



EVALUACIÓN DE LA HUELLA HÍDRICA DE LA CIUDAD DE HUELVA COMO HERRAMIENTA DE GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO

Orestes López Gómez

Trabajo entregado para la obtención del grado de **MÁSTER EN TECNOLOGÍA AMBIENTAL**

Modalidad: “Profesional”

Septiembre / 2024

Directores:

Dr. Juan Pedro Bolívar Raya

D^a. Natividad Moya Sánchez



OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

6 AGUA LIMPIA
Y SANEAMIENTO



“Disponibilidad, gestión sostenible del agua y saneamiento para todos”

(NACIONES UNIDAS.)



El **Dr. Juan Pedro Bolívar Raya** con DNI: 30451377K, Director del Grupo de Investigación Física de Radiaciones y Medio Ambiente, y Catedrático de Física Aplicada de la Universidad de Huelva y **D^a. Natividad Moya Sánchez** con DNI: 52818163C, Directora de Sostenibilidad e Innovación de la Empresa Municipal de Aguas de Huelva, S.A.

INFORMAN:

Que el trabajo titulado “**Evaluación de la Huella Hídrica de la Ciudad de Huelva como Herramienta de Gestión del Recurso Hídrico**” presentado por **D. Orestes López Gómez**, con D.N.I.: Z0284688E, ha sido realizado en colaboración entre la empresa “**Aguas de Huelva y el Departamento de Ciencias Integradas. Facultad de Ciencias Experimentales de la Universidad de Huelva**”, bajo nuestra dirección, y autorizan su presentación y defensa como **Trabajo Fin de Máster** (Modalidad: Profesional), para el Máster Interuniversitario en Tecnología Ambiental de la Universidad Internacional de Andalucía (UNIA) y la Universidad de Huelva (UHU).

En Huelva, a 16 de septiembre de 2024

Dr. Juan Pedro Bolívar Raya

bolivar@uhu.es

Director del Grupo de
Investigación Física de
Radiaciones y Medio Ambiente
(RENSMA)

D^a. Natividad Moya Sánchez

natividad.moya@aguashuelva.es

Directora de Sostenibilidad e
Innovación de la empresa de Aguas
de Huelva



Quiero expresar mi agradecimiento a todas las personas que han contribuido de manera significativa a la realización de esta tesis de máster. Sus apoyos, consejos y ánimos han sido fundamentales para alcanzar este logro.

En primer lugar, quiero agradecer a mis directores de tesis, Dr. Juan Pedro Bolívar Raya y a D^a. Natividad Moya Sánchez, por su orientación, paciencia y compromiso a lo largo de todo este proceso. Sus valiosas sugerencias y comentarios han enriquecido enormemente mi trabajo.

Agradezco a toda mi familia por su apoyo inquebrantable y amor incondicional. A mi mamá (Milagros), papá (Orestes) y a mi hermano (Orelvis), quienes siempre han estado a mi lado alentándome en cada paso de mi vida. A mi esposa, Beatriz de la Caridad quiero dedicarle un agradecimiento especial. Tu amor, paciencia y comprensión han sido mi inspiración desde que te conocí. No podría haber llegado hasta aquí sin ti.

También quiero expresar mi gratitud hacia mi nueva familia (familia de mi esposa), por su apoyo continuo y por ser una parte importante de mi vida.

Por último, quiero rendir homenaje a mis antepasados, a mi querida abuela, Josefa (Baba). Aunque ya no está con nosotros, su sabiduría y amor perduran en mi memoria y me ha inspirado a perseguir mis metas con pasión y determinación.

Este logro no habría sido posible sin la contribución de cada uno de ustedes. Aprecio profundamente su apoyo y amabilidad.





RESUMEN

El conocimiento de la huella hídrica de una organización permite evaluar la magnitud, identificar oportunidades de mejora y tomar decisiones eficientes sobre la gestión del agua.

Este trabajo establece como objetivo central evaluar la Huella Hídrica (HH) del Ciclo Urbano del Agua de la ciudad de Huelva para el año 2023, mediante la metodología propuesta por la *Water Footprint Network*. La HH Total para este año fue de 16.03 Mm³ analizándose para las diversas unidades que componen el ciclo urbano del agua; captación, potabilización, distribución, saneamiento y depuración.

El estudio se centra en la HH Azul (HHA) y Verde (HHV), dado que los vertidos de la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) se realizan en una ría de agua salada, lo que según el objetivo que persigue este estudio y la metodología aplicada hace irrelevante el cálculo de la HH Gris (HHG). Sin embargo, se recomienda que futuras investigaciones consideren la evaluación de este componente utilizando otras metodologías, orientada al análisis de impactos y sostenibilidad ambientales.

A lo largo del análisis, se determinó que la HHA es el componente predominante, representando aproximadamente la totalidad de consumo con un 99.9% de la huella total. Esto se debe principalmente al uso intensivo de fuentes hídricas superficiales para el abastecimiento urbano. Los embalses Andévalo-Chanza-Piedras y Beas, que constituyen las fuentes del agua utilizada, destacan por su contribución al volumen evaporado, subrayando la necesidad de implementar medidas de eficiencia en el almacenamiento y distribución de agua. Por otro lado, también se revela que las pérdidas reales en la red de distribución de agua ascienden a 1.96 Mm³, representando un 12.21% de la Huella Hídrica Azul. Estas pérdidas reflejan un área crítica de mejora, sugiriendo continuar con la implementación de tecnologías avanzadas de monitorización y la sectorización de las redes, reduciendo así significativamente el impacto hídrico.

Finalmente, otra conclusión del estudio es la importancia de este indicador como herramienta de gestión hídrica, proporcionando datos clave para la planificación y toma de decisiones en la ciudad, promoviendo una gestión más sostenible de los recursos hídricos en un contexto de creciente escasez y cambio climático.

PALABRAS CLAVES: Huella Hídrica, Ciclo Urbano del Agua, Ciudad de Huelva, Gestión del Recurso Hídrico.





ABSTRACT

The knowledge of an organization's water footprint allows for assessing its magnitude, identifying improvement opportunities, and making efficient decisions regarding water management.

This work sets as its main objective to evaluate the Water Footprint (WF) of the Urban Water Cycle in the city of Huelva for the year 2023, using the methodology proposed by the Water Footprint Network. The total WF for this year was 16.03 Mm³, analyzed for the various units that make up the urban water cycle: collection, treatment, distribution, sanitation, and wastewater treatment.

The study focuses on the Blue Water Footprint (BWF) and Green Water Footprint (GWF), given that the wastewater discharge from the Wastewater Treatment Plant (WWTP) is into a saltwater estuary, which according to the objective of this study and the applied methodology makes the calculation of the Gray Water Footprint (GWF) irrelevant. However, it is recommended that future research considers evaluating this component using other methodologies focused on environmental impact analysis and sustainability.

Throughout the analysis, it was determined that the BWF is the predominant component, representing approximately the total consumption with 99.9% of the total footprint. This is mainly due to the intensive use of surface water sources for urban supply. The Andévalo-Chanza-Piedras and Beas reservoirs, which are the sources of the water used, stand out for their contribution to the evaporated volume, highlighting the need to implement efficiency measures in water storage and distribution. On the other hand, it is also revealed that real losses in the water distribution network amount to 1.96 Mm³, representing 12.21% of the Blue Water Footprint. These losses reflect a critical area for improvement, suggesting the continued implementation of advanced monitoring technologies and network sectorization, thus significantly reducing the water footprint impact.

Finally, another conclusion of the study is the importance of this indicator as a water management tool, providing key data for planning and decision-making in the city, promoting a more sustainable management of water resources in the context of growing scarcity and climate change.

KEYWORDS: Water Footprint, Urban Water Cycle, City of Huelva, Water Resource Management.





ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	V
ABSTRACT	VII
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 PROBLEMÁTICA ACTUAL.....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO.....	2
1.3 HUELLA HÍDRICA Y HUELLA DE AGUA	2
1.4 OBJETIVOS DE ESTUDIO	5
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS	7
2.1 SITUACIÓN INICIAL	7
2.1.1. EL AGUA EN LA CIUDAD DE HUELVA	7
2.1.2. CICLO INTEGRAL DEL AGUA	9
2.2 HUELLA HÍDRICA ORGANIZACIONAL	20
2.3 ESTRUCTURA METODOLÓGICA DE CÁLCULO.....	21
2.4. HUELLA HÍDRICA AZUL Y VERDE.....	22
2.4.1 FUENTES DE CAPTACIÓN	23
2.4.2 DEPÓSITO INDUSTRIAL DE ALMACENAMIENTO.....	26
2.4.3 POTABILIZACIÓN	27
2.4.4 RED DE DISTRIBUCIÓN.....	29
2.4.5 RED DE ALCANTARILLADO	31
2.4.6 DEPURACIÓN DE AGUA RESIDUALES	31
2.5 HUELLA HÍDRICA GRIS.....	32
2.5.1 PUNTO DE VERTIDO Y MEDIO RECEPTOR	34
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	37
3.1. HUELLA HÍDRICA AZUL Y VERDE DE CADA UNIDAD	37
3.1.1. FUENTES DE CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO	37
3.1.2. POTABILIZACIÓN	41
3.1.3. RED DE DISTRIBUCIÓN.....	45
3.1.4. RED DE ALCANTARILLADO	49
3.1.5. DEPURACIÓN DE AGUA RESIDUALES	50
3.2. HUELLA HÍDRICA GRIS DEL CICLO URBANO DEL AGUA DE LA CIUDAD DE HUELVA.....	55
3.3. HUELLA HÍDRICA TOTAL DEL CICLO URBANO DEL AGUA DE LA CIUDAD DE HUELVA.....	59



3.4. OTROS USOS DE HUELLA HÍDRICA DEL CICLO URBANO DEL AGUA DE LA CIUDAD DE HUELVA.....	67
3.5. ANÁLISIS DEL BALANCE HÍDRICO EN EL CICLO URBANO DEL AGUA DE LA CIUDAD DE HUELVA PARA EL AÑO 2023.....	70
3.6. INDICADORES DE LA HUELLA HÍDRICA DEL CICLO URBANO DEL AGUA DE LA CIUDAD DE HUELVA.....	73
CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES.....	75
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
ANEXOS	85



CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 PROBLEMÁTICA ACTUAL

El agua es un recurso fundamental para la vida y el desarrollo sostenible de las sociedades. En un contexto global marcado por el cambio climático, el crecimiento demográfico y la urbanización acelerada, la gestión eficiente de los recursos hídricos se ha convertido en uno de los desafíos más apremiantes del siglo XXI (UNESCO, 2023).

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) advierte que el cambio climático está exacerbando la escasez de agua en muchas regiones, alterando los patrones de precipitación y aumentando la frecuencia e intensidad de eventos extremos como sequías e inundaciones (Caretta & Mukherji, 2022).

España, el país más árido de la Unión Europea, se enfrenta a serios desafíos en la gestión de los recursos hídricos, tiene una de las mayores huellas hídricas por habitante del mundo, que asciende a alrededor de 6 700 litros por habitante/día (RED EsAgua, s.f.-a). También, como país mediterráneo enfrenta desafíos particulares, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico reveló que, para finales del presente siglo, la superficie sometida a riesgo de desertificación se incrementa para todas las categorías establecidas, siendo el mayor cambio proyectado en las categorías de riesgo muy alto (+45 %) y riesgo alto (+82 %), aparejado con una reducción en la disponibilidad de los recursos hídricos (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2020).

Por otro lado, se valora que Andalucía es una región especialmente vulnerable ante los efectos del cambio climático y en la disponibilidad de unos recursos hídricos, que como se aventura serán progresivamente más escasos con el tiempo. Si a ello se une una previsión de aumento de demanda, así como un aumento de los periodos de sequía y por tanto una disminución del número de meses con balance hídrico positivo, ha de suponer que ello pueda derivar en un elevado riesgo. Tanto para la garantía del suministro de la población en general durante determinadas épocas del año, como para el mantenimiento de sectores productivos especialmente sensibles y relevantes para la economía andaluza (Junta de Andalucía., 2021).

Las áreas urbanas están experimentando un rápido crecimiento poblacional, lo que genera un aumento significativo en la demanda de alimentos, energía, agua y otros servicios. Por esta razón, se hace cada vez más indispensable desarrollar



proyectos orientados a la gestión local del agua en los entornos urbanos. Las ciudades deben modernizar las tecnologías actuales e incorporar instrumentos innovadores para monitorizar y gestionar eficientemente el agua que consumen sus habitantes.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO

La gestión del agua enfrenta desafíos globales que demandan soluciones específicas según el contexto local. Por lo que es crucial disponer de herramientas que permitan analizar la situación actual y desarrollar planes de acción concretos y efectivos. Entre estas herramientas se encuentra la huella hídrica, que proporciona un examen detallado del uso del agua en diferentes ámbitos, desde la industria hasta el consumo doméstico, facilitando que las organizaciones optimicen su manejo de este recurso esencial.

Para gestionar el agua de manera eficiente, es necesario conocer en detalle su uso y distribución. Aunque el agua es un recurso invaluable, su consumo puede ser cuantificado y mejorado. La huella hídrica ofrece la información necesaria para comprender cuánta agua se emplea en la creación de los productos y servicios que utilizamos a diario. En un escenario global donde el cambio climático y la escasez de agua son problemas crecientes, contar con una herramienta como la huella hídrica es fundamental para fomentar un uso más racional y equitativo de los recursos hídricos (iAgua Magazine, 2015).

No se trata solo de medir el agua utilizada, sino de fomentar una cultura de responsabilidad en su uso. Es un llamado a la acción para adoptar prácticas que aseguren que las generaciones futuras también puedan beneficiarse del agua, un recurso que, aunque abundante, es finito y cada vez más valioso.

1.3 HUELLA HÍDRICA Y HUELLA DE AGUA

Huella Hídrica

El concepto de Huella Hídrica (*water footprint* en inglés) surgió a principios del siglo XXI como respuesta a la creciente preocupación por la gestión sostenible de los recursos hídricos a nivel global. Fue introducido por primera vez por Arjen Y. Hoekstra en 2002, como una analogía a la huella ecológica, pero centrada específicamente en el uso del agua. El objetivo de este concepto fue disponer de una herramienta para aportar información útil sobre el uso del agua más allá de los indicadores tradicionales, un indicador del uso del agua basado en el



consumo directo e indirecto, vinculando la evaluación del uso del agua con las actividades de cadena de suministro (Hoekstra, 2003).

La Huella Hídrica se define como el volumen total de agua dulce utilizada para producir bienes y servicios consumidos por un individuo, comunidad, país, empresa, etc. Es un indicador multidimensional, que muestra los volúmenes de consumo de agua por fuente y los volúmenes de contaminación por tipo de contaminación. Todos los componentes de una huella hídrica se enmarcan geográfica y temporalmente, proporcionando una visión amplia de cómo un consumidor o productor influyen en los sistemas de agua dulce (Hoekstra et al, 2021, p. 28).

La Water Footprint Network (WFN) distingue la Huella hídrica en tres componentes:

- Huella Hídrica Azul: indicador del uso consuntivo del agua (agua dulce superficial o subterránea). Se considera que el uso dado al agua es consuntivo cuando implica uno de los siguientes supuestos:
 - ✓ Evaporación de agua.
 - ✓ Agua que se incorpora al producto.
 - ✓ Agua que no retorna a la misma zona de captación
 - ✓ Agua que retorna a su zona de captación, pero lo hace en un período diferente (especialmente si se extrae en un período de escasez y se devuelve en uno de abundancia).
- Huella Hídrica Verde: indica el uso del agua proveniente de precipitaciones que se almacena en el suelo o sobre la vegetación en lugar de correr o recargar acuíferos.
- Huella Hídrica Gris: es un indicador de la contaminación de agua dulce asociada al proceso. Viene definida como el volumen de agua dulce que será requerido para asimilar la carga contaminante hasta alcanzar los niveles señalados por los estándares de calidad, teniendo en cuenta las concentraciones naturalmente presentes en el medio receptor.

Huella de Agua



Por otro lado, es importante conocer que el otro método más empleado para la obtención de este indicador hídrico es el propuesto por la Organización Internacional de Normalización 14046 (ISO, por sus siglas en inglés). Este documento propone, bajo la consideración del análisis del ciclo de vida de actividades, productos y servicios, la contabilización de los impactos, que en los términos empleados en la propia norma se denomina Huella de Agua (ISO 14046:2014).

