autores

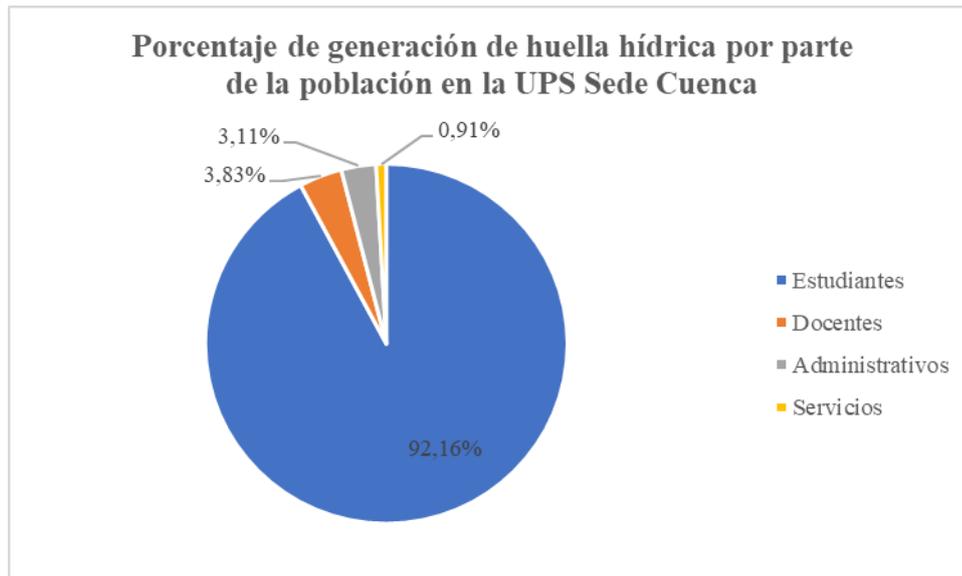


Figura 5-5 Porcentaje de generación de huella por población universitaria.  
Fuente: Autores

Como se muestra, el porcentaje de huella hídrica más alto es el generado por parte de los estudiantes.

#### 5.4 ANALISIS DE SOSTENIBILIDAD

Para el análisis de sostenibilidad se debe tomar en cuenta la disponibilidad de agua de la cuenca, de igual manera la capacidad de asimilación de contaminantes del predio universitario en el volumen de agua. La cuenca alta del río Machángara es la que surte de agua a la planta potabilizadora de Tixan que a su vez abastece al predio universitario.

El siguiente estudio realiza un análisis de las huellas azul y gris desde la dimensión ambiental, debido a la falta de parámetros sociales y económicos dentro del área universitaria. Los cálculos requieren información del escurrimiento natural de la cuenca (caudal del río principal) y el requerimiento ambiental del ecosistema (caudal ecológico) para la obtención de los hotspots ambientales.

Los hotspots ambientales se definen como los periodos de tiempo específicos e irregulares en el año, donde la huella azul o gris es mayor a al valor de disponibilidad real o a la capacidad de asimilación de contaminantes, es decir, periodos en donde la huella es insostenible (Castillo, 2014).

### 5.4.1 Análisis de dimensión ambiental: Huella Azul

Para la realización del análisis se emplearon los datos de caudal del río Machángara (Alomía Herrera & Chimbo Patiño, 2014), los mismos que fueron transformados a m<sup>3</sup>/mes, posteriormente se aplica la regla del 20% propuesta por (Hoekstra et al., 2011) en la que se considera el 20% del escurrimiento natural como agua disponible para el consumo. De este resultado se calcula el volumen destinado para cubrir las necesidades hídricas de la Universidad considerando que la cuenca abastece una población de 540.000 habitantes de los cuales la población universitaria corresponde al 1,43% por lo que se determina la disponibilidad real para este porcentaje. En la Tabla 5-11 se encuentran los valores calculados.

**Tabla 5-11 Valores de escurrimiento y disponibilidad de agua de la cuenca.**

Mes	Caudal [m <sup>3</sup> /s]	Escurrimiento natural [m <sup>3</sup> /mes]	Requerimiento ambiental de la cuenca [m <sup>3</sup> /mes] (80%)	Disponibilidad real de la cuenca [m <sup>3</sup> /mes] (20%)	Disponibilidad real para la UPS [m <sup>3</sup> /mes]
Enero	1,8	4821120	3856896	964224	13788,40
Febrero	1,3	3481920	2785536	696384	9958,29
Marzo	1,5	4017600	3214080	803520	11490,34
Abril	1,5	4017600	3214080	803520	11490,34
Mayo	0,9	2410560	1928448	482112	6894,20
Junio	1,2	3214080	2571264	642816	9192,27
Julio	0,9	2410560	1928448	482112	6894,20
Agosto	0,3	803520	642816	160704	2298,07
Septiembre	0,5	1339200	1071360	267840	3830,11
Octubre	0,5	1339200	1071360	267840	3830,11
Noviembre	1,3	3481920	2785536	696384	9958,29
Diciembre	0,9	2410560	1928448	482112	6894,20
Total	12,6	33747840	26998272	6749568	96518,82

Fuente: Autores.

Para el cálculo del índice de escasez se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de escasez } HH_{\text{azul}} = \frac{\text{Huella Azul (mensual)}}{\text{Disponibilidad real (mensual)}} \quad (19)$$

Según el valor obtenido del índice se establece la comparación de acuerdo con el rango establecido por la misma metodología, así:



Figura 5-6 Rangos para la evaluación de los índices de escasez.  
Fuente: Castillo, 2016

Siendo:

- a) Muy baja escasez de agua azul

- b) Moderada escasez de agua azul
- c) Significativa escasez de agua azul
- d) Severa escasez de agua azul

En la Tabla 5-12 se observan los valores obtenidos para el índice de escasez de la huella azul con los días laborados por cada mes.

**Tabla 5-12 Sostenibilidad ambiental de la huella azul.**

Mes	Disponibilidad de agua UPS [m <sup>3</sup> /mes]	Días hábiles	Huella Azul por mes [m <sup>3</sup> ]	Índice de escasez
Enero	13788,40	24	1314,75	0,95
Febrero	9958,29	19	1040,84	1,05
Marzo	11490,34	21	1150,40	1,00
Abril	11490,34	22	1205,19	1,05
Mayo	6894,20	23	1259,97	1,83
Junio	9192,27	23,5	1287,36	1,40
Julio	6894,20	24	1314,75	1,91
Agosto	2298,07	8,5	465,64	2,03
Septiembre	3830,11	20,5	1123,01	2,93
Octubre	3830,11	24	1314,75	3,43
Noviembre	9958,29	22,5	1232,58	1,24
Diciembre	6894,20	18,5	1013,45	1,47

**Fuente: Autores modificado Castillo,2016**

Como se puede observar existen hotspots ambientales en los meses de agosto, septiembre y octubre, que es un periodo donde la huella azul es insostenible.

#### 5.4.2 Análisis de dimensión ambiental: Huella Gris

Para el análisis de la sostenibilidad de la huella gris, el procedimiento aplicado es similar a la huella azul, ya que se emplean la disponibilidad de agua y los días hábiles. Pero la diferencia radica en el empleo de los valores mensuales de huella gris obteniendo el índice de contaminación, para lo cual se aplica la ecuación 20.

$$Indice\ de\ contaminacion\ HHgris = \frac{Huella\ Gris\ (mensual)}{Disponibilidad\ real\ (mensual)} \quad (20)$$

Los límites de índices de contaminación hídrica también son similares a los de la huella azul, se establecen los mismos colores y se los denomina así:

- a) Muy bajo índice de contaminación hídrica
- b) Moderado índice de contaminación hídrica.
- c) Significativo índice de contaminación hídrica.
- d) Severo índice de contaminación hídrica.

En la Tabla 5-13 se detallan los valores obtenidos para el índice de contaminación hídrica de la huella gris para los días laborados de cada mes.

**Tabla 5-13 Cálculo de la sostenibilidad ambiental de la huella gris.**

Mes	Disponibilidad de agua UPS [m <sup>3</sup> /mes]	Días hábiles	Huella Azul por mes (m <sup>3</sup> )	Índice de Contaminación
Enero	13788,40	24	11367119,7	8,24
Febrero	9958,29	19	8998969,8	9,04
Marzo	11490,34	21	9946229,78	8,66
Abril	11490,34	22	10419859,8	9,07
Mayo	6894,20	23	10893489,8	15,80
Junio	9192,27	23,5	11130304,8	12,11
Julio	6894,20	24	11367119,7	16,49
Agosto	2298,07	8,5	4025854,91	17,52
Septiembre	3830,11	20,5	9709414,78	25,35
Octubre	3830,11	24	11367119,7	29,68
Noviembre	9958,29	22,5	10656674,8	10,70
Diciembre	6894,20	18,5	8762154,81	12,71

**Fuente: Autores modificado Castillo, 2014**

Como se puede observar existen hotspots ambientales en todo el año de análisis, ya que el índice de contaminación, mediante el parámetro de análisis, es muy alto para todos los meses. Lo que indica que la huella hídrica gris es insostenible para la cuenca abastecedora.

## **5.5 RESUMEN DE LA HUELLA HIDRICA Y COMPARACION CON ESTUDIOS SIMILARES**

### **5.5.1 Resumen de la huella hídrica**

Para una mejor interpretación de la información alcanzada se realizó una presentación de la huella hídrica en la UPS Sede Cuenca. Se integraron los indicadores utilizados en el estudio en diferentes gráficos. El diagrama de Sankey (ver Figura 5-7) reúne la información obtenida y la presenta de una forma gráfica siguiendo el flujo del proceso de determinación de la huella hídrica total.

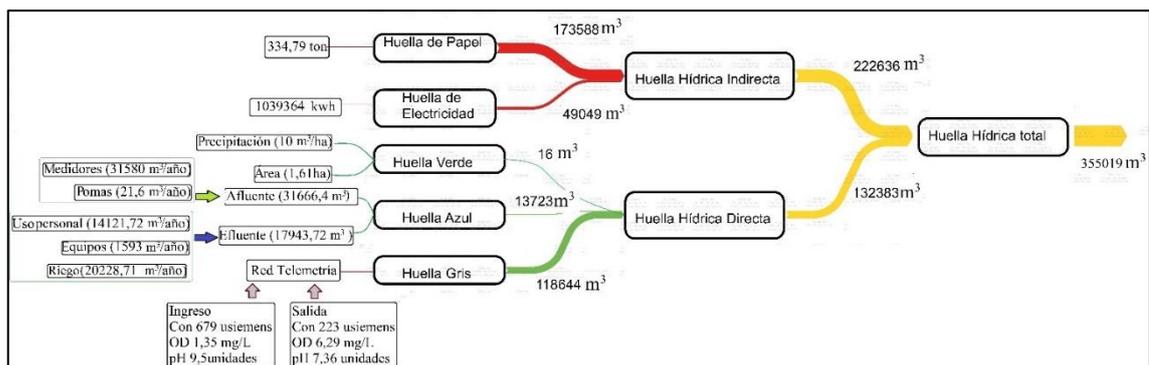


Figura 5-7 Diagrama de sankey para la obtención de la huella hídrica.  
Fuente: Autores

Dentro de la estimación de la huella hídrica total, se muestran los parámetros usados en cada huella directa e indirecta y los valores resultantes de cada proceso.

Se puede observar que la huella de papel que tiene un valor de  $172588 \text{ m}^3$  es la más alta, seguida por la huella gris con un valor de  $118644 \text{ m}^3$  y la huella de electricidad que presenta un valor de  $49949 \text{ m}^3$ . Luego le sigue la huella azul con  $13723 \text{ m}^3$  y la huella verde con un valor de  $16 \text{ m}^3$  que es casi despreciable. Además, la huella indirecta con un valor de  $222636 \text{ m}^3$  es más alta que la huella directa que tiene un valor de  $132383 \text{ m}^3$ , lo que indica que el papel y electricidad dentro del campus deberían tratar de reducirse. Finalmente, estos dos valores de huellas ayudan al cálculo de la huella hídrica total anual, la cual es de  $355019 \text{ m}^3$ .