La evaluación de la huella de agua realizada de conformidad con esta Norma Internacional:

- Se basa en el análisis del ciclo de vida (ACV).
- Es modular (huellas del agua de diferentes etapas del ciclo de vida pueden sumarse para representar el resultado de la huella de agua).
- Identifica el impacto o los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua.
- Incluye dimensiones geográficas y temporales pertinentes.
- Identifica la cantidad de consumo de agua y los cambios en la calidad del agua.
- Utiliza conocimientos de hidrología.

Análisis Comparativo

La huella hídrica y la huella de agua con enfoque de ciclo de vida son herramientas que persiguen un objetivo similar, conocer el consumo de agua asociado a diversas unidades de análisis y las consecuencias que ese consumo tienen aparejadas y lo afrontan con diferente metodología.

Cada enfoque tiene distinto campo de aplicación y la selección de uno sobre otro dependerá del objetivo del estudio que se quiera llevar a cabo. Ello resulta crucial para recomendar una metodología u otra según el objeto estudiado, y el fin que quiera darse a los resultados obtenidos.

La huella hídrica y la huella de agua son herramientas compatibles. El análisis de la Huella Hídrica según WFN puede servir como una herramienta de concienciación o como una herramienta de evaluación y gestión regional del



agua. Se desarrolla con un enfoque más volumétrico, permite integrar directamente consumo (azul, verde) y contaminación (gris) de agua dulce, es una metodología ampliamente establecida (2008) de fácil interpretación y divulgación.

Por otra parte, la evaluación de la huella de agua según la ISO 14046 será más útil para estudios exhaustivos de sostenibilidad ambiental de un producto u organización, basada en Análisis de Ciclo de Vida (ACV) (impactos-daños), es una metodología más reciente (2014) y compleja para el público no experto en ACV.

La norma ISO 14046 constituye la principal alternativa a la metodología propuesta por la Water Footprint Network.

Tomándose los argumentos expuestos anteriormente y alineándose con los objetivos que persigue el presente trabajo de investigación se decide que la metodología a aplicar será la establecida en "The Water Footprint Assessment Manual. Setting the Global Standard" (Manual de Evaluación de la Huella Hídrica. Establecimiento del Estándar Mundial)

1.4 OBJETIVOS DE ESTUDIO

El Objetivo General de este estudio es calcular y hacer un análisis de la Huella Hídrica de las instalaciones que se involucran en la gestión del Ciclo Urbano del Agua de la Ciudad de Huelva.

Como objetivos específicos planteados para darle cumplimiento al objetivo general se tienen:

- Computar la Huella Hídrica de cada unidad del Ciclo Urbano del Agua, organizado por fases, tipo de huella hídrica, componentes y categorías, siguiendo la metodología brindada por "The Water Footprint Assessment Manual".
- Calcular la Huella Hídrica Total del Ciclo Urbano del Agua agregando los valores anteriores. En el apartado de resultados correspondientes a la Huella Hídrica Total, se interpretan los resultados y distinguen las contribuciones más significativas.



- Analizar el uso de agua, sobre todo en períodos secos, por sector poblacional (Información de la red de abastecimiento) y estudios de balance.
- Detectar indicadores claves de gestión como Litros de Huella Hídrica (HH) por cada Litro de agua en el grifo (**L HH/L grifo**) y la Huella Hídrica por persona que se genera en la ciudad (**HH/hab**).
- Proponer recomendaciones generales sobre la reducción de la Huella Hídrica en sectores más críticos del ciclo.



CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 SITUACIÓN INICIAL

2.1.1. EL AGUA EN LA CIUDAD DE HUELVA

Descubrimientos arqueológicos han evidenciado que, en tiempos antiguos, el agua en Huelva era almacenada en pozos construidos a nivel del agua subterránea utilizando las pizarras de las antiguas viviendas tartésicas. Sin embargo, los ingenieros romanos, a mediados del siglo I, idearon un acueducto en la antigua Onuba Aestuarina para sortear los obstáculos naturales y abastecer una ciudad que requería grandes volúmenes de agua para su próspera industria de salazón de pescado. Este acueducto fue llamado "Fuente Vieja" por los habitantes de la región y funcionó como fuente de agua hasta bien entrado el siglo XIX, junto con numerosos pozos dispersos por toda la ciudad, que constituían la única red de abastecimiento donde los residentes saciaban su sed.

La necesidad de captar agua del acuífero del Conquero y transportarla mediante galerías subterráneas a la ciudad a través de este acueducto se enfrentó a desafíos, como la apertura de pozos ilegales que disminuían el caudal y la sobreexplotación del recurso, que en ocasiones ponía en peligro su calidad sanitaria (Aguas de Huelva, s.f.-a).

A principios del siglo XX, algunos de estos pozos perdieron capacidad y el abastecimiento de áreas céntricas de la ciudad se declaró de interés público. Por ejemplo, en 1919, se abrió un pozo artesiano en la Plaza de San Pedro para garantizar el suministro de agua potable, independientemente de la profundidad a la que se encontrara el agua. Sin embargo, durante sequías severas, como la de 1925, la población continuó recurriendo al antiguo acueducto romano.

Además de estos pozos, el suministro de agua potable a la población provenía de varios depósitos en la periferia de la ciudad, como el barranco Barroso de la finca "La Calvilla" de don Antonio Checa, Peguerillas en la finca de Guillermo Sundheim y su socio Carlos Doetsh, el depósito de don Antonio Mora en la subida del Conquero, entre otros. De hecho, el agua que llegaba a la Fuente Vieja se trasvasó a la Fuente de San Pedro desde el manantial del cabezo Conquero.

El abastecimiento de agua desde el pantano de Beas, conocido por su excelente sabor natural y calidad, se atribuye al alcalde Quintero Báez en la década de los

años veinte, compensando las necesidades de la población hasta el crecimiento demográfico de la década de los sesenta (Aguas de Huelva, s.f.-a).

En 1925, el alcalde de Huelva, Mora Claros, formalizó un contrato con 'La Metropolitana de Construcción SA de Barcelona', destinado a mejorar la infraestructura de abastecimiento de agua en la ciudad y el embalse de Beas. Este contrato permitió a la empresa operar el servicio de agua hasta 1958, cuando volvió a ser gestionado por el Ayuntamiento.



Figura 1: Construcción del pantano del Chanza (Aguas de Huelva, datos 2023).

El desarrollo del Polo Industrial generó nuevos desafíos en la gestión del agua, lo que llevó a la construcción del pantano del Chanza en 1987, bajo la jurisdicción de la Confederación Hidrográfica del Guadiana.

La municipalización de las aguas comenzó en 1904, y en 1970 se estableció la actual Empresa Municipal de Aguas, que impulsó la expansión de la red de distribución en sus primeros años. El suministro de agua cambió de Beas a los embalses Piedra y Chanza.

En 2006, Aguas de Huelva y la Sociedad Estatal Aguas de las Cuencas de España (ACUAES) firmaron un acuerdo para ampliar, mejorar y modernizar las infraestructuras de agua en Huelva y su área circundante. La ampliación de la Estación de Tratamiento de Agua Potable (ETAP) El Conquero permitió duplicar la capacidad de tratamiento, asegurando un mejor suministro para una población de aproximadamente 150000 habitantes. La ETAP de Huelva tiene una

capacidad para tratar cerca de 90 millones de litros de agua al día. La puesta en marcha de la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) marcó un hito importante en la modernización del servicio integral.

En la actualidad, la Empresa Municipal Aguas de Huelva, S.A. es una sociedad de capital mixto, en su mayoría propiedad del Ayuntamiento de Huelva, con la participación de Hidralia Gestión Integral de Aguas de Andalucía, S.A. Aguas de Huelva se encarga del Ciclo Integral del Agua en la ciudad, garantizando el suministro y la calidad del recurso (Aguas de Huelva, s.f.-a).

2.1.2. CICLO INTEGRAL DEL AGUA

El Ciclo Integral del Agua en la ciudad de Huelva abarca tanto el abastecimiento de agua potable (captación de agua, potabilización y distribución para su consumo) como la recogida de las aguas residuales y su posterior depuración antes de ser devueltas al cauce natural. Incluye además otros servicios y productos relacionados con el agua y su tratamiento, como pueden ser la cogeneración de energía a partir de biogás y la reutilización de residuos mediante abono agrícola.

A continuación, se ofrece un listado de las unidades que integran el Ciclo Integral del Agua, detallando sus características principales.

CAPTACIÓN

Los recursos hídricos disponibles en la ciudad de Huelva para el abastecimiento de agua potable proceden de dos orígenes diferentes:

- El Sistema de embalses Andévalo–Chanza–Piedras es la fuente habitual de captación de la zona de abastecimiento de Huelva, este no es propiedad de la empresa municipal Aguas de Huelva siendo gestionado desde el 1 de enero de 2006 por el Distrito Tinto - Odiel - Piedras y pertenecientes a la cuenca Atlántico–Andaluza. El agua prepotable que gestiona Aguas de Huelva de dicha captación se recoge en unos “depósitos industriales” ubicados en el barrio Alcalde Diego Sayago (El Torrejón) tampoco propiedad de esta entidad. Allí Aguas de Huelva dispone desde 1978 de una estación de bombeo para impulsar el agua a la ETAP el Conquero (Aguas de Huelva, s.f.-b).



- ✓ La presa del Andévalo se sitúa en cola del embalse del Chanza, cerrando simultáneamente los cauces del río Malagón y la ribera del Cobica pertenecientes a la cuenca del Chanza y esta a su vez a la del Guadiana. Su construcción finalizó en el 2003, cuenta con una capacidad útil de 634 hm³ y su superficie es de 3630 ha (Ministerio para la Transición Ecológica, AEMET, SAIH Confederaciones, 2024-a).
- ✓ La Presa del Chanza fue construida sobre el cauce del río Chanza y sus obras finalizaron en el año 1989 (Nacimiento del río Chanza). El embalse del Chanza está situado sobre el río del mismo nombre, cerca de su desembocadura en el Guadiana y con un estribo en Portugal (Pomarão, concejo de Mértola, distrito de Beja) y el otro en España (El Granado, provincia de Huelva), cuenta con una capacidad de 338 hm³ y su superficie es de 2239 ha (Club iagua, 2018 y Ministerio para la Transición Ecológica, AEMET, SAIH Confederaciones, 2024-b).
- ✓ El embalse del Piedras se encuentra ubicado entre los municipios de Lepe y Cartaya, su capacidad máxima es de 60 hm³. Se construyó en el año 1968 a lo largo del cauce del río Piedras sobre alrededor de 796 ha de superficie (iAqua Data, 2024).
- ✓ Los dos depósitos industriales ubicados en el Torrejón desde donde se bombea el agua a la ETAP cuentan con una capacidad total de 120000 m³ abarcando una superficie de agua de 20000 m². El bombeo se realiza mediante cuatro bombas de cámara partida y dos bombas de eje vertical con una potencia total instalada de 1300 kW. El sistema de bombeo se controla y acciona remotamente desde la ETAP, de la que dista aproximadamente 1 Km, e impulsa el agua por dos conducciones de fibrocemento de 800 y 1000 mm de diámetro (RETEMA, 2015).



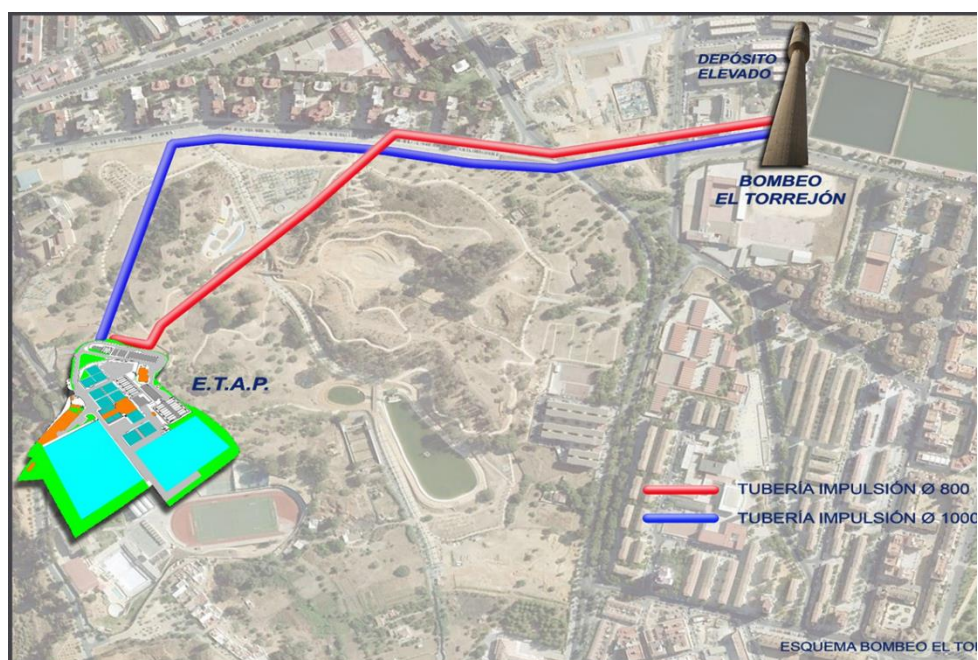


Figura 2: Esquema del depósito y bombeo del Torrejón (Aguas de Huelva, datos 2023).

- ✓ El sistema de embalses Andévalo-Chanza-Piedras, dispone de una capacidad de almacenamiento total de unos 1000 hm³ y regula un volumen de unos 200 hm³ al año, constituye la base de la mayor parte del consumo doméstico, agrícola e industrial de toda la zona centro y sur de la provincia de Huelva (Ministerio para la Transición Ecológica, AEMET, SAIH Confederaciones, 2024-a).
- El embalse de Beas está situado en el cauce del río Castaño, en el municipio de Beas, su capacidad máxima es de 3 hm³ y se regula completamente su capacidad en el año. Se construyó en el año 1927, cuenta con un área de 36 ha de superficie. y el agua llega desde el embalse hasta la arqueta de recepción de la ETAP de El Conquero por gravedad (Ayuntamiento de Beas, s.f.).
 - ✓ El embalse de Beas es propiedad de Aguas de Huelva constituye el origen del abastecimiento moderno de agua en la ciudad de Huelva, su uso es solo de abastecimiento y suministra hasta un 40% de su consumo.

Con el uso combinado del agua de estos embalses, se garantiza el suministro del agua de consumo humano a la ciudad onubense (Aguas de Huelva, s.f.-b).



Figura 3: Sistemas de embalses de la Andévalo-Chanza-Piedra y Beas (Aguas de Huelva, datos 2023).

POTABILIZACIÓN

La potabilización del agua implica una serie de procedimientos destinados a asegurar que el agua sea segura para el consumo humano, garantizando su calidad potable.

La fuente inicial de agua, proveniente de diversas canalizaciones, llega a la Estación de Tratamiento de Agua Potable (ETAP) ubicada en la zona elevada de la ciudad, conocida como el Conquero. Aunque esta planta fue construida en 1964, recientemente ha experimentado renovaciones y expansiones, incrementando su capacidad de tratamiento a aproximadamente 90000 m³/día.

El agua cruda que ingresa a la planta potabilizadora contiene elementos como materia orgánica, materia inorgánica y microorganismos, lo que requiere la aplicación de diversos procesos para transformarla en agua potable. La planta de el Conquero se vale de varios métodos, incluyendo pre-ozonización, decantación, filtración mediante arena, post-ozonización, filtración con carbón activado y desinfección. Una vez que el agua alcanza la condición de potable, se almacena en unos depósitos con una capacidad de 75.000 m³ y posteriormente se incorpora a la red de distribución.

En Huelva, el agua potable destinada al consumo está sujeta a rigurosos controles, con análisis detallados realizados diariamente para garantizar su entrega a todos los hogares con la máxima calidad. Estos controles se rigen por



el Real Decreto 3/2023, de 10 de enero, por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de la calidad del agua de consumo, su control y suministro (Aguas de Huelva, s.f.-c).



Figura 4: Estación de Tratamiento de Agua Potable (ETAP) el Conquero. (Aguas de Huelva, datos 2023).

En el Anexo I se muestra en detalle un esquema de la línea de tratamiento y procesos que se desarrollan en la ETAP el Conquero.

DISTRIBUCIÓN Y ALMACENAMIENTO

Desde el centro de procesamiento hasta el grifo del consumidor, se manejan diversas instalaciones para asegurar la continuidad del servicio de suministro de agua con la presión requerida.

Como medida inicial, una vez que el agua ha sido tratada para su potabilización, se dirige hacia dos extensos depósitos localizados junto a la Estación de Tratamiento de Agua Potable en El Conquero. La capacidad total de almacenamiento entre ambos depósitos asciende a 75 000 m³, desde donde se inicia la distribución a la población mediante una red municipal con diámetros que varían entre 100 y 700 mm y que abarca más de 449 km. Además, se incluye una red portuaria con una extensión de aproximadamente 62 km, diseñada para satisfacer las necesidades del Puerto Autónomo de Huelva.

Este sistema se compone de 14 248 acometidas de abastecimiento, 4 791 válvulas, 4 190 bocas de riego y además una red Arterial y de Distribución, encargadas de recibir los caudales provenientes de la Estación de Tratamiento

de Agua Potable y distribuirlos a las distintas áreas residenciales de la ciudad. Considerando la topografía del entorno y la garantía de Aguas de Huelva de mantener una presión de 2.5 kg/cm² en la acometida, se han establecido tres zonas independientes en la red de distribución: Zona Alta, Media y Baja (Aguas de Huelva, s.f.-d).

- **Zona Alta**

Esta Zona consume el 1.22% del total de la ciudad y está constituida por las calles situadas en la zona más alta de la ciudad, que corresponden a la Avda. Manuel Siurot y alrededores. La red de distribución se abastece de una arteria que sale directamente desde la ETAP, de diámetro 150 mm, a través de un bombeo para garantizar la presión mínima en la zona.

- **Zona Media**

Esta Zona consume el 28.43% del total de la ciudad, está constituida por las calles que están situadas entre la cota 25 y la cota 40, que corresponden con las Barriadas de La Orden, Torrejón, Verdelluz, Adoratrices, La Hispanidad, San Sebastian etc., y su red de distribución se abastece de tres Arterias que parten desde la ETAP, siendo sus diámetros de 300 mm, 400 mm y 500 mm. Estas arterias se conectan a un depósito elevado que es llenado por dos bombeos situados en los depósitos generales de la ETAP y suministra agua a la red de distribución.

- **Zona Baja**

Esta Zona tiene un consumo del 70.45% del total de la ciudad y, está constituida por las calles que están situadas en la zona más baja de la ciudad, que corresponden a las Barriadas de Isla Chica, zona Centro, Matadero, Las Colonias, La Merced zona Portuaria, y la zona industrial situada junto a la carretera de comunicación con la población de San Juan del Puerto, etc., y su red de distribución se abastece de dos Arterias que salen directamente de los depósitos de la ETAP, siendo sus diámetros de 600 y 700 mm.

La Red de Distribución de Aguas de Huelva está sectorizada. Esto permite elevar los principales indicadores de calidad del servicio y eliminar los factores exógenos que afectan a la micromedición. Esto es una medida para evitar las pérdidas de agua en las redes y significa un ahorro importante de agua, de recursos humanos y materiales (Aguas de Huelva, s.f.-d).

El Rendimiento Técnico Hidráulico (RTH) es el indicador con el que se mide la eficiencia de una red de distribución, es la relación entre el volumen registrado o



abonados y el volumen suministrado a la red de distribución o tratada. Este valor es interanual, es decir, se obtiene de la media de los últimos doce meses.

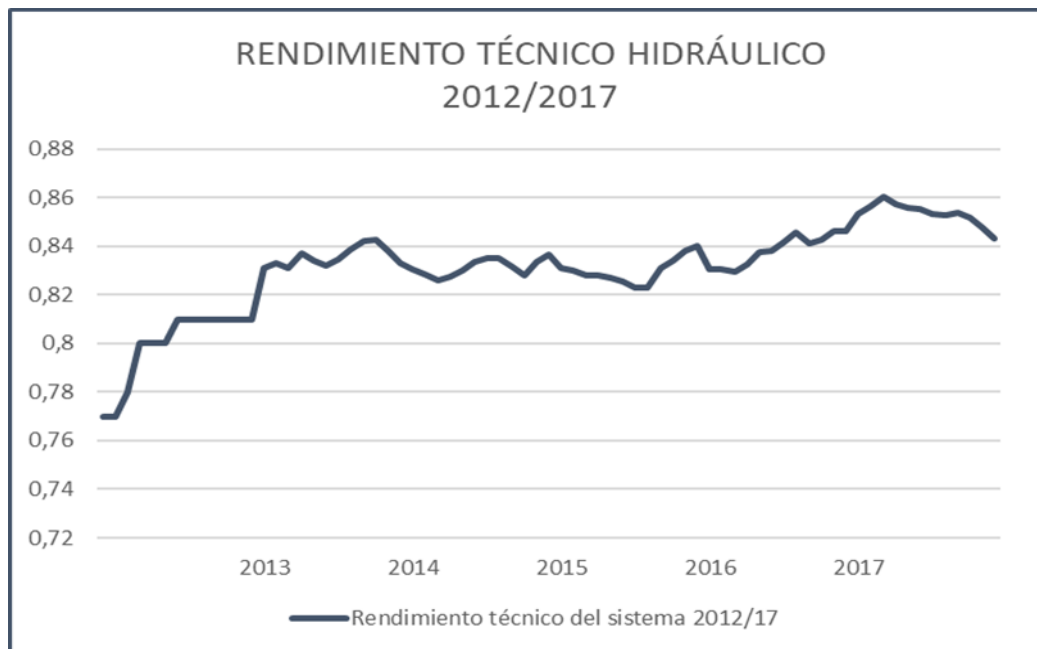


Figura 5: Gráfico del RTH de la ciudad de Huelva de 2012 a 2017 de la red de distribución. (Aguas de Huelva, datos 2023).

ALCANTARILLADO

Después de su uso, el agua residual es canalizada hacia una red de alcantarillado que facilita la recolección de las aguas residuales y pluviales, conduciéndolas hacia estaciones depuradoras para su limpieza antes de ser devueltas al medio ambiente en condiciones óptimas. Similar a la red de distribución, la red de saneamiento está compuesta por 22 estaciones de bombeo, 15 063 pozos de registro¹, 7 701 acometidas², 17 182 imbornales³ y

¹ Es aquella obra de fábrica vertical que permite el acceso al interior del alcantarillado para su inspección y mantenimiento (BOH N.º 33, 2014, p. 1708-1710)

² Es aquel conducto subterráneo colocado transversalmente a la vía pública, que sirve para transportar las aguas residuales o pluviales desde un edificio o imbornal a una alcantarilla pública (BOH N.º 33, 2014, p. 1708-1710).

³ Es aquella obra que sirve para recogida y conducción a la alcantarilla de las aguas de escorrentía de una calle (BOH N.º 33, 2014, p. 1708-1710).

una red de tuberías con diámetros que varían entre 200 y 2500 mm, abarcando una longitud total de 399 km. De esta extensión, 354 km corresponden a la red de alcantarillado general, mientras que 54 km forman la red específica de la Autoridad Portuaria.

Esta red se encarga de transportar los efluentes generados en viviendas, comercios, puerto e industrias hacia la Estación de Depuración de Aguas Residuales. Utilizando un sistema de aliviaderos, se limita el riesgo de inundaciones en situaciones extremas, con períodos de retorno siempre superiores a 10 años. Además, recoge aguas pluviales en áreas donde la red no es separativa (Aguas de Huelva, s.f.-e).



Figura 6: Red de Saneamiento. (Aguas de Huelva, datos 2023).

DEPURACIÓN

Todas las aguas residuales de Huelva son procesadas en una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR). Esta instalación se considera una especie de "fábrica de agua limpia", encargada de tratar el agua residual proveniente de la ciudad de Huelva para devolverla a la Ría en condiciones óptimas, acorde con el punto de vertido.



La EDAR ha sido diseñada para atender las necesidades de una población estimada de 180 000 habitantes, con la flexibilidad de ampliarse para dar servicio a una población de hasta 270 000 habitantes. Su capacidad de tratamiento alcanza los 58 500 m³ diarios, y cuenta con diversos procesos especializados:

- ✓ La línea de agua comprende un pretratamiento (desbaste, desarenado-desengrasado), decantación primaria, tratamiento biológico, decantación secundaria y evacuación.
- ✓ La línea de fangos incorpora un sistema de decantación, flotación, dos digestores anaerobios y un sistema de deshidratación mediante centrífugas.
- ✓ La línea de gas gestiona los gases producidos en los digestores anaeróbicos, almacenándolos en un gasómetro para utilizarlos en la cogeneración de energía eléctrica y en la agitación de los fangos en los digestores.



Figura 7: Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR). (Aguas de Huelva, datos 2023)

Un aspecto destacado es la gestión sostenible de los residuos, ya que los lodos resultantes de los procesos de la EDAR se reutilizan como abono agrícola. Estos lodos mejoran la calidad agronómica de parcelas reforestadas y contribuyen a la mejora de fincas agrícolas. Además, se aprovechan cantidades significativas de biogás para la generación de electricidad, cubriendo hasta el 60% de las necesidades energéticas de la propia depuradora (Aguas de Huelva, s.f.-f).

En el Anexo I se muestra en detalle un esquema de la línea de tratamiento y procesos que se desarrollan en la EDAR Huelva.

Complementariamente la Figura 8 ilustra de manera esquemática las instalaciones y sistemas principales que conforman las bases del Ciclo Urbano del Agua dentro de la Ciudad de Huelva descritos en este apartado.



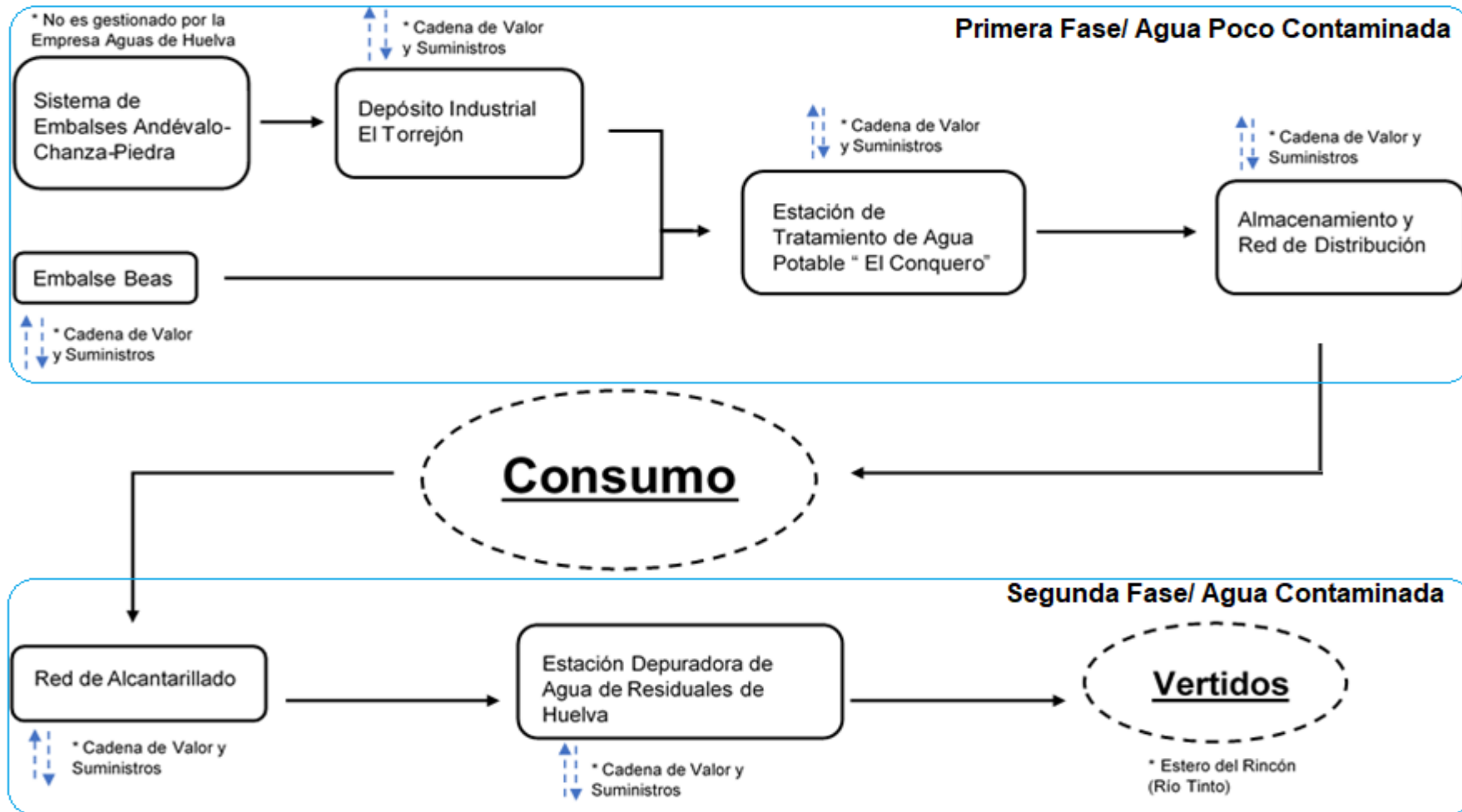


Figura 8: Esquema del Ciclo Urbano del Agua en la Ciudad de Huelva. (Elaboración Propia, 2024)



2.2 HUELLA HÍDRICA ORGANIZACIONAL

El cálculo de la Huella Hídrica del Ciclo Urbano del Agua de la Ciudad de Huelva se ha realizado siguiendo las orientaciones dadas por el “The Water Footprint Assessment Manual. Setting the Global Standard” (Manual de evaluación de la huella hídrica. Establecimiento del estándar mundial), este constituye una metodología desarrollada por la Water Footprint Network, comunidad internacional fundada desde el 2008 que ayuda a empresas, organizaciones, ONG's y gobiernos a usar de forma correcta el agua y a dar a conocer la Huella Hídrica, como objetivos persiguen promover la transición sostenible y responsable de este recurso hídrico.

La Water Footprint Network define la Huella Hídrica de una organización como el volumen total de agua utilizada, ya sea de manera directa o indirecta, en sus procesos de producción y operación.

La **Huella Hídrica directa u operacional** refleja el consumo o la afectación del agua debido a las operaciones internas de la entidad. Esta parte está bajo el control directo de la organización, aunque su relevancia a menudo es menor en comparación con la Huella Hídrica indirecta.

La **Huella Hídrica indirecta, o de la cadena de suministro**, abarca el volumen de agua dulce utilizado o afectado en la producción de todos los productos o servicios consumidos por la entidad.

Ambos componentes se desglosan a su vez en dos categorías.

En primer lugar, se encuentra la **Huella Hídrica asociada a la elaboración del producto**, que comprende el agua directamente imputable a la producción de bienes o servicios de la entidad.