### 5.5.2 Comparación con estudios similares

Para realizar la comparación del valor obtenido de huella hídrica para la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca con otros casos similares, se utilizan los valores de huella total, huella per cápita, huella por unidad de superficie, huella directa e indirecta, los casos de análisis se observan en la Tabla 5-14.

**Tabla 5-14 Valores de número de personas y áreas de las instituciones en comparación.**

Nº	Institución	Autor	Nº de personas	Área [m <sup>2</sup> ]
1	Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca (UPS Cuenca)	Guamán & Illares, 2019	7.725	69.282
2	Universidad de Córdoba Campus Montería (UCM Colombia)	Contreras & Torres, 2016	17.223	570.000
3	Pontificia Universidad Católica de Perú (PUC Perú)	Castillo, 2014	35.915	413.902
4	Universidad Tecnológica Metropolitana de Chile (UTM Chile)	Barranza, 2012	6.569	58.000

Fuente: Autores.

- **Comparación de huella hídrica total**

Con respecto a la huella hídrica total, se observa (ver Figura 5-8) que la PUC de Perú tiene el valor más alto, mientras que los resultados obtenidos de la UPS Cuenca se encuentran en tercer lugar comparados con las instituciones en mención.

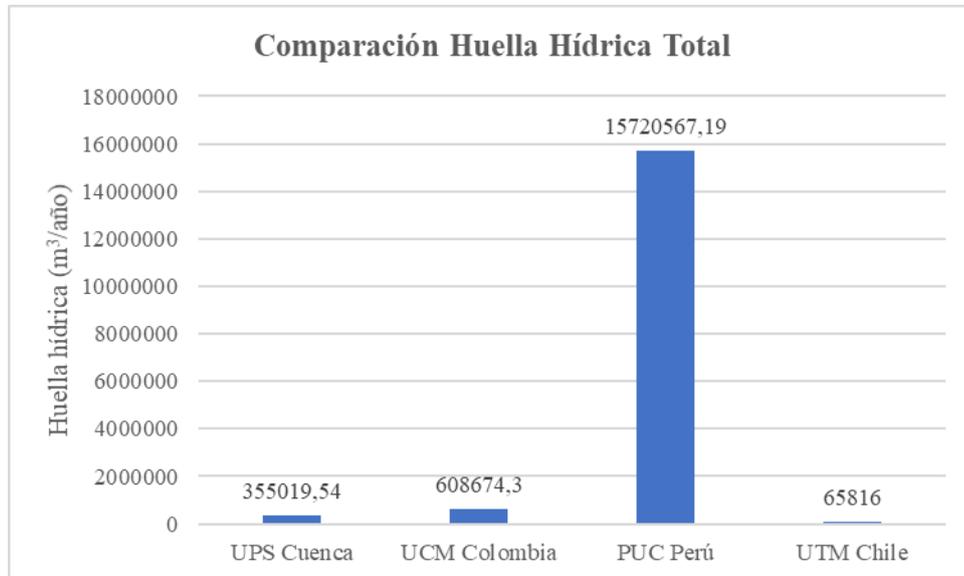


Figura 5-8 Comparación de huella hídrica total.  
Fuente: Autores.

- **Comparación de huella hídrica per cápita**

Con respecto a la huella hídrica per cápita se observa (ver Figura 5-9) que la PUC Perú tiene un valor mayor de huella producida por persona. La UPS Cuenca se encuentra en segundo lugar con respecto a las demás instituciones en comparación. Se produce un contraste entre la UPS Cuenca y la UCM Colombia debido a que la primera presenta un valor mayor de huella per cápita pero tiene una menor población.

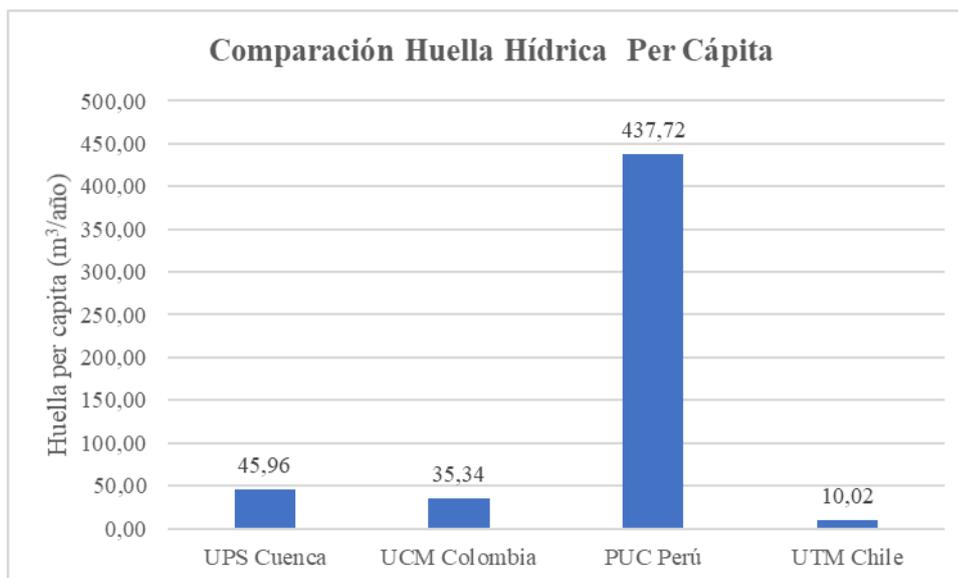


Figura 5-9 Comparación de la huella hídrica per cápita.  
Fuente: Autores

- **Comparación de huella hídrica por área geográfica**

Al realizar la comparación entre las huellas producidas por m<sup>2</sup> de territorio de cada institución se observa (ver Figura 5-10) que la PUC Perú registra el valor más alto debido a que tiene el mayor territorio. Mientras que la UPS Cuenca se encuentra en segundo lugar respecto a las demás instituciones en mención. Se produce un contraste debido a que la UPS Cuenca posee una menor área con relación a la UCM Colombia que ocupa el tercer lugar.

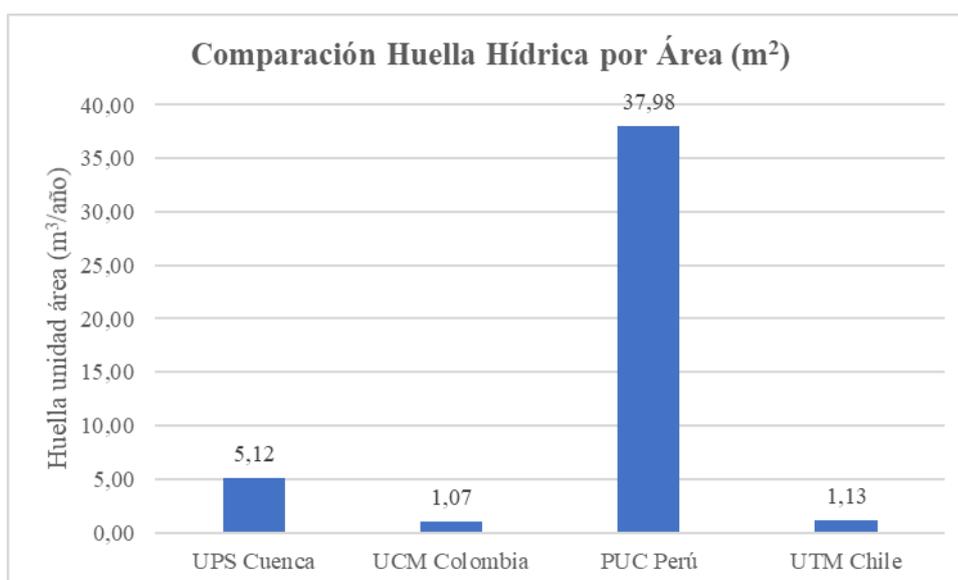


Figura 5-10 Comparación de la huella hídrica por área.  
Fuente: Autores.

- **Comparación de la huella hídrica directa**

Con respecto a la huella hídrica directa, se compararon los valores de huella verde, gris y azul producidos en cada una de las instituciones (ver Figura 5-11). Se puede observar que la PUC Perú registra el valor de huella gris más alto, esto debido a que su análisis se realizó con el parámetro de la “demanda biológica de oxígeno” (DBO) que tiene valores más altos, además de presentar una contaminación excesiva por este parámetro por lo que necesita un mayor volumen de agua para diluir el contaminante. Por otra parte la UPS Cuenca ocupa el segundo lugar en el valor de la huella gris respecto a las demás instituciones que intervienen en la comparación.

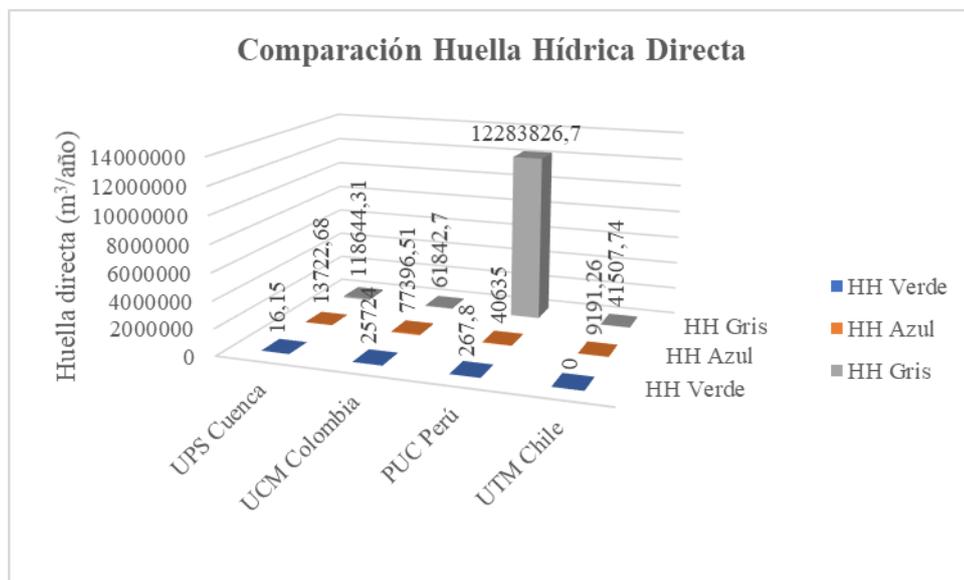


Figura 5-11 Comparación de los componentes de la huella hídrica directa.  
Fuente: Autores.

- **Comparación de huella hídrica indirecta**

Para establecer la comparación entre la huella hídrica indirecta se comparó el valor de huella producido por el consumo de energía eléctrica y el uso de papel (ver Figura 5-12). Se observa que la PUC Perú registra el mayor valor de huella por uso de papel. Mientras que la UPS Cuenca se localiza en segundo lugar con relación a las demás instituciones que intervienen en la comparación.