Por otro lado, el segundo componente contabiliza la **Huella Hídrica de los bienes y servicios** consumidos en las operaciones y gestión general de la organización. Este último es conocido como la Huella Hídrica de las actividades generales (Hoekstra et al, 2021, p. 93)



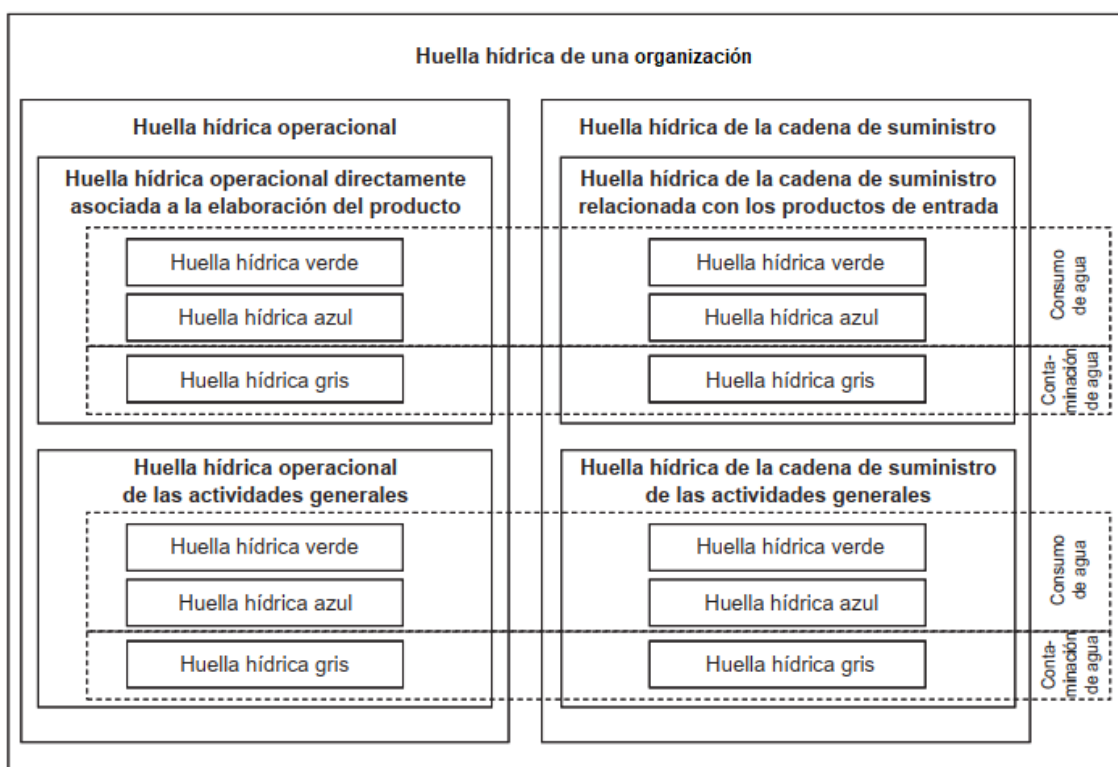


Figura 9: Esquema de la composición de la Huella Hídrica de una Organización. (Hoekstra et al, 2021, p. 93)

2.3 ESTRUCTURA METODOLÓGICA DE CÁLCULO

Siguiendo el procedimiento señalado en “The Water Footprint Assessment Manual”, el primer paso para el cómputo de la Huella Hídrica del Ciclo Urbano del Agua ha sido delimitar el alcance espaciotemporal y los límites de la misma. Se ha dividido en unidades cuyas entradas y salidas se conocen bien y que se gestionan por una única entidad, la Empresa Municipal de Aguas de Huelva.

El cálculo de la huella hídrica se le ha realizado a el año hidrológico 2023, siendo este un año que posee la mayor recopilación de datos para lograr resultados más completos del estudio.

En los apartados 2.1.2. y 2.1.3 de este trabajo pueden verse detalladas las unidades objetos de este estudio, describiéndose cada uno de sus procesos, características técnicas y operaciones, se presenta también el diagrama del ciclo urbano del agua que involucra estas unidades para facilitar su análisis y comprensión como una unidad funcional, además de mostrar los esquemas de trabajo de la Estación de Tratamiento de Agua Potable (ETAP) y la Estación

Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) que gestiona la empresa en el que pueden verse las subunidades que los conforman.

El cómputo se limitó a las unidades e instalaciones que poseen un vínculo directo en las transformaciones y operaciones que se producen con el agua, obviando oficinas y centros dedicados a procesos burocráticos, administrativos y de gestión, por presentar estos, funciones y objetivo más amplios y generales que solo la gestión del agua en la ciudad.

2.4. HUELLA HÍDRICA AZUL Y VERDE

El cálculo de la Huella Hídrica se ha llevado a cabo de manera individual para cada unidad e instalación, siguiendo el orden esquematizado en el apartado 2.1.3.

Cabe mencionar que la falta de acceso a datos sobre materiales utilizados en el funcionamiento general de las plantas ha impedido su inclusión en el cálculo. En relación con las particularidades y la información disponible para cada unidad, se han tenido en cuenta diversos factores, como el consumo de agua, la Huella Hídrica de ciertas materias primas y el consumo energético.

Las distintas Huellas Hídricas obtenidas para cada unidad se han clasificado según las categorías definidas en “**The Water Footprint Assessment Manual**”, a saber:

- **Huella Hídrica operacional directa asociada a la elaboración del producto.**
- **Huella Hídrica operacional directa de las actividades generales.**
- **Huella Hídrica de la cadena de suministro indirecta asociada a la elaboración del producto.**
- **Huella Hídrica de la cadena de suministro indirecta de las actividades generales.**

Es relevante destacar que, siguiendo la metodología propuesta por Jefferies et al., (2012), no se ha tenido en cuenta la Huella Hídrica de los materiales de construcción, mobiliario o maquinaria de cada unidad.

En cuanto a los supuestos reconocidos como uso consuntivo del agua según Hoekstra, Chapagaing, Aldaya, & Mekonnen, (2021, p. 51), se hace referencia al agua que regresa a su zona de captación en un período diferente. Sin embargo, se destaca especialmente el agua extraída durante un período de escasez y devuelta en uno de abundancia. Para los fines de este trabajo, el simple almacenamiento de agua en embalses no se considera un uso consuntivo, ya que se realiza precisamente durante períodos de abundancia y se libera en mayor medida durante etapas de insolencias.

Con el fin de determinar la Huella Hídrica del Ciclo Urbano del Agua de la Ciudad de Huelva y siguiendo las pautas plasmadas en “The Water Footprint Assessment Manual”, es fundamental realizar el balance hídrico. Para ello, se toman los datos de entradas y salidas del agua de las unidades e instalaciones definidas como partes del proceso y que operan fundamentalmente con aguas poco contaminadas o aguas de la primera fase. Con estos datos, se procede a cuantificar las pérdidas y el consumo de cada unidad, analizando la continuidad del proceso para evitar conteos repetidos en el mismo ciclo hidráulico. Estas huellas calculadas en este balance se han de caracterizar como Azul, Operacional o directa de las actividades generales.

Es importante señalar que, desarrollado este estudio, tomando el Ciclo Urbano del Agua como estructura organizacional, el producto final lo constituye el Agua registrada o facturada, esta formará parte también de la Huella Hídrica Final pero constituye un consumo más bien asociado al ciclo en general, por lo que al igual que todos los otros volúmenes este será calificado en función a su fuente y régimen de propiedad.

Este dato ha sido proporcionado por la Empresa Municipal de Aguas de Huelva S.A., es el equivalente al año de estudio 2023 con un valor de $8.559 \cdot 10^6 \text{ m}^3$

2.4.1 FUENTES DE CAPTACIÓN

Este apartado aborda el cálculo del volumen de agua evaporada como resultado de su almacenamiento en embalses. La metodología empleada sigue el enfoque propuesto por Mekonnen & Hoekstra (2011), que relaciona la superficie total del embalse con la tasa de evaporación, obtenida mediante datos tomados del estudio de estimación de la tasa de evaporación de embalses en Andalucía (García López et al, 2023), mediante la siguiente ecuación:



$$VE = (10 * \sum_{t=1}^{365} E) * A$$

Donde:

- VE: Volumen Evaporado (m³)
- E: Evaporación Diaria (mm/día)
- A: Superficie del Embalse (ha)
- i: número de días

Según el estudio de García López et al (2023), de los métodos aplicados para determinar la tasa de evaporación diaria (E (mm/día)) el que ofrece los valores más certeros son los del método de Penman-Monteith, dando una tasa anual de evaporación que se estima entre un mínimo de 1151 mm/año y un máximo de 1425 mm/año, con un valor medio de 1297 mm/año, tomándose este para el desarrollo del trabajo.

Por otro lado, como punto de comparación de los métodos empleados para cálculo de la evaporación en embalses, se han analizado dos más adicionales propuestos por Hardy & Garrido (2010). El primero calcula el Volumen Evaporado a partir de la Capacidad del Embalse, mientras que el segundo lo hace basándose en la Superficie del Embalse, ambos métodos empíricos solo podrán aplicarse a embalses con capacidades mayores a los 9 hm³ y a las 112 hectáreas de superficie de espejo de agua. Las ecuaciones son las siguientes:

- Cálculo de la evaporación a partir de la capacidad del embalse:

$$VE = 0,047 * CE - 0,415$$

- VE: Volumen Evaporado (hm³)
- CE: Capacidad del Embalse (hm³)

- Cálculo de la evaporación a partir de la superficie del embalse:

$$VE = 0,01 * SE - 1,117$$

- VE: Volumen Evaporado (hm³)
- SE: Superficie del Embalse (ha)



Estos métodos adicionales se basan en estudios realizados en embalses de la geografía española, utilizando regresión lineal para obtener ecuaciones que relacionan los parámetros mencionados. A diferencia del primer método, no consideran la tasa de evaporación específica de cada ubicación, proporcionando resultados promedios para España.

Dado que el método de Mekonnen & Hoekstra (2011) se adapta mejor a las características regionales, se adoptará como el método de referencia en este trabajo.

Mediante estos métodos se obtiene el volumen evaporado en cada embalse, sin embargo, estos pueden tener usos más allá del abastecimiento del Ciclo Urbano del Agua por lo que no todo ese volumen será imputable al mismo.

Para determinar qué porcentaje del volumen anual regulado en cada embalse se destina al Ciclo Urbano del Agua de la Ciudad de Huelva, se ha calculado y aplicado este porcentaje al Volumen Evaporado total, obteniendo así la Huella Hídrica Azul de las fuentes de suministro.

Los porcentajes se calcularon separadamente según el destino del agua, considerando la relación entre el agua tratada en el año estudiado y el promedio de agua embalsada en el mismo período.

$$VE\ Emb = \left(\frac{V\ Rec}{V\ Reg} * VE\ Total \right)$$

- VE Emb: Volumen Evaporado por Embalses perteneciente al Ciclo Hidráulico (m³)
- V Rec: Volumen Recepcionado por la ETAP del Embalse (m³)
- V Reg: Volumen Regulado por el Embalse en el año (m³)
- VE Total: Volumen Total Evaporado (m³) (Mekonnen & Hoekstra (2011))

En cuanto a la clasificación del tipo de Huella Hídrica se tiene que atender al régimen de propiedad de cada uno de los embalses:

- El embalse de Beas es propiedad de la Empresa Municipal Agua de Huelva por lo que el Volumen Evaporado se considerará Huella Hídrica Operacional Directa, asociada a la elaboración del producto.



- El agua obtenida del sistema de embalses Andévalo–Chanza–Piedras, sin embargo, es comprada. En este caso, por lo tanto, se habla de Huella Hídrica de la Cadena de Suministro/Indirecta, asociada también a la elaboración del producto.

Ambas formarán así parte de la Huella Hídrica Azul.

2.4.2 DEPÓSITO INDUSTRIAL DE ALMACENAMIENTO

Como se ha visto en el apartado 2.1.2. son dos los depósitos industriales a cielo abierto ubicados en el Torrejón, donde se recoge el agua proveniente del sistema de embalse Andévalo – Chanza – Piedras siendo luego impulsada por seis bombas hacia la ETAP. La Huella Hídrica de ambos se ha calculado de forma conjunta, teniendo en cuenta los aspectos más influyentes en la contabilidad de este indicador medioambiental.

Evaporación en depósito

Se ha tenido en cuenta la evaporación de agua en estos depósitos debido a su permanencia y a su condición de exposición a la intemperie.

Los cálculos del volumen evaporado de agua se han realizado mediante el método explicado en el apartado 2.4.1. propuesto por Mekonnen & Hoekstra (2011) tal y como se ha explicado anteriormente para los embalses de captación. Los datos de superficie necesarios de los citados elementos también han sido reflejados en el subcapítulo 2.1.2, obtenidos de las publicaciones de RETEMA (Revista Técnica de Medio Ambiente) (RETEMA, 2015) y validados por la Empresa Municipal Aguas de Huelva S.A (Aguas de Huelva, datos 2023).

Al no pertenecer estos depósitos al grupo de instalaciones que administra Aguas de Huelva la Huella Hídrica se clasificará de la Cadena de Suministro/Indirecta, asociada también a la elaboración del producto, parte de la Huella Hídrica Azul

Consumo energético

En este apartado se ha considerado la Huella Hídrica del combustible y la electricidad consumida por el grupo de bombeo de esa estación. Para su cálculo se ha tenido en cuenta la cantidad de energía utilizada, separándola según la fuente de la que proviene con datos proporcionados por la Empresa Municipal Aguas de Huelva y factores obtenidos de los Datos energéticos de Andalucía 2022 (DEA, 2022) y el (BOE-A-2015-6563) tal y como se muestran en el Anexo



III del presente trabajo. Cada una de estas cantidades se ha multiplicado por su respectiva Huella Hídrica.

Los datos medios de la Huella Hídrica de cada unidad de energía en función de su fuente se han tomado de los trabajos de Hardy & Garrido (2010) y Mekonnen et al. (2015), dando preferencia al trabajo de Hardy & Garrido por estar sus datos calculados para España frente a los datos a nivel global de Mekonnen.

En cuanto a la energía eléctrica de la red que se consume, se desconocen las fuentes concretas con las que se ha generado. Por ello se acudido a los datos ofrecidos por la Agencia Andaluza de la Energía en su informe anual (DEA, 2022) último informe más actualizado hasta la fecha, como puede verse en el Anexo V, se ha calculado la Huella Hídrica de la energía eléctrica.

La Huella Hídrica de la energía consumida se considerará de la Cadena de Suministro o indirecta, de las actividades generales, por ser esta una unidad que es gestionada por la Empresa de Aguas de Huelva.

Siguiendo las pautas marcadas por Mekonnen et al. (2015), toda la Huella Hídrica correspondiente a la energía se considerará Huella Hídrica Azul, aunque una pequeña parte de la energía proveniente de biomasa cuenta con cierta componente de Huella Hídrica Verde.

En el Anexo IV puede verse cómo se ha estimado el porcentaje de la energía eléctrica que contará como Huella Hídrica Verde a partir de un análisis de datos relativos entre el Balance Energético Andaluz (DEA, 2022), estudios sobre la biomasa en Andalucía ofrecido por la Agencia Andaluza de la Energía (Agencia Andaluza de la Energía, 2020) e investigaciones sobre el comportamiento del agua precipitada a nivel superficial (Malesu, Oduor, & Odhiambo, 2007).

2.4.3 POTABILIZACIÓN

Continuando el ciclo urbano del agua, tal y como se refleja en los anteriores acápite, para el proceso de potabilización del agua con fines de consumo la Provincia de Huelva cuenta con una Estación de Tratamiento de agua Potable “El Conquero”.



Evaporación en la ETAP

Se ha tenido en cuenta la evaporación de agua debido a su permanencia y a su condición de exposición a la intemperie en decantadores, filtros de arena y otros elementos de almacenamiento.

Para el cálculo se han tenido en cuenta datos ofrecidos por la Empresa Municipal Aguas de Huelva, datos relativos a la capacidad, cantidad, tiempos de retención y superficie de estos envases.

El Método empleado para los cálculos del Volumen Evaporado del agua se han realizado mediante las formulaciones propuestas por Mekonnen & Hoekstra (2011) tal y como se ha explicado en el apartado 2.4.1.

Esta parte de la Huella Hídrica se considerará Operacional y asociada a la elaboración del producto.

Consumo energético

El método seguido para el cálculo de esta sección es igual al descrito en el apartado 2.4.2.

La ETAP el “Conquero”, sin embargo, cuenta con una línea de placas fotovoltaicas que genera energía logrando un nivel de autosuficiencia energética. En el apartado de resultados se ha considerado y discutido este hecho y sus implicaciones.

Materias primas

El valor de la Huella Hídrica proveniente del uso de materias primas para el tratamiento de agua depende de la cantidad de material empleado en el proceso, datos obtenidos de la Empresa Municipal Aguas de Huelva y de la Huella Hídrica que implica cada unidad de material.

Los datos de cada material se han tomado de diversas fuentes, todas de consumos directos, no se han encontrado estudios relacionados con la HH de la producción de estos recursos. Para los polielectrolitos, el oxígeno y el cloruro férrico se ha acudido a bases de datos de Análisis de Ciclo de Vida (European Commission, 2024), el Análisis del Ciclo de Vida consultado para el policloruro de aluminio, permanganato potásico, hipoclorito sódico y el carbón activo han sido obtenidos de la base de Ecoinvent v3.10 (2023).