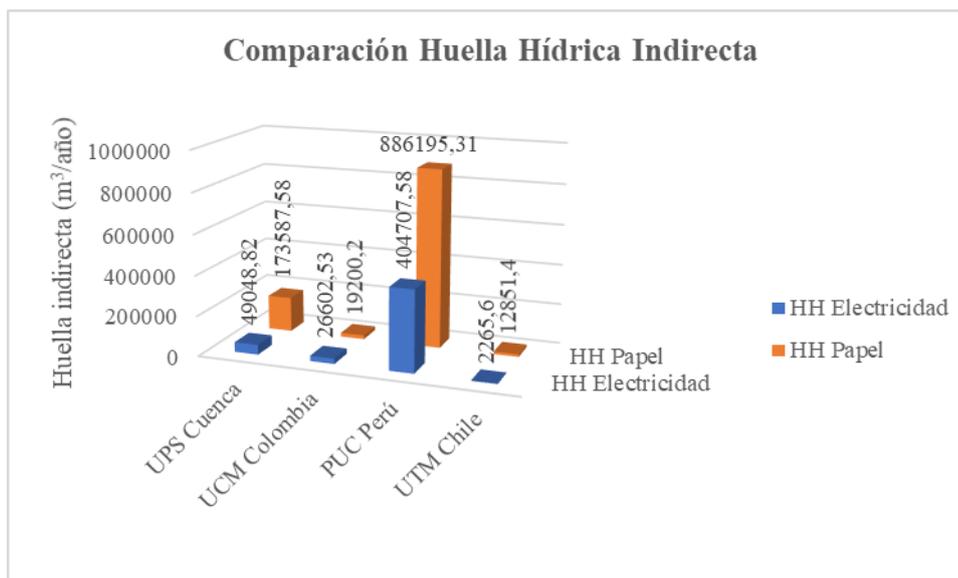


Figura 5-12 Comparación de los componentes de la huella hídrica indirecta.  
Fuente: Autores

- **Resultados**

Estableciendo las diferentes comparaciones se determina que la UPS Sede Cuenca ocupa el tercer lugar con relación a la huella hídrica total, mientras que con relación a los demás valores de huella comparados ocupa el segundo lugar, esta diferencia se debe a que la UPS Sede Cuenca posee un área geográfica menor y un número de consumidores menor con respecto a la PUC Perú y a la UCM Colombia. Se determina entonces que la UPS Cuenca tiene un valor de huella hídrica que puede mejorarse de manera importante.

## 5.6 FORMULACIÓN DE RESPUESTAS Y RECOMENDACIONES

Para la formulación de respuestas se consideran los valores significativos obtenidos de huella según el análisis de los porcentajes de cada componente de esta y también se analizan los hotspots ambientales obtenidos del análisis de sostenibilidad.

- **Respuestas a los valores de huella significativos**

Los valores de huella que son considerados son de la huella hídrica (HH) azul, HH gris, HH de electricidad y de HH de papel, la HH verde de no se toma en consideración debido a que no es significativa. En la Tabla 5-15 se pueden observar las respuestas dadas a cada una de las huellas.

**Tabla 5-15 Formulación de respuestas a los valores de huella hídrica obtenidos.**

<b>Tipo de Huella Hídrica</b>	<b>Respuesta / Recomendación</b>
Huella Azul	<p>- Dentro del análisis de agua de consumo dentro predio se pudo determinar que el problema más significativo es el de las descargas de baterías sanitarias por lo que se propone el reemplazo de baterías viejas o la instalación de mecanismos que disminuyan el volumen de la descarga.</p> <p>- En cuanto al uso de agua para aseo personal se propone la instauración de un régimen de reducción de consumo en el lavado de manos y el reemplazo de lavaderos automáticos o manuales por lavaderos con sensores de presencia ya que estos pueden controlar la cantidad de agua a utilizar de forma optima</p> <p>- Con respecto al riego, se propone estudiar la implementación de sistemas automatizados que controlan tanto los parámetros de necesidades vegetales y el caudal de agua necesario para esta labor.</p>
Huella Gris	<p>- Con el análisis del índice de calidad de agua se pudo observar que existe un problema grave de contaminación en las cisternas que surten de agua al edificio Cornelio Merchán, por lo que se advierte de una especial atención, y se considera que el mantenimiento debe ser frecuente.</p>
Huella de Electricidad	<p>- En el análisis se pudo observar que existe gran consumo de energía eléctrica en el predio por lo que se plantea la creación de un Grupo de Gestión de Energía para instaurar políticas que busquen reducir este consumo.</p> <p>- Según los autores (J. P. Pesàntez &amp; Cueva, 2016) pueden realizarse mejoras mediante una cultura de cambio o a su vez un cambio de tecnología de menor consumo en cuanto a luminarias, siendo aplicables a los sectores más críticos del predio. Se busca además mejorar el hábito de uso de instalaciones.</p> <p>- La participación ocasional de un experto externo en energía es necesaria para la identificación y definición de acciones de ahorro en lugares donde no se ha intervenido mediante una auditoría energética (Escriva, Roldan-Blay, Roldan-Porta, &amp; Serrano, 2019).</p> <p>- Desarrollo de sistemas de eficiencia energética digital que permitan optimizar el consumo de energía, así mismo los sistemas de iluminación inteligente que interactúan con la luz natural y garantizan un 70% de ahorro (F. Pesàntez, Valdez, Serrano, Orozco, &amp; Escrivà, 2017).</p>
Huella de Papel	<p>- Para el caso del papel se puede observar que es el registro más alto de huella por lo que se requiere de medidas urgentes para minimizar su utilización. La introducción de un régimen de reciclaje y una política de 0 papel pueden mitigar el alto consumo existente.</p>

**Fuente: Autores.**

- **Respuestas a los hotspots ambientales obtenidos**

Con respecto a los hotspots ambientales de la huella azul se puede observar que el problema se produce posterior al periodo seco en donde la cuenca busca estabilizarse ambientalmente por lo que se ve necesario minimizar el consumo de agua en este periodo, y de esta manera disminuir su afección.

En el caso de la huella gris se determina que los niveles de contaminación son insostenibles para la cuenca por lo que es necesario minimizar las labores que alteren los parámetros de calidad de agua en todo el año en general. Tomando medidas o implantando políticas para reducir los niveles de contaminación del agua desde el campus universitario.

# **CAPÍTULO 6 : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En el presente capítulo se da a conocer las conclusiones y recomendaciones al término del proyecto de titulación.

## **6.1 CONCLUSIONES**

Luego de realizar el trabajo de investigación, se logró calcular la huella hídrica de la Universidad Politécnica Salesiana mediante la recolección de datos consumo, uso y contaminación del agua, el análisis de variables climáticas y la utilización redes de telemetría para determinar la calidad del agua. Además se pudo estimar el valor de los componentes de la huella, su sostenibilidad ambiental y el planteamiento de soluciones para la disminución de consumo de agua.

La obtención de datos de consumo de agua se realizó mediante una inspección dentro del campus universitario con la finalidad de obtener un levantamiento de información. Con estos datos se pudo determinar que el mayor consumo se da en el mes de enero, lo que se puede observar en el apartado 3.3.1. Para determinar el edificio de mayor consumo se realizó un inventario de equipos que hacen uso de agua para su funcionamiento. Lo que dio como resultado que el edificio Cornelio Merchán cuenta con un mayor número de equipos debido a que en este edificio funcionan los laboratorios de Mecánica y de Ciencias de la Vida.

Para determinar el consumo de agua potable, se realizó una identificación de usos críticos significativos mediante el procesamiento de encuestas obteniendo como

resultados que los usos más representativos son: descargas de baterías sanitarias, riego, aseo y consumo personal. Además, haciendo uso de un medidor de lectura de flujo (caudalímetro ultrasónico) se identificó el perfil de consumo en un día, siendo la hora crítica de consumo las 13:00 con un caudal de 2120 L/h de acuerdo con la figura 3-21. Posteriormente gracias a los diferentes métodos de recolección de datos de uso y consumo mencionados anteriormente, se pudo obtener el componente inicial para el análisis de la huella hídrica, denominado huella azul.

Otro componente significativo para el análisis de la huella hídrica es el cálculo de la huella verde en el cual intervienen dos variables, por un lado el reconocimiento de cobertura de áreas verdes y por otro el análisis de variables climáticas. El reconocimiento de áreas verdes se realizó mediante el procesamiento de imágenes aéreas, las cuales ocupan un 23,30% de la superficie total del campus universitario. Mediante una inspección visual se determinó que el tipo de vegetación predominante que el kicuyo y las plantas ornamentales con y sin flor. El análisis de variables climáticas tomadas de la estación UPS INER evidencia que en el campus existe un clima estable; con épocas húmedas marcadas en los meses de marzo abril, mayo, octubre, noviembre y diciembre; por otro lado, las épocas secas se presentan en los meses de junio, julio y agosto.

Para el presente proyecto se implementó una red de telemetría que sirve para recopilar, almacenar y visualizar los parámetros de pH, oxígeno disuelto y conductividad de agua. Con estos datos se calculó la huella gris que es un componente de la huella hídrica total. Además, se diseñó una plataforma web que facilita la interpretación y acceso a los datos adquiridos por la red.

Se logró validar la información proporcionada por la red mediante la comparación entre los datos adquiridos de la plataforma web y los datos analizados en un laboratorio externo, dando en general un error de 6,24%. Al analizar el error por separado entre el nodo de desfogue y el nodo ingreso, se observó que el primero presenta un valor mayor considerable, debido a que el flujo de agua en este punto es muy variable y además el agua residual llega con muchos sedimentos.

El índice de calidad del agua calculado con los datos de la red de telemetría es de 0,53 unidades, entonces, en base a los criterios establecidos por el “IDEAM” (“Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales”), el agua almacenada en los

tanques reservorios se cataloga como REGULAR. Este resultado indica que es necesario tomar medidas para mejorar el índice de calidad; por simple inspección se observó que los tanques de reserva necesitan mantenimiento y limpieza. Incluso se pudo evidenciar que los sensores que permanecieron sumergidos en el agua tomaron una coloración café debido a las sustancias contaminantes que se encuentran en el agua.

Se realizó un análisis de consumo de energía eléctrica y de papel que ayudó al cálculo de la huella hídrica indirecta. La huella hídrica total se obtuvo de la suma de la huella azul, gris, verde y la huella indirecta. La huella hídrica total calculada es 355019,54 m<sup>3</sup>/año.

El análisis de la huella hídrica calculada muestra que la huella producida por el consumo del papel es la más alta en el campus seguida de la huella gris. La sostenibilidad se analizó únicamente desde la dimensión ambiental debido a la inexistencia de datos de tipo social y económico. Se obtuvo que la huella azul es insostenible en los meses de agosto, septiembre y octubre, mientras que, la huella gris es insostenible para la cuenca proveedora durante todo el año.

Se realizó una comparación de los obtenidos con los resultados de cuatro universidades a nivel de Latinoamérica. La comparación dio como resultado que los valores de la huella hídrica de la Universidad Politécnica Salesiana son preocupantes ya que con relación al número de consumidores y al área geográfica resulta mayor, ocupando el segundo lugar entre los centros de estudios citados en la comparación. No así el caso del valor de la huella hídrica total que se localiza en tercer lugar en la comparación realizada.

Finalmente, con los resultados logrados en el trabajo de investigación se han cumplido con los objetivos planteados al inicio para el proyecto, dando resultados que pueden ser empleados en estudios posteriores. Además, la red de telemetría que permanece instalada entrega datos en tiempo real de la calidad del agua que está circulando en el campus y de la que se está enviando al sistema de alcantarillado. Esta monitorización provee datos para posibles acciones de mejora que contribuyen al cuidado del medio ambiente y la salud de las personas.