Según la materia prima y las fuentes de estos datos, esta Huella Hídrica será considerada Azul, Indirecta o de la Cadena de Suministro y asociada a la elaboración del producto.

Pérdidas y Consumos en la ETAP

Para determinar las pérdidas y el consumo asociado a la ETAP "Conquero", al calificarse esta instalación como parte de la primera fase que opera con aguas aptas para su uso o consumo y siguiendo las pautas plasmadas en "The Water Footprint Assessment Manual", se procede a realizar el balance hídrico. Para ello, se toman los datos de entrada o agua recepcionada por la ETAP, se restan los datos de salida o agua tratada, y a este resultado se le resta el agua calculada como evaporada asociada a esta instalación, evitando así conteos dobles de este indicador ambiental.

Como se describió en el apartado 2.4, la huella calculada en este balance se ha de caracterizar como Azul y Operacional/directa de las actividades generales.

2.4.4 RED DE DISTRIBUCIÓN

La Huella Hídrica de la Red de Distribución incluirá las Aguas no Registradas (pérdidas) que se den en el proceso de transporte de agua desde las ETAP hasta los clientes, y la Huella Hídrica de la energía consumida en este proceso.

Pérdidas de Distribución

El dato del que se dispone al respecto es el de Agua No Registrada que consiste en la diferencia entre el volumen distribuido a un sistema y el registrado en los contadores de los clientes (AEAS, 2020). Estos datos son proporcionados por la Empresa Municipal de Aguas de Huelva.

No puede decirse que la Huella Hídrica de la red de abastecimiento sea igual al volumen de Agua No Registrada dado que el mismo, por definición, es más amplio que las pérdidas de agua.

Según el balance hídrico propuesto por (AEAS, 2020), el Agua No Registrada cuenta con las componentes que pueden verse en la Tabla 1:



AGUA NO REGISTRADA	Consumo Autorizado No Registrado	Facturado		
		No Facturado		
	Pérdidas	Pérdidas Aparentes	Consumo no autorizado	
			Imprecisión en equipos de medida	
		Pérdidas Reales	En conducciones	
			En acometidas	
En depósitos				
		Pérdidas Técnicas Mínimas		

Tabla 1: Componentes del Agua No registrada (AEAS, 2020)

Son dos las categorías principales que componen el Agua No Registrada:

- El Consumo Autorizado No Registrado: incluye todo consumo que, pese a ser conocido, no permite la instalación viable de equipos de medición para su registro. Puede deberse al tipo de instalación o a tener un carácter temporal. No puede considerarse que suponga un volumen de Huella Hídrica imputable al Ciclo Integral del Agua pues realmente es suministrado al cliente y probablemente retorne en gran parte a la red de saneamiento.

El otro grupo es el correspondiente a las pérdidas. Este está a su vez dividido en Pérdidas Aparentes y Pérdidas Reales:

- Las Pérdidas Aparentes: pueden venir causadas tanto por fraude como por imprecisión en la medida (generalmente debido a subcontajes según (AEAS, 2020)). Pueden suponer un perjuicio económico para la compañía, pero no un gasto real de agua, por lo que es una parte del Agua No Registrada que no influirían en la Huella Hídrica de la Ciclo Urbano del Agua.
- Las Pérdidas Reales: sí que influirán en la Huella Hídrica Azul del suministro de agua pues se trata de fugas propiamente dichas y que generalmente no regresan al área de captación en un plazo corto o medio. Las Pérdidas Técnicas Mínimas representan aquel volumen de pérdidas a partir del que no se pueden reducir más.

Cabe destacar que la Red de Distribución de Aguas de Huelva está sectorizada. Esto permite elevar los principales indicadores de calidad del servicio y eliminar los factores exógenos que afectan a la micromedición. Esto es una medida para

evitar las pérdidas de agua en las redes y significa un ahorro importante de agua, de recursos humanos y materiales.

En todo caso el posible volumen de Agua No Registrada se contabilizará como Huella Hídrica Azul directa u operacional de las actividades generales.

Consumo energético

El método seguido para el cálculo de esta sección es igual al descrito en el apartado 2.4.2.

2.4.5 RED DE ALCANTARILLADO

Consumo energético

En el caso de la Red de Saneamiento el único factor que se ha considerado que influirá en el cómputo de la Huella Hídrica es el relacionado con la energía empleada y, al igual que en los casos anteriores, el proceso seguido es idéntico al descrito en el apartado 2.4.2.

2.4.6 DEPURACIÓN DE AGUA RESIDUALES

Continuando el ciclo urbano del agua, como se refleja en los acápites anteriores, para el proceso de depuración y saneamiento del agua la Provincia de Huelva cuenta con una Estación de Depuración de Aguas Residuales.

Evaporación en la EDAR

Al igual que ocurre en las ETAP el “Conquero”, la EDAR cuenta con decantadores y balsas de aireación que retienen el agua en exteriores exponiéndola a evaporación.

El procedimiento de cálculo ha sido el mismo que en el caso de las ETAP, introduciendo la superficie de agua expuesta en la fórmula dada por Mekonnen & Hoekstra (2011).

Del mismo modo, la Huella Hídrica obtenida contabilizará como operacional/directa y asociada a la elaboración del producto



Consumo energético

Se ha procedido al cálculo de la energía consumida al igual que en las unidades anteriores, siguiendo los pasos dados en el apartado 2.4.2.

La EDAR de Huelva al igual que la ETAP cuenta con placas fotovoltaicas y tiene la particularidad de contar con una línea de biogás que genera energía gracias a motores de cogeneración logrando un elevado grado de autosuficiencia energética. En el apartado de resultados se ha considerado y discutido este hecho y sus implicaciones.

Materias primas

Lo referente a la huella hídrica de las materias primas empleadas en la EDAR de Huelva, mantiene las mismas fuentes de datos que la ETAP el Conquero, fueron utilizadas como herramientas para su detección, bases de datos de la Metodología de Análisis del Ciclo de Vida determinando así cantidades de agua consumida por unidad de productos.

En el Anexo VII se detallan las fuentes y metodologías empleadas en estos datos.

Según la materia prima, esta Huella Hídrica podrá contener componente Azul, Verde y/o Gris, pero en todo caso será considerada Indirecta o de la Cadena de Suministro y asociada a la elaboración del producto.

Consumo Directo en la EDAR

Esta fase viene dada por el uso del recurso en las actividades propias de los empleados que operan en la instalación (uso de baños y sanitarios, consumo de agua potable para beber, riego de jardines y áreas verdes, limpieza de oficinas y áreas comunes, servicios de pantry y cafetería, etc).

Producto a la naturaleza de este consumo según la metodología, este gasto de agua se considerará Huella Hídrica Azul Operacional de las actividades generales.

2.5 HUELLA HÍDRICA GRIS

La Huella Hídrica Gris está asociada a la severidad de la contaminación del agua dulce provocada por las actividades humanas. En el modelo Water Footprint

Network (WFN) se presenta la HH Gris como el volumen de agua dulce requerido para asimilar la carga de contaminantes basado en las concentraciones naturales y los estándares de calidad de agua.

El método de cálculo aportado por el manual de evaluación de la huella hídrica incluye la siguiente ecuación para fuentes de contaminación puntuales:

$$HH_{Gis} = \frac{Efl * C_{efl} - Abstr * C_{pre}}{C_{max} - C_{nat}}$$

Donde:

- Efl: volumen del efluente vertido (volumen/tiempo)
- C_{efl}: concentración del contaminante en el efluente (masa/volumen)
- Abstr: volumen de agua que se abstrae (volumen/tiempo)
- C_{pre}: concentración previa en la masa de agua (masa/volumen)
- C_{max}: concentración máxima establecida por los estándares de calidad ambiental (masa/volumen).

La contaminación de las aguas es consecuencia inevitable de las actividades humanas, las cuales, alteran y modifican las características iniciales del agua o calidad, condicionando la viabilidad para su aplicación según ciertos usos del agua. El estándar de calidad está determinado por la legislación en vigor que aplica un grado de protección en relación con los usos posteriores (C_{máx}) o con su función ecológica según el destino previsto (C_{nat}), es decir, cuando se trata del cauce receptor en función de dónde se localice el vertido. Para el cálculo de la HH Gris se tiene en cuenta la capacidad de asimilación del cauce receptor independientemente de que se hayan superado o no los estándares de calidad en el vertido. La HH Gris se puede cuantificar con diferentes parámetros, pero cuando existen varios contaminantes el estándar de la WFN define que se debe considerar la HH Gris del contaminante más significativo (Hoekstra et al, 2021, p. 57-65).

A pesar de que la naturaleza tiene la capacidad de asimilar cantidades limitadas de contaminación del agua, las fuentes de agua dulce se ven abrumadas por la cantidad de contaminantes de las aguas residuales. Habitualmente las mismas aguas superficiales son proveedores de agua potable y destinatarios de aguas residuales. El riesgo ambiental debido a la contaminación del agua es un problema continuo de todos los días. A pesar de que los sistemas municipales de tratamiento de aguas residuales usan tecnología moderna para limpiar el



agua antes de devolverla al medio ambiente, el proceso se ha mantenido prácticamente igual durante décadas, con el tiempo se han detectado presencias de nuevos compuestos en las aguas residuales que las plantas de depuración no tienen la capacidad de tratar.

Continuando con la metodología seguida en capítulos anteriores, con fines de determinar el cálculo de la Huella Hídrica Gris en el Ciclo Urbano del Agua, se sintetiza el análisis solo en la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) de Huelva, pues a diferencia de otras instalaciones del ciclo, esta constituye la instalación que dentro de sus operaciones se caracteriza por tratar y manejar grandes volúmenes de aguas contaminadas, culminando con vertidos que la convierte en la instalación más relevante para este cálculo.

2.5.1 PUNTO DE VERTIDO Y MEDIO RECEPTOR

El “Estero del Rincón” es el medio receptor de los vertidos que genera la EDAR de Huelva luego de sus operaciones de depuración de aguas residuales que allí convergen, según la metodología de la Water Footprint Network se necesita conocer detalles físicos-químicos de este medio, tomándolos como referencia para determinar la HH Gris.

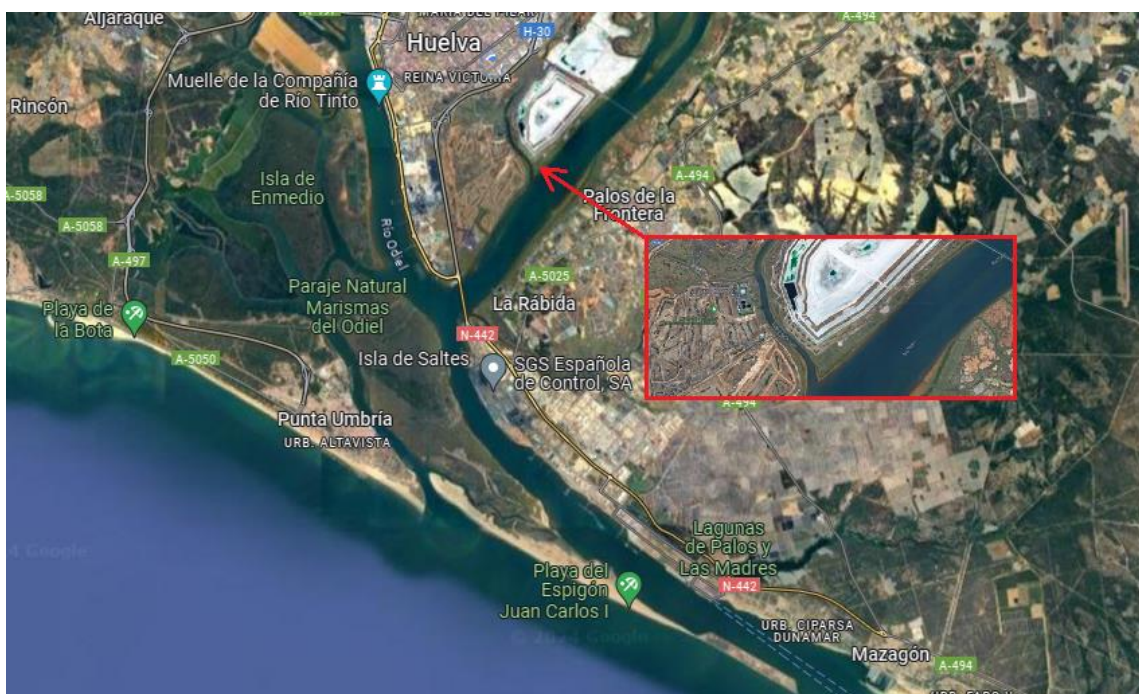


Figura 10: Estero del Rincón (Google Map, Elaboración Propia, 2024)

El Estero del Rincón se encuentra en la zona de transición donde el río Tinto se mezcla con las aguas del Atlántico, creando un ecosistema estuarino característico. Según datos obtenidos de la Red de Información Ambiental de Andalucía (REDIAM) dentro de su portal de la Red de Control de Calidad de las Aguas (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2023) se tomaron los últimos datos físicos-químicos (2023) de la estación de muestreo “62T3050”, punto de convergencia entre el Estero y la Ría del Tinto.

Parámetro	Unidad	Resultado	Parámetro	Unidad	Resultado
pH Secchi	Unid. pH	6,19	Clorpirifos	µg/L	<0,01
Fósforo Total	mg/L	0,48	Clorfenvinfos	µg/L	<0,01
Turbidez	NTU	4,67	Atrazina	µg/L	<0,05
Sólidos en Suspensión	mg/L	13,0	Aldrin	µg/L	<0,0003
Oxígeno Disuelto Superficie	mg/L	6,2	Alacloro	µg/L	<0,0005
Clorofila A	mg/m3	<0,1	Isoproturon	µg/L	<0,05
Oxígeno Disuelto Fondo	mg/L	6,0	Endosulfan beta	µg/L	0,000669
Oxígeno Disuelto Secchi	mg/L	6,1	Isodrin	µg/L	<0,0003
Oxígeno Disuelto Superficie	%	78	Endosulfan Sulfato	µg/L	0,000394
Oxígeno Disuelto Fondo	%	79	Endosulfan alfa	µg/L	<0,00015
Oxígeno Disuelto Secchi	%	78	Diuron	µg/L	<0,05
Cromo VI	mg/L	<0,002	Endrin	µg/L	<0,0003
Profundidad toma Fondo	m	3,79	Cadmio Disuelto	µg/L	12,3
Profundidad toma Secchi	m	0,53	Cobre Disuelto	µg/L	687
Profundidad toma Superficie	m	1,03	Cianuros Totales	µg/L	<5
Salinidad Superficie	-	30,41	Cromo Disuelto	µg/L	<2
Salinidad Secchi	-	29,54	Mercurio Disuelto	µg/L	<0,01
Salinidad Fondo	-	34,19	Níquel Disuelto	µg/L	17,0
Temperatura Superficie	°C	18,00	Arsénico Disuelto	µg/L	16,1
pH Superficie	Unid. pH	6,20	Selenio Disuelto	µg/L	<2
Transparencia	m	0,50	Plomo Disuelto	µg/L	7,83
Cinc Disuelto	µg/L	1145	Fosfatos	mg P/L	0,308
Conductividad Fondo (25°C)	mS/cm	52,2	Amonio	mg/L	0,50
Conductividad Secchi (25°C)	mS/cm	45,9	Nitratos	mg/L	1,62
Conductividad Superficie (25°C)	mS/cm	47,1	Nitrógeno Total	mg/L	1,45
Temperatura Fondo	°C	18,43	Nitritos	mg/L	0,222
pH Fondo	Unid. pH	6,11	Temperatura Secchi	°C	17,80
Terbutilazina	µg/L	<0,05			
Trifluralin	µg/L	<0,0005			
Simazina	µg/L	<0,05			
Dieldrin	µg/L	<0,0003			

Tabla 2: Datos físico-químicos portal Rediam de estación de muestreo “62T3050”.