## 6.2 RECOMENDACIONES

- Para el trabajo de investigación se empleó la tecnología Zigbee. Si se desea instalar más nodos para el monitoreo de calidad de agua en distintos puntos del campus, se podría utilizar nodos que formen enlaces entre ellos para aumentar el alcance de los nodos finales. Cabe recalcar que la tecnología aplicada es mayormente usada en domótica por la baja tasa de datos con la finalidad de tener el menor consumo energético posible y abaratar costos. En este caso se usó para la red de telemetría funcionando de manera exitosa, si se desea mejorar la tasa de transmisión de datos se puede usar tecnologías alternativas como wi-fi o combinar las dos tecnologías.
- Es recomendable realizar una recalibración de los sensores cada 3 meses aproximadamente para asegurar que estos se encuentren censando de forma adecuada las señales de calidad de agua. Además, se recomienda cambiar los sensores de pH de cada nodo sensor por uno de más alta gama como es el caso de Atlas Scientific que tienen elementos de mayor precisión.
- Con respecto al análisis de huella hídrica se recomienda tomar en cuenta las estrategias planteadas en la formulación de respuestas ya que con eso se conseguirá un manejo más óptimo del agua dentro del campus universitario, así mismo se recomienda tener un mejor manejo de los tanques de reserva de agua potable ya que se observa que la calidad del agua no es óptima.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aakvaag, N., & Frey, J.-E. (2006). *Redes de sensores inalámbricos Nuevas soluciones de interconexión para la automatización industrial.*
- Agua org. (2016). Sustentabilidad – Agua.org.mx. Retrieved March 6, 2019, from <https://agua.org.mx/sustentabilidad/>
- Alomía Herrera, I. M., & Chimbo Patiño, J. M. (2014). Aplicación de una metodología para evaluar el caudal ambiental en dos proyectos hidroeléctricos de alta montaña en Ecuador: presas El Labrado y Chanlud de la microcuenca del río Machángara, provincias de Azuay Y Cañar. Retrieved from <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/8810>
- Ambientum. (2016). El consumo de agua en porcentajes - Enciclopedia Medioambiental. Retrieved March 6, 2019, from [https://www.ambientum.com/enciclopedia\\_medioambiental/aguas/el-consumo-de-agua-en-porcentajes.asp](https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/el-consumo-de-agua-en-porcentajes.asp)
- Andre. (2017). HTML Hyper Text Markup Language. *Https://Duniailkom.Com/Belajar-Html-Pengertian-Html/*, (November), <https://duniailkom.com/belajar-html-pengertian-htm>.
- Andreu Joaquin. (2011). *Redes inalámbricas (Servicios en red)* - Joaquín Andreu - Google Libros.
- AQUASTAT-FAO. (2005). Información sobre la disponibilidad de agua para Ecuador. Retrieved May 10, 2018, from <https://www.greenfacts.org/es/recursos-hidricos/figtableboxes/aquastat55.htm>
- Atlas Scientific. (2018a). EZO-DO. Retrieved from [https://www.atlas-scientific.com/\\_files/\\_datasheets/\\_circuit/DO\\_EZO\\_Datasheet.pdf?](https://www.atlas-scientific.com/_files/_datasheets/_circuit/DO_EZO_Datasheet.pdf?)
- Atlas Scientific. (2018b). ORP Probe. Retrieved from [https://www.atlas-scientific.com/\\_files/\\_datasheets/\\_probe/orp\\_probe.pdf](https://www.atlas-scientific.com/_files/_datasheets/_probe/orp_probe.pdf)
- Atlas Scientific. (2018c). pH Probe. Retrieved from [https://www.atlas-scientific.com/\\_files/\\_datasheets/\\_probe/pH\\_probe.pdf](https://www.atlas-scientific.com/_files/_datasheets/_probe/pH_probe.pdf)
- Barranza, C. (2012). *Estimacion de la huella hidrica para la Universidad Tecnologica Metropolitana de Chile.*
- Bibing. (2009). *CAPÍTULO 2: REDES INALÁMBRICAS DE AREA PERSONAL (WPAN) 2.1 Introducción a las WPAN.* Retrieved from

- <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11761/fichero/Volumen1%252F6-Capítulo2+-+Redes+inalámbricas+de+área+personal+%28WPAN%29.pdf>
- Bonnet, J.-F., Devel, C., Faucher, P., & Roturier, J. (2002). Analysis of electricity and water end-uses in university campuses: case-study of the University of Bordeaux in the framework of the Ecocampus European Collaboration. *Journal of Cleaner Production*, 10(1), 13–24. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(01\)00018-X](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(01)00018-X)
- Cardenas Guaraca, P. C. (2018). Diseño y construcción de un prototipo para minimizar el desperdicio de agua en tuberías de agua caliente.
- Carvajal londoño Adela Londoño, Inés, G., Gómez, G., Alexánder, A., Gallego, G., & Serna, M. I. (2010). *MÉTODOS ANALÍTICOS PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA ADELA LONDOÑO CARVAJAL Ingeniera Química GLORIA INÉS GIRALDO GÓMEZ Ingeniera Química ÁDAMO ALEXÁNDER GUTIÉRREZ GALLEGO NACIONAL DE COLOMBIA 2010 © 2 0 1 0 UNIVERSIDAD NACIONAL DE C.*
- Castillo, M. (2014). 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.
- Castleden, H. (2014). *CONNECTING COMMUNITY-BASED WATER MONITORING WITH ENVIRONMENTAL MANAGEMENT AND STEWARDSHIP IN CANADA.*
- Cheng, C. L., & Hong, Y. T. (2004). Evaluating water utilization in primary schools. *Building and Environment*, 39(7), 837–845. <https://doi.org/10.1016/J.BUILDENV.2004.01.006>
- Chuquimarca Carrión, J. A. (2016). La huella hídrica del bambú gigante (*Dendrocalamus asper*) como indicador de sustentabilidad en la construcción. Retrieved from <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/5420>
- Conagua. (2015). Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Datos Básicos Para Proyectos de. Retrieved from [www.conagua.gob.mx](http://www.conagua.gob.mx)
- Contreras, Y., & Torres, C. (2016). Cuantificación de la huella hídrica en las instalaciones de la universidad de cordoba campus Monteria para el año 2014., 1–65.
- Deleg, D., Octavio, M., Farez, U., & Carlos, J. (2016). Analisis de la curva de demanda de potencia electrica de red debido a la incorporacion de generacion fotovoltaica en el edificio Cornelio Merchan de la Universidad Politecnica Salesiana.

- Di Francesco, M. (2012). *The IEEE 802.15.4 Standard and the ZigBee Specifications Course T-110.5111 (Computer Networks II-Advanced Topics) Lecture about Wireless Personal Area Networks*. Retrieved from <http://www.cse.tkk.fi/fi/opinnot/T-110.5111/2012/luennot-files/t-110.5111-wlan-2012.pdf>
- Diario El Comercio. (2015). Ecuador consume más agua en la región :: Planeta :: EL COMERCIO. Retrieved May 10, 2018, from <http://especiales.elcomercio.com/planeta-ideas/planeta/noviembre-14-del-2015/ecuador-consume-mas-agua-en-la-region>
- Diario El Telegrafo. (2012). El Telégrafo - El desperdicio de agua en Cuenca llega al 60%. Retrieved from <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/regional/1/el-desperdicio-de-agua-en-cuenca-llega-al-60>
- Diario El Universo. (2017). INEC midió la calidad de agua que consumen los ecuatorianos | Ecuador | Noticias | El Universo. Retrieved from <https://www.eluniverso.com/noticias/2017/05/16/nota/6186154/inec-midio-calidad-agua-que-consumen-ecuatorianos>
- Duran de la Fuente, H. (2017). POLITICAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SUSTENTABLE. Retrieved April 23, 2018, from <https://www.cepal.org/publicaciones/xml/6/4496/duran.htm>
- EcuRed. (2015). Calidad del Agua - EcuRed. Retrieved June 27, 2018, from [https://www.ecured.cu/Calidad\\_del\\_Agua](https://www.ecured.cu/Calidad_del_Agua)
- Escriva, G., Roldan-Blay, C., Roldan-Porta, C., & Serrano, X. (2019). Occasional Energy Reviews from an External Expert Help to Reduce Building Energy Consumption at a Reduced Cost.
- ETAPA EP. (2018). ETAPA EP - Servicios de Telefonía, Televisión, Internet, Agua Potable, Alcantarillado de Cuenca - Ecuador &gt; Productos y servicios &gt; Agua potable &gt; Agua Potable. Retrieved April 23, 2018, from <http://www.etapa.net.ec/Agua-potable/Potabilizacion/Informacion-General>
- Evrendilek, F. (2009). Odemis, B., Evrendilek, F. 2007. Monitoring water quality and quantity of national watersheds in Turkey. *Environmental Monitoring & Assessment* 133: 215-229.
- FAO. (2015). FAO - Noticias: Los suelos están en peligro, pero la degradación puede revertirse. Retrieved April 23, 2018, from <http://www.fao.org/news/story/es/item/357165/icode/>

- FAO. (2017). Agua y Cultivos. Retrieved March 5, 2019, from <http://www.fao.org/3/Y3918S/y3918s02.htm>
- García, I., & Toro, J. (2013). *Evaluación de la huella hídrica generada por los sectores comerciales y de vivienda del barrio La Florida (Bogotá, DC)*. Universidad de Bogotá.
- Gildardo Manco Silva, D., Guerrero Erazo, J., & María Ocampo Cruz, A. (2012). EFICIENCIA EN EL CONSUMO DE AGUA DE USO RESIDENCIAL, 11(21). Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v11n21/v11n21a03.pdf>
- Gobierno de Aragón. (2017). Uso eficiente del Agua - Buenas Prácticas - Abastecimiento de Agua Potable - Instituto Aragonés del Agua - Departamentos y Organismos Públicos - Gobierno de Aragón. Retrieved April 23, 2018, from [http://www.aragon.es/DepartamentosOrganismosPublicos/Organismos/InstitutoAragonesAgua/AreasTematicas/01\\_AbastecimientoAguaPotable/ci.07\\_Buenas\\_Practicas.detalleDepartamento?channelSelected=0](http://www.aragon.es/DepartamentosOrganismosPublicos/Organismos/InstitutoAragonesAgua/AreasTematicas/01_AbastecimientoAguaPotable/ci.07_Buenas_Practicas.detalleDepartamento?channelSelected=0)
- Gobierno de Mendoza. (2016). Aquabook. Retrieved March 6, 2019, from [http://aquabook.agua.gob.ar/1024\\_0](http://aquabook.agua.gob.ar/1024_0)
- Guaman, J. P. (2018). *ESTIMACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA, PARA LA SECRETARÍA DEL AGUA PLANTA CENTRAL QUITO*. Quito - Ecuador.
- Haverbeke, M. (2018). *Eloquent JavaScript 3rd edition*.
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual*. Washinton, USA.
- Jervez Cobo, R., & Armijos Arcos, F. (2016). Análisis y revisión de la red de monitoreo de calidad del aire de la ciudad de Cuenca - Ecuador. *La Granja*, 23(1), 25–34. <https://doi.org/10.17163/lgr.n23.2016.03>
- Jiménez, K. M., Yaguache, J. V. O., & Escalante, M. G. T. (2017). Especialización productiva mediante un proceso de selección multicriterio, que considere la huella hídrica de los productos en la provincia de Loja, Ecuador. *Revista Ciencias Estratégicas*, 25(37), 181–210. <https://doi.org/10.18566/rces.v25n37.a10>
- Jumapam. (2018). Distribución de Agua en el Planeta | Jumapam. Retrieved March 5, 2019, from <http://jumapam.gob.mx/cultura-del-agua/distribucion-de-agua-en-el-planeta/>
- Lenntech. (2018). FAQ-contaminacion-del-agua-lenntech. Retrieved March 6, 2019, from <https://www.lenntech.es/faq-contaminacion-agua.htm>
- Llerena Llerena, S. G., & DT. Victoria Molina Torres, M. (2014). LA HUELLA