Tomando estos datos físico-químicos del Estero del Rincón, se justifica que la calidad del agua se ve influenciada por la mezcla de agua dulce y salada, lo que afecta sus parámetros de calidad. La salinidad elevada oscilando sobre los 30 ppt (partes por mil), junto con la presencia de metales disueltos como el zinc, cadmio, cobre, níquel, arsénico, y plomo, refuerza la clasificación del estuario como un cuerpo de agua salobre. Además, los niveles de fósforo, nitratos, y otros contaminantes son característicos de un ambiente de transición que no se utiliza directamente para el uso y consumo humano o el riego agrícola.

En estos casos, dado que el efluente de la planta no se vierte a una cuenca de agua dulce, no se tiene una Huella Hídrica Gris operacional asociada al vertido del agua tratada. Por lo tanto, la Huella Hídrica proviene mayoritariamente de la parte indirecta, es decir, del consumo de agua asociado a la producción de

reactivos químicos o energía que posteriormente se usa en la planta de tratamiento.

Al no ser el medio receptor un cuerpo de agua dulce y no cumplir con los criterios necesarios para ser considerado como tal, según la metodología empleada Water Footprint Network y el objetivo perseguido en esta investigación el cálculo de la Huella Hídrica Gris (HHG) se considera irrelevante o cero en este contexto. La metodología se centra en la protección y gestión de los recursos de agua dulce, y en este caso, el Estero del Rincón, al ser un estuario salobre, queda excluido de esta evaluación específica. (Hoekstra et al, 2021, p. 151) (RED EsAgua, s.f.-b).



CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El presente capítulo constituye el núcleo central de la investigación, donde se lleva a cabo el cálculo y análisis detallado de la Huella Hídrica (HH) en el ciclo urbano del agua de la ciudad de Huelva. Siguiendo la estructura metodológica establecida en el Capítulo 2, se aborda la evaluación exhaustiva de cada etapa del ciclo urbano del agua, desde la captación hasta la depuración y vertido, con el objetivo de comprender y cuantificar el impacto hídrico asociado a las diferentes actividades y procesos involucrados en su gestión.

Este análisis detallado permitirá obtener una visión integral de la sostenibilidad hídrica del sistema urbano de Huelva, identificando áreas críticas, oportunidades de mejora y posibles estrategias de mitigación. Asimismo, servirá como base para la toma de decisiones informadas en materia de gestión del agua, orientadas hacia un uso más eficiente y responsable de este recurso vital en el contexto urbano.

3.1. HUELLA HÍDRICA AZUL Y VERDE DE CADA UNIDAD

3.1.1. FUENTES DE CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Evaporación

Según se ha visto en el apartado 2.1.2. las características de los embalses objeto de estudio son las que se muestran en la Tabla 3:

Fuentes	Superficies (ha)	Capacidad (hm ³)	Volumen Anual Regulado (hm ³ /año)	Evaporación Penman-Monteith (mm/año)*
Embalses Andévalo-Chanza-Piedras	6 665	1 000	200	1 297
Beas	36	3	2.6	1 297
Depósitos del Torrejón	2	0.12		1 297

Tabla 3: Características de Embalses y Depósitos.

(*): Datos tomados del estudio de estimación de la tasa de evaporación de embalses en Andalucía (García López et al, 2023)

Aplicando la fórmula propuesta por Mekonnen & Hoekstra (2011) tal y como se ha descrito en el apartado 2.4.1. se obtienen los siguientes resultados:

- Volumen total Evaporado Andévalo-Chanza-Piedras: $8.645 \cdot 10^7 \text{ m}^3$
- Volumen total Evaporado Beas: $4.669 \cdot 10^5 \text{ m}^3$
- Volumen total Evaporado Depósitos del Torrejón: $2.594 \cdot 10^4 \text{ m}^3$

A título comparativo, se muestran los resultados obtenidos por los métodos propuestos por Hardy & Garrido (2010) en el embalse del Andévalo-Chanza-Piedras, a Beas y Torrejón no se les aplica por no cumplir con los requisitos mínimos de capacidad y superficie respectivamente.

Cálculo a partir de la capacidad del embalse:

- Volumen total Evaporado Andévalo-Chanza-Piedras: $4.659 \cdot 10^7 \text{ m}^3$

Cálculo a partir de la superficie del embalse:

- Volumen total Evaporado Andévalo-Chanza-Piedras: $6.553 \cdot 10^7 \text{ m}^3$

Puede verse que los resultados obtenidos son muy dispares en función del método empleado, pero se encuentran en el mismo orden de magnitud. Como se ha indicado anteriormente el método de referencia para este trabajo será el de Mekonnen & Hoekstra (2011) pues al incluir en su análisis la tasa de evaporación se ajusta mejor a características de cada región, mientras que los otros dos son aproximaciones generales a todo el territorio español (Díaz Alcaide, Martínez Santos, & Willaarts, 2015).

En el estudio llevado a cabo por López Moreno (2008) no obstante, se deduce que la variabilidad entre los resultados es frecuente y no únicamente determinada por las características climáticas de la zona. Las características físicas de cada embalse son también de gran importancia, por lo que los resultados de esta sección serán más bien orientativos.

Para hallar el volumen evaporado imputable al Ciclo Integral del Agua se ha comparado el volumen total regulado de los embalses con la cantidad de agua empleada para el Ciclo Integral del Agua.

Siguiendo el diseño metodológico plasmado en el apartado 2.4.1 se obtiene:

Datos:

- $V_{\text{Rec}}_{\text{Andévalo-Chanza-Piedras}}: 8.454 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (Volumen Recepcionado por la ETAP de los Embalses Andévalo-Chanza-Piedras)
- $V_{\text{Rec}}_{\text{Beas}}: 2.590 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (Volumen Recepcionado por la ETAP del Embalse de Beas)
- $V_{\text{Reg}}_{\text{Andévalo-Chanza-Piedras}}: 2 \cdot 10^8 \text{ m}^3$ (Volumen Regulado en el año por los Embalses Andévalo-Chanza-Piedras)
- $V_{\text{Reg}}_{\text{Beas}}: 3 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (Volumen Regulado en el año por el Embalse de Beas (Capacidad Total))
- $VE_{\text{Total}}_{\text{Andévalo-Chanza-Piedras}}: 8.645 \cdot 10^7 \text{ m}^3$ (Volumen Total Evaporado de los Embalses Andévalo-Chanza-Piedras)
- $VE_{\text{Total}}_{\text{Beas}}: 4.669 \cdot 10^5 \text{ m}^3$ (Volumen Total Evaporado del Embalse de Beas)
- $VE_{\text{Total}}_{\text{Torrejón}}: 2.594 \cdot 10^4 \text{ m}^3$ (Volumen Total Evaporado de los depósitos el Torrejón)

Cálculo del Volumen Evaporado (VE Emb) perteneciente a los Embalses Andévalo-Chanza-Piedras:

$$VE_{\text{Emb}}_{\text{Andévalo-Chanza-Piedras}} = (8.454 \cdot 10^6 \text{ m}^3 / 2 \cdot 10^8 \text{ m}^3) \cdot 8.645 \cdot 10^7 \text{ m}^3$$

$$VE_{\text{Emb}}_{\text{Andévalo-Chanza-Piedras}} = \mathbf{3.654 \cdot 10^6 \text{ m}^3}$$

Este resultado se tomará como HHA imputable a la evaporación de este embalse relacionado con el Ciclo Urbano del Agua de la Ciudad de Huelva. Al no pertenecer estas instalaciones a la administración de la Empresa Municipal de Aguas de Huelva S.A. (EMAHSA), la HH será clasificada como Indirecta o de la Cadena de Suministro, asociada a la elaboración del producto.

Cálculo del Volumen Evaporado (VE Emb) perteneciente al Embalse de Beas:

$$VE_{\text{Emb}}_{\text{Beas}} = (2.590 \cdot 10^6 \text{ m}^3 / 3 \cdot 10^6 \text{ m}^3) \cdot 4.669 \cdot 10^5 \text{ m}^3$$

$$VE_{\text{Emb}}_{\text{Beas}} = \mathbf{4.047 \cdot 10^5 \text{ m}^3}$$

Esta HH se calificará como Huella Hídrica Azul Operacional asociada a la elaboración del producto.

Los depósitos del Torrejón se tomarán sus valores absolutos de agua evaporada ($\mathbf{2.594 \cdot 10^4 \text{ m}^3}$) por usarse estos completamente al Ciclo Integral del Agua de la

ciudad, al no pertenecer estas instalaciones a la administración de la EMAHSA, esta Huella Hídrica se clasificará como Indirecta o de la Cadena de Suministro, asociada a la elaboración del producto.

Energía Consumida

En la unidad de bombeo de los depósitos del Torrejón tal y como se ha justificado en el apartado 2.4.2., se le calcula también la Huella Hídrica debida a la energía consumida, pues constituye este un aspecto influyente en la contabilidad de este indicador medioambiental.

En la Tabla 4 se detallan los consumos de combustibles y energía de esta estación de bombeo para el año hidrológico en estudio 2023, datos proporcionados por la Empresa Municipal Aguas de Huelva, S.A.

Fuente	Energía Consumida				
	Gasóleo		Energía Eléctrica	Energía Generada Autoconsumida por Energía Solar	Energía Generada Autoconsumida por Cogeneración
Estación de Bombeo (El Torrejón)	Ltros	kWh	kWh	kWh	kWh
				1 448 260	

Tabla 4: Consumo energético fuentes de Captación y Almacenamiento (Aguas de Huelva, datos 2023)

El procedimiento seguido y los cálculos realizados para obtener el valor de la Huella Hídrica de la energía consumida pueden consultarse en el Anexo VI. Como puede verse en el citado anexo, la Huella Hídrica Azul de la energía consumida por la Estación de Bombeo del Depósitos del Torrejón ascendió en 2023 a 1 649 m³ mientras que la Verde fue 44 m³.

Como se ha indicado en el apartado 2.4.2, al sí ser esta estación gestionada por la EMAHSA y provenir del uso de combustibles y energías, será considerada Huella Hídrica de la Cadena de suministro de las actividades generales.

Fuentes	Procesos	Componente	Categoría Organizacional	Valor (m ³)	Valor Total (m ³)
Andévalo-Chanza-Piedras	Evaporación	HH Azul	Cadena de suministro/indirecta asociada a la elaboración del producto	3.654·10 ⁶	3.654·10 ⁶

Beas	Evaporación	HH Azul	Operacional/directa asociada a la elaboración del producto	$4.047 \cdot 10^5$	$4.047 \cdot 10^5$
Depósitos del Torrejón	Evaporación	HH Azul	Cadena de suministro/indirecta asociada a la elaboración del producto	$2.594 \cdot 10^4$	$2.594 \cdot 10^4$
	Consumo de Energía	HH Azul	Cadena de suministro/indirecta de las actividades generales	1 649	1 693
		HH Verde	Cadena de suministro/indirecta de las actividades generales	44	

Tabla 5: Resumen de Huella Hídrica en las fuentes de captación y almacenamiento del Ciclo Urbano del Agua de la Ciudad de Huelva.

3.1.2. POTABILIZACIÓN

En esta etapa del ciclo urbano del agua de la ciudad la instalación objeto de análisis la constituye la Estación de Tratamiento de Agua Potable “El Conquero” (ETAP).

Evaporación en la ETAP

A continuación, se detallan los depósitos de la ETAP que contienen agua propicia a la evaporación debido a su permanencia y a su condición de exposición a la intemperie, así como la superficie de cada uno de ellos.

Siguiendo la metodología desarrollada en el apartado 2.4.3, a partir de esa superficie se calculará el volumen de agua evaporado mediante la fórmula propuesta por Mekonnen & Hoekstra (2011) aplicando la correspondiente tasa de evaporación.

Los datos de superficies de agua han sido aportados por la EMAHSA corroborándose estos también por medidas de ortofotos aéreas (Google Map).

Depósitos de la ETAP “Conquero”	Cantidad	Área individual (m ²)	Área Total (m ²)	Evaporación Penman-Monteith (mm/año)*
Decantadores estáticos	10	225	2 250	1 297
Filtros de arena	9	56	504	1 297
Arqueta de mezcla y coagulación.	6	Varía	90	1 297

Tabla 6: Características geométricas de depósito dentro de la ETAP el Conquero expuestos a evaporación (Aguas de Huelva, datos 2023)

(*): Datos tomados del estudio de estimación de la tasa de evaporación de embalses en Andalucía (García López et al, 2023)

Cálculo:

- **Área Superficial Total** = A. Decantadores Estáticos + A. Filtros de arena + A. Arqueta de mezcla y coagulación.
- **Área Superficial Total** = 2 250 m² + 504 m² + 90 m²
- **Área Superficial Total** = 2 844 m²-0.284 ha

Fórmula (Mekonnen & Hoekstra, 2011)

- **Volumen Evaporado** = 10 x Evaporación Diaria (García López et al, 2023) x Área Superficial
- **Volumen Evaporado** = 10 x 1297 mm/año x 0.284 ha
- **Volumen Evaporado** = 3 688 m³

Esta parte de la Huella Hídrica se considerará Azul Operacional y asociada a la elaboración del producto.

Energía Consumida en la ETAP

La energía consumida también constituye un suministro importante en el cálculo de esta instalación

En la Tabla 7 se detallan los consumos de combustibles y energía de esta estación de tratamiento para el año hidrológico en estudio 2023, datos proporcionados por la Empresa Municipal Aguas de Huelva, S.A.

Fuente	Energía Consumida				
	Gasóleo		Energía Eléctrica	Energía Generada Autoconsumida por Energía Solar	Energía Generada Auto-consumida por Cogeneración
ETAP el "Conquero"	Ltros	kWh	kWh	kWh	kWh
			1 299 536	183 129	

Tabla 7: Consumo energético Instalación ETAP el "Conquero" (Aguas de Huelva, datos 2023)

Como se nombra en el apartado 2.4.3 la ETAP cuenta con una línea de placas fotovoltaicas que genera un nivel de autosuficiencia energética representando, para este año 2023 un 12.4% de su consumo total

Como ejemplo, se ha estimado la Huella Hídrica que habría resultado si los 183129 kWh de energía autoproducida hubieran sido consumidos desde la red eléctrica, basándose en los datos calculados en el Anexo V.

Cálculo:

- **HH ahorrada** = $183\,129\text{ kWh} \times 1.169 \cdot 10^{-3}\text{ m}^3/\text{kWh} = 214\text{ m}^3$
- **HH ahorrada Azul** (97.41%) = 209 m^3
- **HH ahorrada Verde** (2.59%) = 5 m^3

Observando el Anexo VI, se puede resumir que la Huella Hídrica Azul de la energía consumida por la ETAP el "Conquero" para el año 2023 fue de $1\,480\text{ m}^3$ mientras que la Verde fue de 39 m^3 , tomándose estas como Huella Hídrica de la Cadena de suministro de las actividades generales.

Materias primas consumida en la ETAP

En la Tabla 8 se presentan los consumos de materias primas de la ETAP el "Conquero" durante este año de estudio 2023, así como la Huella Hídrica asociada al uso de un kilogramo de cada material.

Los detalles sobre el origen de los valores de la Huella Hídrica de cada producto se encuentran en el Anexo VII.



Instalación	Materia	Cantidad (kg)	Componente de la HH	HH en m ³ /kg	HH por componente (m ³)
ETAP el "Conquero"	Oxígeno (para formar Ozono)	100 853	Azul	0.032	3 227
	Policloruro de aluminio	590.260	Azul	0.596	3.518·10 ⁵
	Permanganato Potásico	3 095	Azul	0.564	1 746
	Hipoclorito Sódico	211 159	Azul	2.081	4.394·10 ⁵
	Carbón Activo	98 640	Azul	0.192	1.894·10 ⁴

Tabla 8: Consumo de materias primas en Instalación ETAP el "Conquero" (Aguas de Huelva, datos 2023)

En resumen, se puede afirmar que la Huella Hídrica del consumo de materias primas en la ETAP "El Conquero" de la ciudad de Huelva durante el año 2023 fue de $8.151 \cdot 10^5$ m³ de Huella Hídrica Azul y será considerada como Huella Hídrica de la Cadena de Suministro/Indirecta asociada a la elaboración del producto.