- HÍDRICA DE AMBATO Y EL DERECHO DE VIVIR EN UN AMBIENTE SANO Y ECOLÓGICAMENTE EQUILIBRADO. Retrieved from <http://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/7891>
- Manco-Silva, D., Guerrero-Eraza, J., & Morales-Pinzón, T. (2017). WATER DEMAND ESTIMATION IN EDUCATION CENTERS: A CASE STUDY IN ENVIRONMENTAL SCIENCE FACULTY OF TECHNOLOGICAL UNIVERSITY OF PEREIRA, COLOMBIA. *Luna Azul - Universidad de Caldas*, 44, 153–164. <https://doi.org/10.17151/luaz.2017.44.9>
- MCI electronics. (2018). ¿Que es Arduino? ~ Arduino.cl - Plataforma Open Source para el desarrollo de prototipos electrónicos. Retrieved April 3, 2019, from <http://arduino.cl/que-es-arduino/>
- Mora, S. L. (2018). *HTML5 and CSS3-The Future of the Web Programming CSS*.
- Mozaquites Ledezma, J. (2010). MEcANISMoS E INSTRUMENToS pARA EL MoNIToREo DE LA cALIDAD DEL AGUA. *Gestion Del Agua En Cuencas Transfronterizas*. Retrieved from [http://lasa.ciga.unam.mx/monitoreo/images/biblioteca/29\\_mecanismos\\_monitoreo\\_calidad\\_agua.pdf](http://lasa.ciga.unam.mx/monitoreo/images/biblioteca/29_mecanismos_monitoreo_calidad_agua.pdf)
- ONU. (2018). Agua | Naciones Unidas. Retrieved March 6, 2019, from <http://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html>
- Ordieres, J., Javier Martínez De Pisón Ascacibar, F., & González-Marcos, A. (2009). *Redes Inalámbricas de sensores: teoría y aplicación práctica. HOSHIN KANRI View project Improve classification method of tremor levels and activities View project*.
- Organización Mundial de la Salud. (2017). OMS | Agua. WHO. Retrieved from <http://www.who.int/topics/water/es/>
- Ortiz, C. (2018). *Medicion de la Huella Hidrica de la Universidad Politecnica Salesiana Campus Sur*. Universidad Politecnica Salesiana.
- Pérez A., S. I. (2012). Evaluación y análisis de la huella hídrica y agua virtual de la producción agrícola en el Ecuador. Escuela Agrícola Panamericana,Zamorano,. Retrieved from <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=zamodig.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=000781>
- Perez, V., Salinas, G., Cañizares, F., & Fernandez, G. (2017). CAPACITACIÓN VIRTUAL MASIVA ABIERTA Y LA CULTURA DE AHORRO DEL AGUA

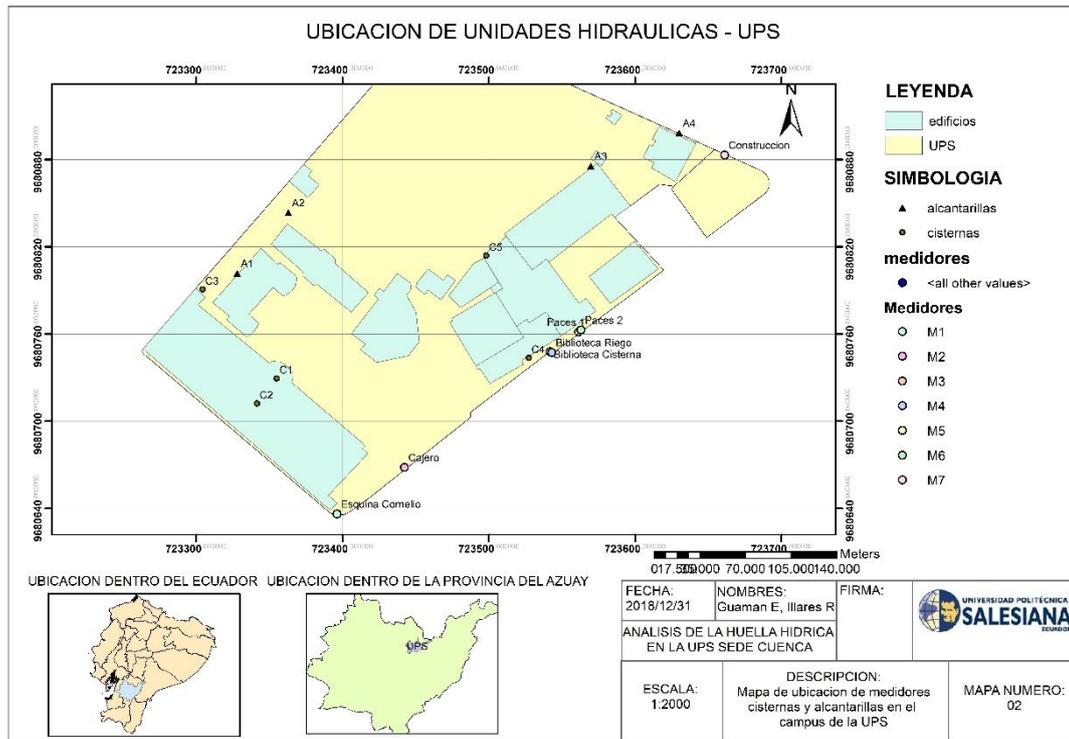
- POTABLE. *Mikarimin. Revista Científica Multidisciplinaria ISSN 2528-7842*, 109–116.
- Pesàntez, F., Valdez, A., Serrano, X., Orozco, W., & Escrivà, G. (2017). A Digital Control System for Lighting Energy Consumption Efficiency ( LECE ), (Ropec).
- Pesàntez, J. P., & Cueva, D. (2016). *Elaboracion y evaluacion de medidas de ahorro energetico para el edificio Cornelio Merchan*. Universidad Politecnica Salesiana.
- Pradillo, B. (2018). Huella hídrica, indicador del agua que consumimos. Retrieved April 23, 2018, from <https://www.iagua.es/blogs/beatriz-pradillo/huella-hidrica-indicador-agua-que-consumimos>
- Ramírez Cando, L. J., Vilches, R., Lizano Acevedo, R. X., Pinzón Colmenares, I. E., & Sandoval Mena, E. L. (2017). Estimación de la Huella Hídrica y de Carbono en los cultivos comunitarios de Quínoa (*Chenopodium quinoa wild*) correspondientes a la zona central de los andes ecuatorianos. *Anales Científicos, ISSN-e 2519-7398, Vol. 78, N°. 2, 2017 (Ejemplar Dedicado a: Julio a Diciembre)*, Págs. 173-182, 78(2), 173–182. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6232131>
- Ramón Tania, & D. J. (2014). *ANÁLISIS DE COSTO DE PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE Y EL INDICE DE PERDIDAS POR AGUA NO CONTABILIZADA, EN LAS PLANTAS DE PRODUCCION TOMBAMBA Y MACHANGARA DE LA ETAPA EP*.
- Reyes Guerrero, J. C. (2017). *REDES DE SENSORES INALÁMBRICAS*. - PDF. Retrieved April 3, 2019, from <https://docplayer.es/40686040-Redes-de-sensores-inalambricas.html>
- Rivas Francisco. (2010). Acuerdos de monitoreo de calidad del agua en Estados Unidos de Norte América: Estado del Arte.
- Ruiz de Galarreta, A. (2013). La importancia del manejo sustentable del agua | UNICEN. Retrieved March 6, 2019, from <https://www.unicen.edu.ar/content/la-importancia-del-manejo-sustentable-del-agua>
- Salazar, J. (2016). *REDES INALÁMBRICAS*.
- Samuel Segnini, M. M. C. (2005). No Title *CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL HÁBITAT INTERNO Y RIBEREÑO DE RÍOS ANDINOS EN LA CORDILLERA DE MÉRIDA, VENEZUELA*.
- Sanchez, L. (2015). El futuro del agua, en manos de los sistemas inteligentes de gestión - Diario de Mallorca. Retrieved May 10, 2018, from

- <http://www.diariodemallorca.es/sociedad/2017/09/08/futuro-agua-manos-sistemas-inteligentes/1246294.html>
- Serrano, X., Narváez, M., Urigüen, C., & Escrivá-escrivá, G. (2016). QUANTITATIVE ASSESSMENT OF HYBRID SYSTEMS OF HEATING DOMESTIC WATER BASED ON SOLAR. <https://doi.org/10.1109/UPEC.2016.8114015>
- Sierra Ramirez, C. A. (2011). *Calidad del agua. Evaluacion y diagnostico*. (Universidad de Medellin, Ed.) (1° Edicion). Medellin-Colombia. Retrieved from <https://bibliotecas.ups.edu.ec:2708/lib/bibliotecaupssp/reader.action?docID=3198982&query=calidad+del+agua&ppg=1>
- unicef. (2013). *Chapter 5. MONITORING AND EVALUATION*.
- Universidad de Pamplona. (2015). Fuentes de Aguas Naturales. *Universidad de Pamplona*. Retrieved from [http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home\\_1/recursos/noticias\\_2015/julio/02072015/uso\\_racional\\_agua.pdf](http://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home_1/recursos/noticias_2015/julio/02072015/uso_racional_agua.pdf)
- Universitaria de Ingeniería Técnica de Telecomunicaciones U.L.P.G.C. (2016). *ANÁLISIS DE DATOS Y TEORIA DE ERRORES*.
- Vazquez Emiliano. (2017). Contaminación del agua: causas, consecuencias y soluciones – Agua.org.mx. Retrieved March 6, 2019, from <https://agua.org.mx/contaminacion-del-agua-causas-consecuencias-soluciones/>
- Water Footprint Networt. (2011). Manual de Evaluacion de la Huella Hidrica. *Huella de Ciudades*.
- Water org. (2005). Decenio Internacional para la Acción “El agua, fuente de vida” 2005-2015. Áreas temáticas: Escasez de agua. Retrieved from <https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/scarcity.shtml>
- Zarate, E., & Kuiper, D. (2013). Evaluación de Huella Hídrica del banana para pequeños productores en Perú y Ecuador [Water Footprint Assessment of Bananas Produced y Small Banana Producers in Peru and Ecuador]. Retrieved from <http://www.musalit.org/seeMore.php?id=15056>
- ZigBee Specification*. (2012).

# ANEXOS

## ANEXO 1

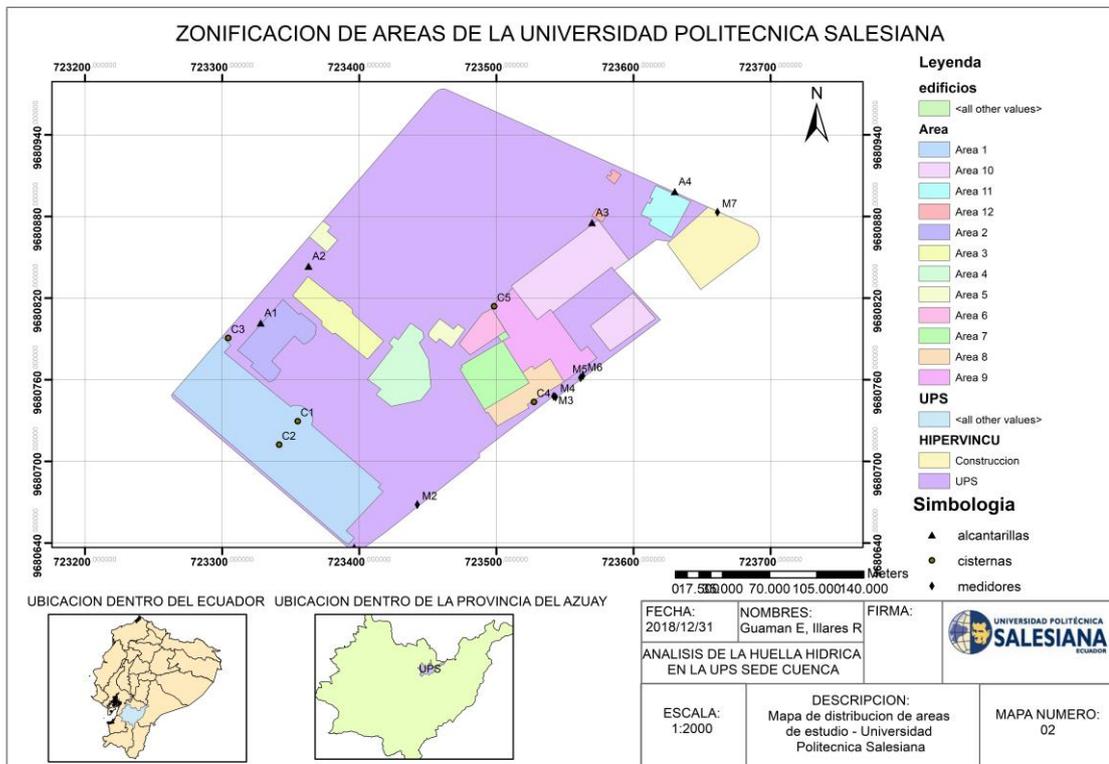
### UBICACIÓN DE LOS MEDIDORES DENTRO DEL CAMPUS UNIVERSITARIO



- **Medidor 1 (M1):** Carretas y Calle Vieja (Esquina Edificio Cornelio Merchán)
- **Medidor 2 (M2):** Puerta Calle Vieja y Carretas (Cajero)
- **Medidor 3 (M3):** Biblioteca Cisterna
- **Medidor 4 (M4):** Biblioteca Riego
- **Medidor 5 (M5):** Paces 1
- **Medidor 6 (M6):** Paces 2
- **Medidor 7 (M7):** Edificio en construcción en la calle Turuhaico

## ANEXO 2

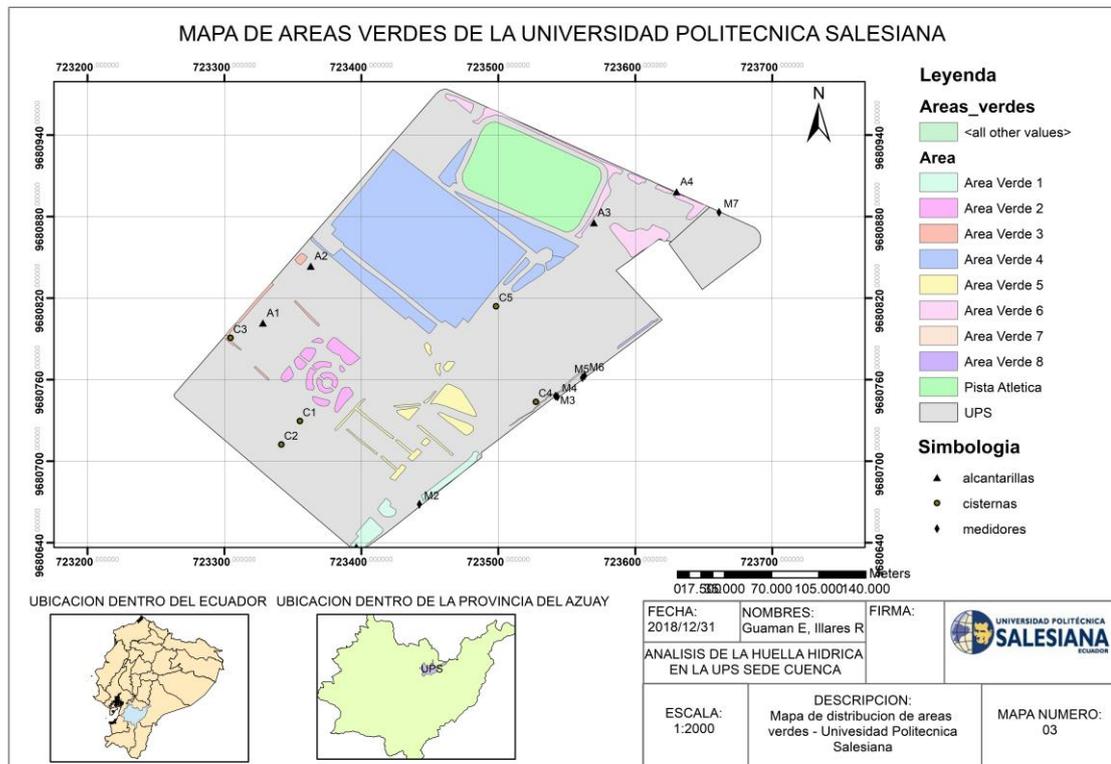
### ÁREAS DE IDENTIFICACIÓN PARA INVENTARIO DE BIENES HIDRÁULICOS



- **Área 1:** Cornelio Merchán
- **Área 2:** Guillermo Mensi
- **Área 3:** Mario Rizzini
- **Área 4:** Oratorio, Capilla, Sistemas
- **Área 5:** FEUPS, Cultura Física, Sala de baile
- **Área 6:** Patio de Comidas
- **Área 7:** Gimnasio
- **Área 8:** Biblioteca
- **Área 9:** Paces
- **Área 10:** Área de Automotriz
- **Área 11:** Rectorado
- **Área 12:** Edificio en construcción calle Turuhaico

## ANEXO 3

### ÁREAS DE COBERTURA VEGETAL DENTRO DEL PREDIO UNIVERSITARIO



- **Área 1:** Puerta Calle Vieja (Cajero)
- **Área 2:** Patio Central
- **Área 3:** Edificio Guillermo Mensi
- **Área 4:** Estadio Valeriano Gavinelli (Gavicho)
- **Área 5:** Área de entrada
- **Área 6:** Área posterior calle Turuhuaico
- **Área 7:** Biblioteca
- **Área 8:** Automotriz
- **Pista Atlética**

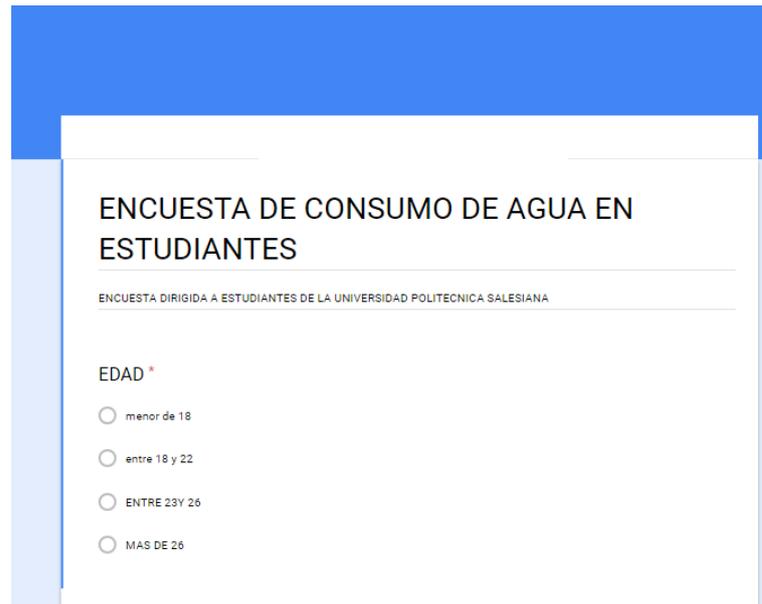
## ANEXO 4

### FORMATOS DE ENCUESTAS

- Encuestas para estudiantes

Enlace de acceso: <https://forms.gle/rCKSaV6irGGmEqYX8>

#### Encuestas en la plataforma:



The image shows a screenshot of a Google Form titled "ENCUESTA DE CONSUMO DE AGUA EN ESTUDIANTES". Below the title, it says "ENCUESTA DIRIGIDA A ESTUDIANTES DE LA UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA". The first question is "EDAD \*", with four radio button options: "menor de 18", "entre 18 y 22", "ENTRE 23Y 26", and "MAS DE 26".

#### Formato de encuesta:

##### ENCUESTA DIRIGIDA A ESTUDIANTES DE LA UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA

1. ¿Cuántos litros de agua toma diariamente?
2. ¿Qué tipo de agua consume?  
Agua embotellada  
Agua del grifo  
Botellón  
Otras (Especifique)
3. ¿Cuántas veces usa el inodoro al día dentro de la institución?
4. ¿Cuántas veces al día descarga el tanque del inodoro o urinario en los baños?
5. ¿Cuántas veces usa el lavamanos al día dentro de la institución?
6. ¿Cuánto tiempo tarda en lavarse las manos aproximadamente? (en segundos)
7. ¿Cepilla sus dientes dentro de la jornada estudiantil? ¿Cuántas veces?
8. ¿En sus prácticas estudiantiles hace uso de bienes hidráulicos? ¿Cuáles?
9. ¿Qué medio de transporte utiliza?
10. ¿Qué dispositivos electricos o electrónicos utiliza dentro del campus?
11. ¿Cuántos cuadernos utiliza en el ciclo?
12. ¿Los trabajos realizados durante el ciclo son entregados de qué manera?  
Ambiente Virtual  
Físico (Hojas)

CD o memorias

Otras (Especifique)

\*En caso de ser la segunda opción señale cuantas hojas en promedio usa en el ciclo

13. ¿Hace uso de bienes deportivos dentro del predio universitario (gimnasio, coliseo, estadio, etc.)? Si su respuesta es positiva continua con la encuesta

14. ¿Cuántas veces utiliza las instalaciones a la semana (gimnasio, coliseo, estadio, etc)

15. ¿Hace uso de las duchas dentro de estas instalaciones?

16. Si su respuesta anterior es positiva especifique ¿cuántas veces a la semana y por cuánto tiempo?

- **Encuestas para docentes**

**Enlace de acceso:** <https://forms.gle/M2jLAkbk7xbkPQsK6>

**Encuestas en la plataforma:**

ENCUESTA DIRIGIDA A DOCENTES  
DE LA UNIVERSIDAD POLITECNICA  
SALESIANA

\*Obligatorio

1. ¿Cuántos litros de agua toma diariamente? \*

hasta un litro

hasta 2 litros

no consumo agua

Otro: \_\_\_\_\_

**Formato de encuesta:**

**ENCUESTA DIRIGIDA A DOCENTES DE LA UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA**

1. ¿Cuántos litros de agua toma diariamente?

2. ¿Qué tipo de agua consume?

Agua embotellada

Agua del grifo

Botellón

Otras (Especifique)

3. ¿Cuántas veces usa el inodoro al día dentro de la institución?

4. ¿Cuántas veces al día descarga el tanque del inodoro o urinario en los baños?

5. ¿Cuántas veces usa el lavamanos al día dentro de la institución?

6. ¿Cuánto tiempo tarda en lavarse las manos aproximadamente? (en segundos)

7. ¿Cepilla sus dientes dentro de la jornada estudiantil? ¿Cuántas veces?

8. ¿Cuántos alumnos tiene en promedio a su cargo por aula?
9. ¿Qué medio de transporte utiliza?
10. ¿Qué dispositivos eléctricos o electrónicos utiliza dentro del campus?
11. ¿Cuántos cuadernos utiliza en el ciclo?
12. ¿Cuántas hojas de papel bond utiliza en promedio?
13. ¿Hace uso del reciclaje de hojas de papel bond?
14. ¿Hace uso de bienes deportivos dentro del predio universitario (gimnasio, coliseo, estadio, etc.)? Si su respuesta es positiva continúe con la encuesta
15. ¿Cuántas veces utiliza las instalaciones a la semana (gimnasio, coliseo, estadio, etc)
16. ¿Hace uso de las duchas dentro de estas instalaciones?
17. Si su respuesta anterior es positiva especifique ¿cuántas veces a la semana y por cuánto tiempo?

- **Encuestas para administrativos**

**Enlace de acceso:** <https://forms.gle/dzdBFmxAodqQBpty9>

**Encuestas en la plataforma:**

**ENCUESTA DIRIGIDA A PERSONAL ADMINISTRATIVO DE LA UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA**

\*Obligatorio

1. ¿A qué departamento pertenece usted?