Pérdidas y consumo en la ETAP

Siguiendo lo descrito en el apartado 2.4.3., para identificar las pérdidas y el consumo en la ETAP "Conquero", se lleva a cabo un balance hídrico. Este proceso implica registrar los datos de entrada de agua recibida por la ETAP, restar los datos de salida de agua tratada, y luego deducir el agua evaporada calculada asociada a la instalación, de manera que se eviten conteos dobles de este indicador ambiental. Estos datos usados son los correspondientes al año en estudio 2023 y han sido proporcionados por la EMAHSA.

Cálculo:

- **Pérdidas/Consumo ETAP** = (entrada o agua recepcionada - salida o agua tratada) – agua evaporada ETAP.
- **Pérdidas/Consumo ETAP** = $(1.104 \cdot 10^7 \text{ m}^3 - 1.075 \cdot 10^7 \text{ m}^3) - 3 688 \text{ m}^3$
- **Pérdidas/Consumo ETAP** = $2.883 \cdot 10^5 \text{ m}^3$

La huella calculada en este balance se ha de caracterizar como Azul y Operacional o directa de las actividades generales.

Fuentes	Procesos	Componente	Categoría Organizacional	Valor (m ³)	Valor Total (m ³)
ETAP el "Conquero"	Evaporación	HH Azul	Operacional/directa asociada a la elaboración del producto	3 688	3 688
	Consumo de Energía	HH Azul	Cadena de suministro/indirecta de las actividades generales	1 480	1 519
		HH Verde	Cadena de suministro/indirecta de las actividades generales	39	
	Materias primas	HH Azul	Cadena de suministro/indirecta asociada a la elaboración del producto	8.151·10 ⁵	8.151·10 ⁵
	Pérdidas/Consumo	HH Azul	Operacional/directa de las actividades generales	2.883·10 ⁵	2.883·10 ⁵

Tabla 9: Resumen de Huella Hídrica en las fuentes de Potabilización del Ciclo Urbano del Agua de la Ciudad de Huelva.

3.1.3. RED DE DISTRIBUCIÓN

Para determinar la huella hídrica en esta fase del Ciclo Urbano del Agua de la Ciudad se ha seguido el procedimiento descrito en el apartado 2.4.4.

Pérdidas de Distribución

Para esto se han utilizado los datos proporcionados por la EMAHSA que a continuación se detallan:

- **Agua Tratada:** $1.075 \cdot 10^7$ m³
- **Agua Registrada o Facturada:** $8.795 \cdot 10^6$ m³
- **Rendimiento Técnico Hidráulico:** 82%

Tomados estos datos se obtiene que el porcentaje de Agua No Registrada que la Ciudad de Huelva arroja en este año de estudio 2023 es del 18%, encontrándose entre los mejores de España. Según la Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento (AEAS, 2022) y datos obtenidos del Instituto Nacional de Estadísticas (INE, 2020), España para el 2020 último dato

reportado registraba valores de Agua No Registrada que rondan entre 23-25% incluyendo pérdidas aparentes y reales, valor éste mucho mayor que el obtenido en la Ciudad de Huelva. A nivel mundial la media es todavía mayor, en torno a un 30-35% (López Farias & Rokkjaer, 2015).

Tal y como se ha visto, sólo parte de ese volumen podría imputarse al Ciclo Urbano del Agua como Huella Hídrica Azul pues habría que descontar tanto el Consumo Autorizado No Registrado como las Pérdidas Aparentes, quedando únicamente las Pérdidas Reales.

No obstante, Aguas de Huelva (EMAHSA), como empresa encargada de gestionar el ciclo del agua en la ciudad, se esfuerza por asegurar el uso eficiente de este recurso. Han implementado diversas estrategias para controlar tanto las pérdidas de agua en la red como el uso indebido del mismo. Un sistema de telecontrol monitorea la red de distribución, recopilando y analizando diariamente los datos obtenidos por los equipos de campo. Este análisis permite conocer el estado real del sistema, facilitando la toma de decisiones en cuanto a mantenimiento, operación e inversión.

Además, se ha desarrollado un Sistema de Información Geográfica (GIS) para el municipio, que ha optimizado el uso sostenible de la red de suministro. Esta herramienta ha mejorado significativamente los procesos de lectura y facturación, beneficiando a los ciudadanos.

Para mejorar la calidad del servicio y reducir las pérdidas de agua, se ha implementado un sistema de sectorización en la red de agua potable. Este enfoque no solo elimina los factores externos que afectan la micromedición, sino que también representa un ahorro considerable de agua, recursos humanos y materiales. (Aguas de Huelva, s.f.-d)

A continuación, se describen algunas de estas herramientas que forman parte de esta infraestructura tecnológica y de gestión antes descritas:

- Unidades Remotas de Información (URI). Son sensores conectados a la red de comunicaciones de aguas de Huelva, bien por vía radio bien por vía de comunicaciones inalámbricas GPRS / 3G (telefonía móvil) que transmiten al centro de control datos y reciben órdenes para variar consignas de funcionamiento.
- Sistema de Información Geográfica (GIS). Sistema para la gestión, análisis y visualización de la información espacial. La potencialidad del



uso de esta herramienta en el análisis y planificación de las infraestructuras hidráulicas de la ciudad de Huelva permite tener geolocalizadas todas las tuberías, válvulas, entronques, ramales, bombes. También se desarrollan modelos matemáticos que simulan distintas alternativas de funcionamiento de la red con actuaciones de mejora de la misma.

- Gestión de Órdenes Telemáticos sobre el terreno (GOT), es una estrategia de gestión que aprovecha las tecnologías de la información y la comunicación para mejorar la eficiencia, precisión y efectividad de las operaciones realizadas fuera de la oficina o el centro de control. Implica una mejora en los tiempos de respuesta, y una mayor agilidad en la gestión de los partes de trabajo diarios prescindiendo así del papel tradicional.

Todo lo antes descrito es lo que ha hecho que la empresa cuente con uno de los Rendimientos Técnicos Hidráulicos mejores del país. Por lo tanto, de cara a este trabajo, se tomará el volumen completo de Agua No Registrada como Huella Hídrica Azul, con lo que probablemente se esté sobreestimando el valor de la misma.

Con fines ilustrativos se ha acudido a los últimos datos del 2020 proporcionados por el del Instituto Nacional de Estadísticas (INE, 2020), tanto los datos medios de España como los de la Comunidad de Andalucía.

España:

- **Agua Suministrada:** 4 243.555 hm³
- **Agua Registrada en Contadores:** 3 177.815 hm³
- **Agua No Registrada:** 1 065.740 hm³ – 25%
- **Pérdidas Reales:** 651.826 hm³
- **Pérdidas Aparentes:** 413.914 hm³
- **Rendimiento Técnico Hidráulico:** 75%

Andalucía:

- **Agua Suministrada:** 792.785 hm³
- **Agua Registrada en Contadores:** 571.979 hm³
- **Agua No Registrada:** 220.806 hm³ – 28%
- **Pérdidas Reales:** 129.604 hm³



- **Pérdidas Aparentes:** 91.202 hm³
- **Rendimiento Técnico Hidráulico:** 72%

Es evidente que el coeficiente medio de Agua No Registrada en España (25%) y en Andalucía (28%) es significativamente más alto que el del Ciclo Integral del Agua de la Ciudad de Huelva, casi duplicando este porcentaje.

La comunidad de Andalucía muestra una similitud notable con la media nacional, aunque con valores ligeramente inferiores. Esto subraya la necesidad de continuar mejorando la eficiencia y optimización de la gestión hídrica en la región Andaluza.

Estos datos también reflejan la eficacia y calidad de los servicios prestados por la Empresa Municipal de Aguas de Huelva, destacando su desempeño en comparación tanto con la comunidad autónoma como con el país en general.

En resumen, el volumen total de Agua No Registrada en el Ciclo Integral del Agua fue de $1.957 \cdot 10^6$ m³. Este volumen se contabilizará como Huella Hídrica Azul Operacional de las actividades generales, aunque es reconocido como una posible sobreestimación y se sugiere un análisis más detallado de las Pérdidas Reales.

Energía Consumida

En la Tabla 10, al igual que en los apartados anteriores, se detalla el consumo de energía que influye en la contabilidad de este indicador medioambiental. Además de la energía empleada para el abastecimiento propiamente dicho, en este apartado se ha incluido la destinada al mantenimiento de redes y al funcionamiento de la red en general.

Fuente	Energía Consumida				
	Gasóleo		Energía Eléctrica	Energía Generada Autoconsumida por Energía Solar	Energía Generada Autoconsumida por Cogeneración
Unidades Remotas de Información (URI)	Ltros	kWh	kWh	kWh	kWh
			3 426		

Tabla 10: Consumo energético en la etapa de Abastecimiento (Aguas de Huelva, datos 2023)

El detalle del procedimiento y los cálculos realizados para determinar la Huella Hídrica asociada al consumo de energía se encuentra en el Anexo VI.

En dicho anexo se observa que, en 2023, para la etapa de Abastecimiento del Agua dentro del ciclo del agua de la ciudad, la Huella Hídrica correspondiente a la energía utilizada fue de 4 m³ contabilizando toda como azul.

Tal como se mencionó en el apartado 2.4.2, la Huella Hídrica resultante del uso de combustibles y energía se clasifica como Huella Hídrica de la Cadena de Suministro de las actividades generales.

Fuentes	Procesos	Componente	Categoría Organizacional	Valor (m ³)	Valor Total (m ³)
Sistema de la Red de Abastecimiento	Pérdidas de Distribución	HH Azul	Operacional/directa de las actividades generales	1 956 927	1 956 927
	Consumo de Energía	HH Azul	Cadena de suministro/indirecta de las actividades generales	4	4

Tabla 11: Resumen de Huella Hídrica en la etapa de Abastecimiento del Ciclo Urbano del Agua de la Ciudad de Huelva.

3.1.4. RED DE ALCANTARILLADO

Para la Red de Saneamiento, se ha determinado que el único factor que afectará el cálculo de la Huella Hídrica es el relacionado con la energía utilizada. El procedimiento seguido es el mismo que se describe en el apartado 2.4.2.

Energía Consumida

En la Tabla 12, se detalla el consumo de energía de esta etapa del ciclo hidráulico del Agua de la Ciudad, también al igual que en la red de abastecimiento se ha incluido la energía destinada al funcionamiento, mantenimiento y reparación de la red en general.

Fuente	Energía Consumida				
	Gasóleo		Energía Eléctrica	Energía Generada Autoconsumida por Energía Solar	Energía Generada Auto-consumida por Cogeneración
22 Estaciones de Bombeo	Ltros	kWh	kWh	kWh	kWh
			1 328 338		
Grupos Electrógenos	1 770	18 160			

Tabla 12: Consumo energético en la red de alcantarillado (Aguas de Huelva, datos 2023)

Los cálculos elaborados para determinar la Huella Hídrica asociada al consumo de energía se encuentran en el Anexo VI.

La Huella Hídrica correspondiente a la energía utilizada en esta etapa del ciclo fue de 1 534 m³ como Azul, mientras que la Verde fue de 41 m³.

Al igual que las pasadas la Huella Hídrica resultante del uso de combustibles y energía se clasifica como Huella Hídrica de la Cadena de Suministro de las actividades generales.

Fuentes	Procesos	Componente	Categoría Organizacional	Valor (m ³)	Valor Total (m ³)
Sistema de la Red de Alcantarillado	Consumo de Energía	HH Azul	Cadena de suministro/indirecta de las actividades generales	1 534	1 575
		HH Verde	Cadena de suministro/indirecta de las actividades generales	41	

Tabla 13: Resumen de Huella Hídrica en la red de alcantarillado del Ciclo Urbano del Agua de la Ciudad de Huelva.

3.1.5. DEPURACIÓN DE AGUA RESIDUALES

La instalación objeto de análisis en esta etapa del ciclo urbano del agua de la ciudad la constituye la Estación de Depuración de Aguas Residuales de Huelva (EDAR).

Evaporación en la EDAR

Se describen a continuación los depósitos de la EDAR que contienen agua susceptible de evaporarse debido a su permanencia y exposición al ambiente, junto con la superficie de cada uno.

Conforme a la metodología establecida en el apartado 2.4.1., se calculará el volumen de agua evaporada a partir de esas superficies usando la fórmula de Mekonnen & Hoekstra (2011) y aplicando la tasa de evaporación correspondiente.

Las superficies de agua han sido proporcionadas por EMAHSA y confirmadas mediante ortofotos aéreas (Google Map).

Depósitos de la EDAR	Cantidad	Área individual (m ²)	Área Total (m ²)	Evaporación Penman-Monteith (mm/año)*
Desarenador y Desengrase	2	100	200	1 297
Decantadores Primarios	3-1	Varía	2 630	1 297
Decantadores Secundario	3-1	Varía	4 600	1 297
Reactor Biológico	1	3 496	3 496	1 297
Espesadores de Fango	4	113	452	1 297
Arqueta de Vertido	1	270	270	1 297

Tabla 14: Características geométricas de depósito dentro de la EDAR expuestos a evaporación (Aguas de Huelva, datos 2023)

(*): Datos tomados del estudio de estimación de la tasa de evaporación de embalses en Andalucía (García López et al, 2023)

Cálculo:

- **Área Superficial Total** = A. Desarenador y Desengrase + A. Decantadores Primarios + A. Decantadores Secundario + A. Reactor Biológico + A. Espesadores de Fango + A. Arqueta de Vertido
- **Área Superficial Total** = 200 m² + 2 630 m² + 4 600 m² + 3 496 m² + 452 m² + 270 m²
- **Área Superficial Total** = 11 648 m² - 1.165 ha

Fórmula Mekonnen & Hoekstra (2011):

- **Volumen Evaporado** = 10 x Evaporación Diaria (García López et al, 2023) x Área Superficial (ha)
- **Volumen Evaporado** = 10 x 1 297 mm/año x 1.165 ha
- **Volumen Evaporado** = $1.511 \cdot 10^4 \text{ m}^3$

Esta parte de la Huella Hídrica se considerará Azul Operacional y asociada a la elaboración del producto.

Energía Consumida en la EDAR

La energía consumida también constituye un suministro importante en el cálculo de esta instalación

En la Tabla 15 se detallan los consumos de combustibles y energía de esta estación de tratamiento para el año hidrológico en estudio 2023, datos proporcionados por la Empresa Municipal Aguas de Huelva, S.A.

Fuente	Energía Consumida				
	Gasóleo		Energía Eléctrica	Energía Generada Autoconsumida por Energía Solar	Energía Generada Autoconsumida por Cogeneración
22 Estaciones de Bombeo	Ltros	kWh	kWh	kWh	kWh
			1 904 768	89 017	876 889

Tabla 15: Consumo energético Instalación EDAR Huelva (Aguas de Huelva, datos 2023)

Como se destacó en el apartado 2.1.2 de este trabajo fin de máster, la EDAR de Huelva se distingue por su enfoque en la gestión sostenible de los residuos. Los lodos resultantes de los procesos de depuración se reutilizan como abono agrícola, aportando una serie de beneficios ambientales y agronómicos significativos. Esta práctica no solo mejora la calidad de parcelas reforestadas y contribuye a la mejora de fincas agrícolas, sino que también es una forma eficaz de gestionar los residuos producidos, reduciendo la necesidad de disponer de ellos en vertederos y, por tanto, promoviendo una economía circular. Esta práctica puede generar ahorros económicos al reducir la necesidad de fertilizantes químicos y mejorar la productividad del suelo (Aguas de Huelva, s.f.-f).

Por otro lado, y como parte fundamental para el análisis de este apartado, la instalación cuenta con una línea de gas que tiene una capacidad de producción cercana a 4 711 Nm³/día de biogás (Aguas de Huelva, datos 2023), generando con ella, para el año de estudio 2023, 876 889 kWh que son aprovechados para autoabastecerse, cubriendo así hasta el 30.5% de las necesidades energéticas de la propia instalación.

Considerando que esta energía proviene de una autogeneración, por la eficiente revalorización de uno de sus residuos, no será contabilizada en el indicador ambiental huella hídrica que se viene desarrollando.

También al igual que en la ETAP, la EDAR cuenta con una línea de placas fotovoltaicas que genera un nivel de autosuficiencia energética, para este año 2023 representa un 3.1%

A título ilustrativo, se ha estimado la Huella Hídrica que hubiera supuesto si los 965 906 kWh de energía autoproducida en la EDAR por ambos sistemas de autogeneración hubieran sido consumidos de la red eléctrica, partiendo de los datos calculados en el Anexo V.