Tu respuesta

2. ¿Cuántos litros de agua toma diariamente?

Tu respuesta

**Formato de encuesta:**

**ENCUESTA DIRIGIDA A PERSONAL ADMINISTRATIVO DE LA UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA**

1. ¿A qué departamento pertenece usted?
  2. ¿Cuántos litros de agua toma diariamente?
  3. ¿Qué tipo de agua consume?
- Agua embotellada  
 Agua del grifo  
 Botellón  
 Otras (Especifique)

4. ¿Cuántas veces usa el inodoro al día dentro de la institución?
5. ¿Cuántas veces al día descarga el tanque del inodoro o urinario en los baños?
6. ¿Cuántas veces usa el lavamanos al día dentro de la institución?
7. ¿Cuánto tiempo tarda en lavarse las manos aproximadamente? (en segundos)
8. ¿Cepilla sus dientes dentro de la jornada estudiantil? ¿Cuántas veces?
9. ¿Qué medio de transporte utiliza?
10. ¿Qué dispositivos electricos o electrónicos utiliza dentro del campus?
11. ¿Cuántos cuadernos utiliza en el ciclo?
12. ¿Cuántas hojas de papel bond utiliza en promedio?
13. ¿Hace uso del reciclaje de hojas de papel bond?
14. ¿Hace uso de bienes deportivos dentro del predio universitario (gimnasio, coliseo, estadio, etc.)? Si su respuesta es positiva continua con la encuesta
15. ¿Cuántas veces utiliza las instalaciones a la semana (gimnasio, coliseo, estadio, etc)
16. ¿Hace uso de las duchas dentro de estas instalaciones?
17. Si su respuesta anterior es positiva especifique ¿cuántas veces a la semana y por cuánto tiempo?

- **Encuestas para personal de servicio**

**Enlace de acceso:** <https://forms.gle/bJBfrPdLnY1j4BcN6>

<https://forms.gle/6Zpt83qPLVq99C3c8>

**Encuestas en la plataforma:**

**ENCUESTA DIRIGIDA A PERSONAL DE SERVICIO DE LA UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA**

PERSONAL DE PATIO DE COMIDAS

1. ¿Cuántos litros de agua utiliza para cocinar al día?

Tu respuesta

2. ¿Cuál es el numero promedio de platos que lava al día?

Tu respuesta

3. ¿Cuánto tiempo toma para lavar los platos al día?

Tu respuesta

**ENCUESTA DIRIGIDA A PERSONAL DE SERVICIO DE LA UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA**

PERSONAL DE LIMPIEZA Y SEGURIDAD

1. ¿Cuántos litros de agua usa para las labores de limpieza?

Tu respuesta \_\_\_\_\_

2. ¿Con que frecuencia realiza la limpieza de las instalaciones universitarias?

Tu respuesta \_\_\_\_\_

3. ¿Qué tipo de detergentes utiliza para la limpieza?

Tu respuesta \_\_\_\_\_

### **Formato de encuesta:**

#### **ENCUESTA DIRIGIDA A PERSONAL DE SERVICIO DE LA UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA**

1. ¿Cuántos litros de agua toma diariamente?
2. ¿Qué tipo de agua consume?  
 Agua embotellada  
 Agua del grifo  
 Botellón  
 Otras (Especifique)
3. ¿Cuántas veces usa el inodoro al día dentro de la institución?
4. ¿Cuántas veces al día descarga el tanque del inodoro o urinario en los baños?
5. ¿Cuántas veces usa el lavamanos al día dentro de la institución?
6. ¿Cuánto tiempo tarda en lavarse las manos aproximadamente? (en segundos)
7. ¿Cepilla sus dientes dentro de la jornada estudiantil? ¿Cuántas veces?

#### **PERSONAL DE PATIO DE COMIDAS**

1. ¿Cuántos litros de agua utiliza para cocinar al día?
2. ¿Cuál es el número promedio de platos que lava al día?
3. ¿Cuánto tiempo toma para lavar los platos al día?
4. ¿Cuántos aparatos eléctricos o electrónicos utilizan en su local?

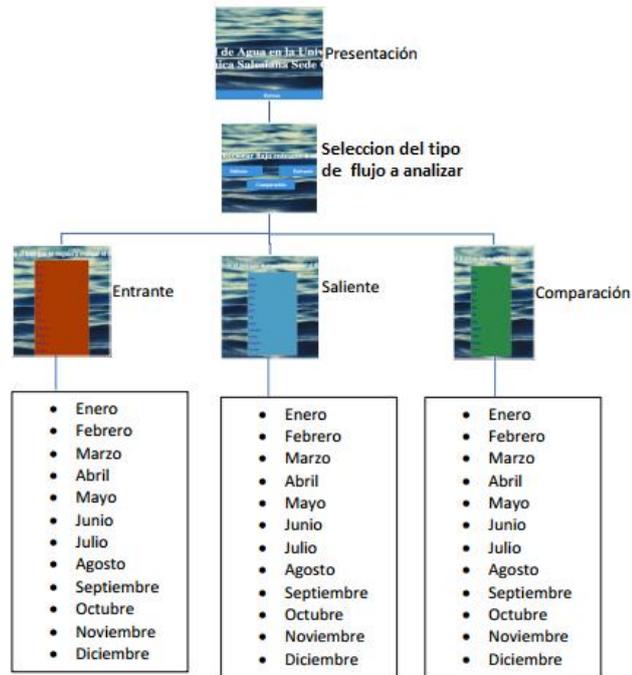
#### **PERSONAL DE LIMPIEZA Y SEGURIDAD**

1. ¿Cuántos litros de agua usa para las labores de limpieza?
2. ¿Con que frecuencia realiza la limpieza de las instalaciones universitarias?
3. ¿Qué tipo de detergentes utiliza para la limpieza?
4. ¿Con que frecuencia realiza el riego de los jardines?
5. ¿Cuántas horas le toma realizar el riego de las instalaciones?
6. ¿Hace uso del agua lluvia en el riego de las instalaciones?

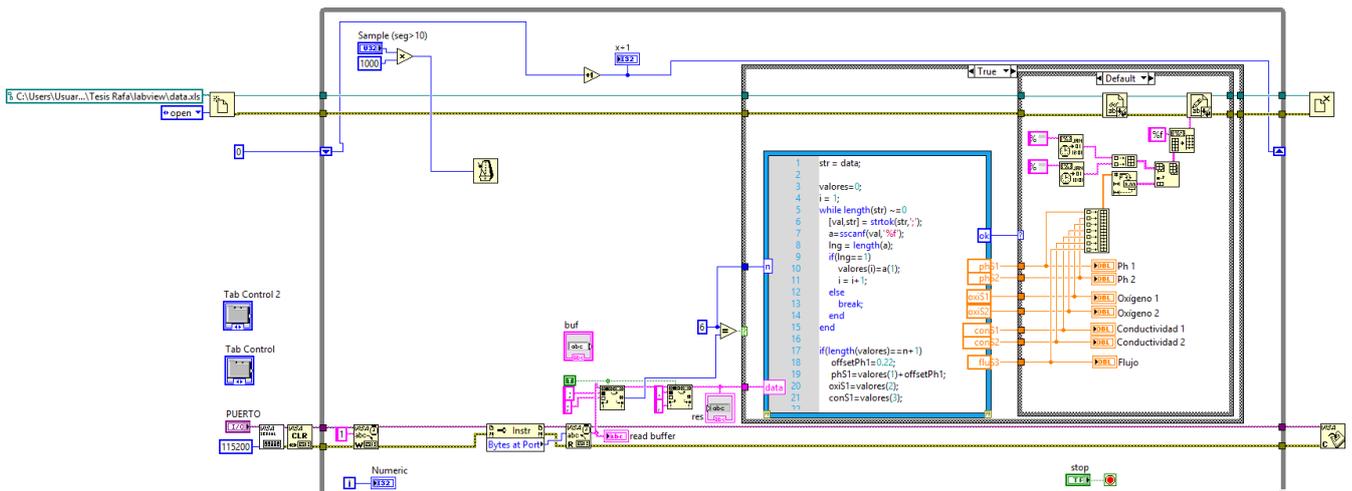
## ANEXO 5

### CONFIGURACIÓN DE LOS NODOS Y LOS SENSORES DE LA RED

#### Diagrama de bloques de la página web.



### PROGRAMACION POR BLOQUES DEL PROGRAMA EN LABVIEW



### CONFIGURACION DEL OXGENO DISUELTO

```
#include <SoftwareSerial.h>
```

```
SoftwareSerial portOxi(2, 3);
```

```

void setup() {

  Serial.begin(9600);

  portOxi.begin(9600);

}

void loop() {

  if(portOxi.available()>0){

    delay(10);

    while(portOxi.available()) {

      char c = portOxi.read();

      Serial.print(c);

    }

    Serial.println();

  }

  if(Serial.available()>0){

    delay(10);

    while(Serial.available()) {

      char c = Serial.read();

      portOxi.print(c);

    }

  }

}

```

#### **CONFIGURACION DE LAS SONDAS DE CONDUCTIVIDAD**

```

#include <SoftwareSerial.h>

SoftwareSerial portCon(4, 5);

void setup() {

  Serial.begin(9600);

  portCon.begin(9600);

}

```

```

void loop() {

  if(portCon.available())>0){

    delay(10);

    while(portCon.available()) {

      char c = portCon.read();

      Serial.print(c);

    }

    Serial.println();

  }

  if(Serial.available())>0){

    delay(10);

    while(Serial.available()) {

      char c = Serial.read();

      portCon.print(c);

    }

  }

}

```

#### **CODIGO PARA EL ESCLAVO 1**

```

#include <SoftwareSerial.h>

#define senPh A0

#define Offset 0.00

SoftwareSerial portCon(2, 3);

SoftwareSerial portOxi(4, 5);

char err = 0;

char imp = 0;

String strOxi;

String strCon;

String strPh;

```

```

String strOxiAux = "0.00";

String strConAux = "0.00";

String strPhAux = "0.00";

String strEnv;

unsigned long int avgValue;

float phValue = 0;

char slv = 'l';

char dat = ' ';

void sensarPh();

void sensarOxi();

void sensarCon();

void setup() {

    pinMode(13, OUTPUT);

    pinMode(senPh, INPUT);

    Serial.begin(9600);

    portOxi.begin(9600);

    portCon.begin(9600);

    digitalWrite(13, LOW);

}

void loop() {

    sensarPh();

    sensarOxi();

    sensarCon();

    if (Serial.available() > 0) {

        delay(5);

        dat = Serial.read();

        while (Serial.available() > 0) {

            Serial.read();

```

```

    delay(5);

}

//Serial.print(dat);

}

if (dat == slv) {

    strEnv = strPhAux + ";" + strOxiAux + ";" + strConAux;

    Serial.print(strEnv);

    digitalWrite(13, HIGH);

    delay(500);

    digitalWrite(13, LOW);

    delay(500);

    digitalWrite(13, HIGH);

    delay(500);

    digitalWrite(13, LOW);

    dat = ' ';

}

}

void sensorPh () {

    int buf[10];          //buffer for read analog

    for (int i = 0; i < 10; i++) //Get 10 sample value from the sensor for smooth the value

    {

        if (Serial.available() > 0)

            return;

        buf[i] = analogRead(senPh);

        delay(10);

    }

    for (int i = 0; i < 9; i++) //sort the analog from small to large

```

```

{
  for (int j = i + 1; j < 10; j++)
  {
    if (buf[i] > buf[j])
    {
      int temp = buf[i];
      buf[i] = buf[j];
      buf[j] = temp;
    }
  }
}

avgValue = 0;

for (int i = 2; i < 8; i++)      //take the average value of 6 center sample
  avgValue += buf[i];

pHValue = (float)avgValue * 5.0 / 1024 / 6; //convert the analog into millivolt

pHValue = 3.5 * pHValue + Offset;      //convert the millivolt into pH value

strPh = String(pHValue, 2);

strPhAux = strPh;

if (imp) {
  Serial.print(strPh);
  Serial.print("~");
}

}

void sensorOxi() {

  portOxi.listen();

  while (portOxi.available() == 0)

    if (Serial.available() > 0)

      return;
}

```

```

while (portOxi.available()) {

    delay(5);

    char c = portOxi.read();

    strOxi += c;

    if (c != 13) {

        if (c < 46 || c > 57) {

            err = 1;

        }

    }

}

if (strOxi.length() > 0) {

    if (imp) {

        Serial.print("O:");

        Serial.print(strOxi);

    }

    if (err) {

        err = 0;

        if (imp)

            Serial.print("e1");

    }

    else {

        strOxiAux = strOxi;

    }

    if (imp)

        Serial.print("~");

    strOxi = "";

}

}

```

```

void sensorCon() {

portCon.listen();

while (portCon.available() == 0)

if (Serial.available() > 0)

return;

while (portCon.available()) {

delay(5);

char c = portCon.read();

strCon += c;

if (c != 13) {

if (c < 46 || c > 57) {

err = 1;

}

}

}

if (strCon.length() > 0) {

if (imp) {

Serial.print("C:");

Serial.print(strCon);

}

if (err) {

err = 0;

if (imp)

Serial.print("e2");

}

else {

strConAux = strCon;

}

}

```

```

    if (imp)

        Serial.print("~");

        strCon = "";

    }

}

```

## **CODIGO PARA EL ESCLAVO 2**

```

#include <SoftwareSerial.h>

#define senPh A0

#define Offset 0.00

SoftwareSerial portCon(2, 3);

SoftwareSerial portOxi(4, 5);

char err = 0;

char imp = 0;

String strOxi;

String strCon;

String strPh;

String strOxiAux = "0.00";

String strConAux = "0.00";

String strPhAux = "0.00";

String strEnv;

unsigned long int avgValue;

float phValue = 0;

char slv = '2';

char dat = ' ';

void sensarPh();

void sensarOxi();

void sensarCon();

void setup() {

```

```

pinMode(13, OUTPUT);

pinMode(senPh, INPUT);

Serial.begin(9600);

portOxi.begin(9600);

portCon.begin(9600);

digitalWrite(13, LOW);

}

void loop() {

  sensarPh();

  sensarOxi();

  sensarCon();

  if (Serial.available() > 0) {

    delay(5);

    dat = Serial.read();

    while (Serial.available() > 0) {

      Serial.read();

      delay(5);

    }

    //Serial.print(dat);

  }

  if (dat == slv) {

    strEnv = strPhAux + ";" + strOxiAux + ";" + strConAux;

    Serial.print(strEnv);

    digitalWrite(13, HIGH);

    delay(500);

    digitalWrite(13, LOW);

    delay(500);

    digitalWrite(13, HIGH);

```

```

delay(500);

digitalWrite(13, LOW);

dat = ' ';

}

}

void sensorPh () {

int buf[10];          //buffer for read analog

for (int i = 0; i < 10; i++) //Get 10 sample value from the sensor for smooth the value

{

if (Serial.available() > 0)

return;

buf[i] = analogRead(senPh);

delay(10);

}

for (int i = 0; i < 9; i++) //sort the analog from small to large

{

for (int j = i + 1; j < 10; j++)

{

if (buf[i] > buf[j])

{

int temp = buf[i];

buf[i] = buf[j];

buf[j] = temp;

}

}

}

}

avgValue = 0;

```

```

for (int i = 2; i < 8; i++)          //take the average value of 6 center sample

    avgValue += buf[i];

pHValue = (float)avgValue * 5.0 / 1024 / 6; //convert the analog into millivolt

pHValue = 3.5 * pHValue + Offset;    //convert the millivolt into pH value

strPh = String(pHValue, 2);

strPhAux = strPh;

if (imp) {

    Serial.print(strPh);

    Serial.print("~");

}

}

void sensorOxi() {

    portOxi.listen();

    while (portOxi.available() == 0)

        if (Serial.available() > 0)

            return;

    while (portOxi.available()) {

        delay(5);

        char c = portOxi.read();

        strOxi += c;

        if (c != 13) {

            if (c < 46 || c > 57) {

                err = 1;

            }

        }

    }

}

if (strOxi.length() > 0) {

    if (imp) {

```

```

    Serial.print("O:");

    Serial.print(strOxi);

}

if (err) {

    err = 0;

    if (imp)

        Serial.print("e1");

}

else {

    strOxiAux = strOxi;

}

if (imp)

    Serial.print("~");

strOxi = "";

}

}

void sensorCon() {

portCon.listen();

while (portCon.available() == 0)

    if (Serial.available() > 0)

        return;

while (portCon.available()) {

    delay(5);

    char c = portCon.read();

    strCon += c;

    if (c != 13) {

        if (c < 46 || c > 57) {

            err = 1;

```

```
    }  
  }  
}  
if (strCon.length() > 0) {  
  if (imp) {  
    Serial.print("C:");  
    Serial.print(strCon);  
  }  
  if (err) {  
    err = 0;  
    if (imp)  
      Serial.print("e2");  
  }  
  else {  
    strConAux = strCon;  
  }  
  if (imp)  
    Serial.print("~");  
  strCon = "";  
}  
}
```

## Configuración del pH

```
if(length(valores)==n+1)
  offsetPh1=0.0; %0.22;
  phS1=valores(1)+offsetPh1;
  oxiS1=valores(2);
  conS1=valores(3);

  offsetPh2=0.0; %0.61;
  phS2=valores(4)+offsetPh2;
  oxiS2=valores(5);
  conS2=valores(6);
  fluS3=valores(7);
  ok=1;
else
  oxiS1=0;
  conS1=0;
  phS1=0;
  oxiS2=0;
  conS2=0;
  phS2=0;
  fluS3=0;
```

# ANEXO 6

## PRUEBAS DE LABORATORIO

### Agua de consumo – Tanques Cubierta Edificio Cornelio Merchán.

IHTALAB		INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS				
		CODIGO: F01-PG19				
INFORME No.	0A-19-124	Fecha de Emisión del Informe:	2019-05-07	Revisión: 02		
CLIENTE:	Estefanía Guaman		RUC:			
DIRECCION:	Cuenca		TELEFONOS:			
TIPO DE MUESTRA:	Agua de Consumo		RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA			
PUNTO DE TOMA DE MUESTRA:	Punto de agua potable		IHTALAB (x)	CLIENTE ( )	OTRO ( )	
CADENA DE CUSTODIA (si aplica):	N/A		Cuando IHTALAB es responsable de la Toma de Muestra, se garantiza la trazabilidad de la muestra en base a la cadena de custodia y la información ahí contenida			
Fecha de Recepción de muestras:	2019-04-30	Hora recolección:	17:00:00			
Fecha de Recepción de muestras:	2019-04-30	Hora recepción:	18:00:00			
Fecha de Inicio de Ensayos:	2019-04-30	Fecha Fin de Ensayos:	2019-05-07			
RESULTADOS ANALISIS DE AGUA						
AA	Análisis	Método de Referencia / Método interno	Unidad	MUESTRA		
				Resultados 19-124-01	Valores máximos permisibles <sup>1</sup>	Límite de cuantificación
	Conductividad Eléctrica	PE-24	µS/cm	235	N/A	1 - 10.000 µS/cm
	Demanda bioquímica de oxígeno DBOS	APHA 5210 D / PE-07	mg O <sub>2</sub> /l	4	N/A	0 - 2500 mg/l
	Potencial de Hidrógeno	APHA 4500 H-B / PE-16	unidades de pH	7,725	6 a 9	4 a 10 unidades de pH
	Oxígeno Disuelto	APHA 4500 O-G / PE-15	mg/l	6,15	N/A	1 - 10 mg/l
<b>NOTAS:</b>						
AA (Acreditaciones)			1: Los resultados obtenidos en el ensayo, son comparados contra los requisitos de Agua potable - Norma Técnica Ecuatoriana 1108			
2: Los resultados fueron suministrados por el Laboratorio ANAVANLAB CIA. LTDA., acreditado por el SAE, con Certificado de Acreditación No. OAE LEC 13-006						
3: Ensayos subcontratados. IHTALAB asume la responsabilidad por los ensayos subcontratados. En el apartado observaciones se indica el laboratorio subcontratado			Prohíbe su reproducción parcial, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de IHTALAB.			
Los resultados incluidos en el presente Informe están relacionados únicamente a las muestras analizadas.						
Observaciones:			Informe aprobado y autorizado por:			
			  Azogues, martes 7 de mayo de 2019			
						
Dirección: Sucre 9-02 y Camilo Ponce Azogues - Ecuador Tel: (07) 2244-988 Cel: 0998364296 Mail: ihta.azogues@gmail.com						
Pág. 1 de 1						

# Agua residual – Alcantarilla Posterior Edificio Guillermo Mensi.



## INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS

CODIGO: P01-P019

INFORME No.	DA-19-123	Fecha de Emisión del Informe:	2019-05-07	Revisión 02
CLIENTE:	Estefanía Guaman		RUC:	
DIRECCION:	Cuenca		TELEFONOS:	
TIPO DE MUESTRA:	Agua Residual		RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA	
PUNTO DE TOMA DE MUESTRA:	Vertido		IHTALAB ( )	CUENTE (X)
CADENA DE CUSTODIA (si aplica):	N/A		OTRO ( )	
Fecha de Incoleccion de muestras:	2019-04-30	Hora recepción:	17:00:00	Cuando IHTALAB es responsable de la Toma de Muestra, se garantiza la trazabilidad de la muestra en base a la cadena de custodia y la información allí contenida
Fecha de Recepción de muestras:	2019-04-30	Hora recepción:	18:00:00	
Fecha de Inicio de Ensayos:	2019-04-30	Fecha Fin de Ensayos:	2019-05-07	

RESULTADOS ANALISIS DE AGUA						
AA	Análisis	Método de Referencia / Método Interno	Unidad	MUESTRA		
				Resultados 19-123-01	Valores máximos permisibles <sup>1</sup>	Límite de cuantificación
	Conductividad Eléctrica	PE-24	µM/cm	645	N/A	1 - 10.000 uS/cm
	Demanda bioquímica de oxígeno DBO5	APHA 5210 D / PE-07	mg O2/l	130	100	0 - 2500 mg/l
	Potencial de Hidrógeno	APHA 4500 H+8 / PE-16	unidades de pH	8,773	6 a 9	4 a 10 unidades de pH
	Oxígeno Disuelto	APHA 4500 O G / PE-15	mg/l	1,17	N/A	1 - 10 mg/l

**NOTAS:**

**AA (Acreditaciones)**

1) Los resultados obtenidos en el ensayo, son comparados contra los REQUISITOS DE AGUA DULCE, De la norma técnica del Libro XI del Texto Unificado de Legislación Secundaria (2015)

2) Los resultados fueron suministrados por el laboratorio ANAVANLAB CIA. LTDA., acreditado por el SAE, con Certificado de Acreditación No. OAE LEC 13-006

3) Ensayos subcontratados. IHTALAB asume la responsabilidad por los ensayos subcontratados. En el apartado observaciones se indica el laboratorio subcontratado

Los resultados incluidos en el presente Informe están relacionados únicamente a las muestras analizadas.

Prohibida su reproducción parcial o en su totalidad, sin la aprobación escrita de IHTALAB.

Observaciones:

Informe aprobado y autorizado por:


Azogues, martes 7 de mayo de 2019