Cálculo:

- **HH ahorrada** = 965 906 kWh x 1.169·10⁻³ m³/kWh = 1 129 m³
- **HH ahorrada Azul** (97.41%) = 1 100 m³
- **HH ahorrada Verde** (2.59%) = 29 m³

Observando el Anexo VI, se puede resumir que la Huella Hídrica Azul de la energía consumida por la EDAR de Huelva para el año 2023 fue de 2 169 m³ mientras que la Verde fue de 58 m³, tomándose estas como Huella Hídrica de la Cadena de suministro de las actividades generales.

Materias primas consumida en la EDAR

En la Tabla 16 se presentan los consumos de materias primas de la EDAR de Huelva durante este año de estudio 2023, así como la Huella Hídrica asociada al uso de un kilogramo de cada material.

Los detalles sobre el origen de los valores de la Huella Hídrica de cada producto se encuentran en el Anexo VII.



Instalación	Materia	Cantidad (kg)	Componente	HH en m ³ /kg	HH por componente (m ³)
EDAR Huelva	Polielectrolito	15 150	Azul	0.051	773
	Cloruro Férrico	688 319	Azul	0.010	6 883
	Hipoclorito Sódico	15 164.6	Azul	2.081	3.156·10 ⁴

Tabla 16: Consumo de materias primas en Instalación EDAR de Huelva (Aguas de Huelva, datos 2023)

En resumen, se puede afirmar que, relativo al consumo de materias primas en la Depuradora de la ciudad durante el año 2023 fue de $3.921 \cdot 10^4$ m³ de Huella Hídrica Azul, considerándose como Huella Hídrica de la Cadena de Suministro/Indirecta asociada a la elaboración del producto.

Consumo Directo en la EDAR

Como se ha comentado en el apartado 2.4.6., este consumo viene dado por las actividades propias de los empleados que operan en la instalación, siendo de $2.417 \cdot 10^4$ m³ en el año 2023, dato proporcionado directamente por la EMAHSA, siendo contabilizado como Huella Hídrica Azul, Operacional de las actividades generales.

Fuentes	Procesos	Componente	Categoría Organizacional	Valor (m ³)	Valor Total (m ³)
EDAR Huelva	Evaporación	HH Azul	Operacional/directa asociada a la elaboración del producto	$1.511 \cdot 10^4$	$1.511 \cdot 10^4$
	Consumo de Energía	HH Azul	Cadena de suministro/indirecta de las actividades generales	2 169	2 227
		HH Verde	Cadena de suministro/indirecta de las actividades generales	58	
	Materias primas	HH Azul	Cadena de suministro/indirecta asociada a la elaboración del producto	$3.921 \cdot 10^4$	$3.921 \cdot 10^4$

	Pérdidas/Consumo	HH Azul	Operacional/directa de las actividades generales	2.417·10 ⁴	2.417·10 ⁴
--	------------------	---------	--	-----------------------	-----------------------

Tabla 17: Resumen de Huella Hídrica en la fuente de Depuración del Ciclo Urbano del Agua de la Ciudad de Huelva.

3.2. HUELLA HÍDRICA GRIS DEL CICLO URBANO DEL AGUA DE LA CIUDAD DE HUELVA

Con este subcapítulo no se busca llegar a un resultado numérico representativo, como se ha especificado en el apartado 2.5.1, este estudio no contabilizará en la HH Total, solo se pretende discutir sobre su significado, implicaciones, medidas y opciones para futuros estudios que se presenten, también se expone el valor de la EDAR en la contabilidad de este indicador Ambiental.

La Huella Hídrica Gris (HHG) se debe entender como el volumen de agua requerido para asimilar la carga de contaminante del agua residual efluente de la EDAR, teniendo en cuenta la concentración natural del cauce hasta niveles que cumplan los estándares de calidad ambiental establecido.

El método de cálculo utilizado es el expuesto en el apartado 2.5 plasmado en el manual de la Water Footprint Network (WFN).

Los datos fundamentales relativos a la carga de contaminantes tanto en el punto de extracción (Depósitos del Torrejón _ estación TOP0075) como el punto de vertido (Ría Estero del Rincón _ 62T3050), han sido descargados de la Red de Información Ambiental de Andalucía dentro de su portal de la Red de Control de Calidad de las Aguas (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2023)

Para determinar las concentraciones máximas o límites de vertido, se consultó el Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, que establece los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental (BOE-A-2015-9806). Este decreto regula los niveles de sustancias que, dependiendo de sus concentraciones, condicionan la calidad del agua que las contiene.

No obstante, los elementos obtenidos para el análisis de la HH Gris no están regulados en el Real Decreto 817/2015. Por este motivo, se recurrió al Decreto 109/2015, de 17 de marzo, que aprueba el Reglamento de Vertidos al Dominio

Público Hidráulico y al Dominio Público Marítimo-Terrestre de Andalucía (BOJA Nº. 89, 2015, p. 160-162).

Finalmente, los datos relativos a los volúmenes de recepción y vertido de la EDAR fueron proporcionados directamente por la Empresa de Aguas de Huelva (datos de 2023).

La siguiente tabla 18 muestra el resultado de estos cálculos incluyendo columnas con indicadores para su mejor análisis:



Parámetros	Efl ⁽²⁾ (L/año)	Cefl sin dep. ⁽³⁾ (mg/L)	Cefl dep. ⁽⁴⁾ (mg/L)	Abstr ⁽⁵⁾ (L/año)	Cpre ⁽⁶⁾ (mg/L)	Cmax ⁽⁷⁾ (mg/L)	Cnat ⁽⁸⁾ (mg/L)	HH Gris sin dep. ⁽⁹⁾ (m3/año)	HH Gris dep. ⁽¹⁰⁾ (m3/año)	Diferencias ⁽¹¹⁾ (m3/año)	IHH Gris sin dep. ⁽¹²⁾ (m3/m3)	IHH Gris dep. ⁽¹³⁾ (m3/m3)
DBO	1.221·10 ¹⁰	202	3.37	1.388·10 ¹⁰	2	200		1.219·10 ⁷	6.696·10 ⁴	1.213·10 ⁷	0.999	0.005
DQO	1.221·10 ¹⁰	428	45.7	1.388·10 ¹⁰		375		1.393·10 ⁷	1.488·10 ⁶	1.245·10 ⁷	1.141	0.122
Sólidos en Suspensión	1.221·10 ¹⁰	210	5.3	1.388·10 ¹⁰	4.3	400	13	6.471·10 ⁶	1.302·10 ⁴	6.458·10 ⁶	0.530	0.001
Fósforo Total	1.221·10 ¹⁰	6.15	0.95	1.388·10 ¹⁰		50	0.48	1.516·10 ⁶	2.342·10 ⁵	1.282·10 ⁶	0.124	0.019
Nitrógeno Total	1.221·10 ¹⁰	42.1	14.7	1.388·10 ¹⁰	2	80	1.45	6.190·10 ⁶	1.931·10⁶	4.259·10 ⁶	0.507	0.158

Tabla 18: Huella Hídrica Gris en la EDAR de la Ciudad de Huelva.

(1): Parámetros o sustancias analizadas

(2): volumen del efluente vertido

(3): concentración del contaminante en el efluente sin depurar

(4): concentración del contaminante en el efluente depurado

(5): volumen de agua que se abstrae o recepcionada

(6): concentración previa en la masa de agua

(7): concentración máxima establecida por los estándares de calidad ambiental

(8): concentración natural de cauce receptor

(9): HHG sin depurar por la EDAR

(10): HHG real o depurada por la EDAR

(11): HHG de la diferencia entre ⁽⁹⁾ y ⁽¹⁰⁾. (Destaca el valor de la EDAR)

(12): Indicador, HHG sin depurar por cada volumen de agua vertida al cauce receptor $\left(\frac{9}{2}\right)$

(13): Indicador, HHG depurada por cada volumen de agua vertida al cauce receptor $\left(\frac{10}{2}\right)$



Los parámetros tomados son los más comunes en el análisis de vertidos y los que se han logrado reunir datos más completos.

Analizando los resultados se observa en la columna 10 de la tabla como el **Nitrógeno Total (Nt)** es la sustancia que más necesita agua para diluir sus niveles de vertidos a unidades legislativamente aceptables, con un valor de **$1.931 \cdot 10^6 \text{ m}^3$** de HHG para el año 2023. Este volumen si fuese contabilizado en la HH Total se calificaría como operacional directa asociada a la elaboración del producto.

También se han calculado en la columna 9 estos mismos parámetros, pero suponiendo un escenario donde el vertido fuera directo, sin ser sometido a operaciones de depuración. Este análisis resulta interesante, pues se observa en la misma columna como ya el Nitrógeno Total deja de ser la sustancia más crítica pasando a serlo el DQO, alcanzando valores elevado en el orden de los $1.393 \cdot 10^7 \text{ m}^3$ al año. También, por otro lado, la columna 11 muestra las diferencias de HHG que existen en ambos escenarios, donde para el Nitrógeno Total este volumen alcanza $4.259 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

Por último, en las columnas 12 y 13 se muestra indicadores que relacionan la HHG con el agua vertida en el medio receptor, destacándose la diferencia de estos en ambos escenarios, para el DQO el indicador de la HHG sin depurar pasa la unidad (1.141), queriendo decir, que en este escenario se necesita más agua que la vertida para diluir este contaminante a niveles legales. Por otro lado, el indicador de la HHG del vertido depurado apenas alcanza un 15.8% del volumen de este efluente.

Todo este análisis pone en alza el valor que tiene una instalación como la EDAR para la contabilidad de este indicador Ambiental, sin ella se observa como los valores de esta HHG fueran hasta 3 veces mayor.

Una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) desempeña un papel crucial en la gestión sostenible del agua dentro de las ciudades, las mejoras en sus procedimientos y tecnologías de depuración son clave para reducir la Huella Hídrica, a medida que estos sistemas se vuelven más eficientes permiten mejor gestión de este recurso vital.

Una EDAR simboliza el compromiso de una ciudad con una gestión más responsable y sostenible del agua. Al mejorar la calidad de las aguas vertidas, se reduce la presión sobre los recursos hídricos locales, promoviendo un ciclo de agua más eficiente y resiliente. La depuración de aguas residuales evita la



degradación de los ecosistemas acuáticos, lo que a su vez permite mantener la calidad de vida en la ciudad y en las áreas circundantes. En términos de la Huella Hídrica Gris, contar con una EDAR eficiente significa que la ciudad puede gestionar mejor su "demanda" de agua para diluir contaminantes, lo que es esencial en un contexto de escasez de recursos hídricos y cambios climáticos.

3.3. HUELLA HÍDRICA TOTAL DEL CICLO URBANO DEL AGUA DE LA CIUDAD DE HUELVA

La Huella Hídrica del Ciclo Integral del Agua de cada una de las fuentes e instalaciones involucradas en el cálculo de este indicador, en la campaña del 2023 fue de $7.234 \cdot 10^6 \text{ m}^3$.

Siguiendo las pautas descritas en el apartado 2.4, para determinar la Huella Hídrica Total se le sumaría este resultado al agua registrada o facturada en ese año con un valor de $8.795 \cdot 10^6 \text{ m}^3$. Obteniendo así un valor de Huella Hídrica Total de **$1.603 \cdot 10^7 \text{ m}^3$** .

Este valor es un volumen que no se le asocia a ninguna etapa en particular, sino que le es atribuido al ciclo en general. Su clasificación al igual que el resto de los consumos se condiciona a su régimen de propiedad, por lo que es fundamental separar la parte correspondiente a cada una de sus fuentes de captación, para ello se determina la provista por el sistema de embalses Andévalo-Chanza-Piedras y Beas respectivamente.

Datos:

- V Rec: $8.454 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (Volumen Recepcionado por la ETAP de los Embalses Andévalo-Chanza-Piedras)
- V Rec: $2.590 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (Volumen Recepcionado por la ETAP del Embalse de Beas)
- V Rec Total: $1.104 \cdot 10^7 \text{ m}^3$ (Volumen Recepcionado Total por la ETAP)
- A Fact: $8.795 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ (Agua Facturada o registradas en contadores en el año 2023)

Cálculos:

$$A \text{ Fact}_{\text{Andévalo-Chanza-Piedras}} = (V \text{ Rec}_{\text{Andévalo-Chanza-Piedras}} / V \text{ Rec Total}) \cdot A \text{ Fact}$$

$$A \text{ Fact}_{\text{Andévalo-Chanza-Piedras}} = (8.454 \cdot 10^6 \text{ m}^3 / 1.104 \cdot 10^7 \text{ m}^3) \cdot 8.795 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$A \text{ Fact}_{\text{Andévalo-Chanza-Piedras}} = \mathbf{6.722 \cdot 10^6 \text{ m}^3}$$



Este volumen al no pertenecer el sistema de embalses al régimen de propiedad de la Empresa Aguas de Huelva, se clasificará como HH Azul, de la Cadena de Suministro o Indirecta asociada a la elaboración del producto.

$$A \text{ Fact}_{\text{Beas}} = (V \text{ Rec}_{\text{Beas}} / V \text{ Rec Total}) \cdot A \text{ Fact}$$

$$A \text{ Fact}_{\text{Beas}} = (2.590 \cdot 10^6 \text{ m}^3 / 1.104 \cdot 10^7 \text{ m}^3) \cdot 8.795 \cdot 10^6 \text{ m}^3$$

$$A \text{ Fact}_{\text{Beas}} = \mathbf{2.023 \cdot 10^6 \text{ m}^3}$$

Este volumen se clasificará como HH Azul, operacional o directa asociada a la elaboración del producto.

En la tabla 18, se muestran todos los cálculos de la huella hídrica caracterizados y distribuido como partes del total de este indicador ambiental.

Huella Hídrica Total del Ciclo Urbano del Agua de la Ciudad de Huelva para el año 2023						
Fase del Ciclo	Fuentes	Procesos	Categoría	Componente	Valor (m ³)	%
Captación	Andévalo-Chanza-Piedras	Evaporación	Cadena de suministro/indirecta asociada a la elaboración del producto	HH Azul	3.654·10 ⁶	22.80
	Beas	Evaporación	Operacional/directa asociada a la elaboración del producto	HH Azul	4.047·10 ⁵	2.52
	Depósitos del Torrejón	Evaporación	Cadena de suministro/indirecta asociada a la elaboración del producto	HH Azul	2.594·10 ⁴	0.16
		Consumo de Energía	Cadena de suministro/indirecta de las actividades generales	HH Azul	1 649	0.01
				HH Verde	44	0.00
Potabilización	ETAP	Evaporación	Operacional/directa asociada a la elaboración del producto	HH Azul	3 688	0.02
		Consumo de Energía	Cadena de suministro/indirecta de las actividades generales	HH Azul	1 480	0.01
				HH Verde	39	0.00
		Materias Primas	Cadena de suministro/indirecta asociada a la elaboración del producto	HH Azul	8.151·10 ⁵	5.09
Pérdidas/Consumo	Operacional/directa de las actividades generales	HH Azul	2.883·10 ⁵	1.80		
Distribución	Red de Abastecimiento	Pérdidas/Consumo	Operacional/directa de las actividades generales	HH Azul	1.957·10 ⁶	12.21
		Consumo de Energía	Cadena de suministro/indirecta de las actividades generales	HH Azul	4	0.00
Saneamiento	Red de Alcantarillado	Consumo de Energía	Cadena de suministro/indirecta de las actividades generales	HH Azul	1 534	0.01
				HH Verde	41	0.00
Depuración	EDAR	Evaporación	Operacional/directa asociada a la elaboración del producto	HH Azul	1.511·10 ⁴	0.09
		Consumo de Energía	Cadena de suministro/indirecta de las actividades generales	HH Azul	2 169	0.01
				HH Verde	58	0.00
Materias Primas	Cadena de suministro/indirecta asociada a la elaboración del producto	HH Azul	3.921·10 ⁴	0.24		



		Pérdidas/ Consumo	Operacional/directa de las actividades generales	HH Azul	$2.417 \cdot 10^4$	0.15
Agua Facturada			Operacional/directa asociada a la elaboración del producto	HH Azul	$2.023 \cdot 10^6$	12.62
			Cadena de suministro/indirecta asociada a la elaboración del producto	HH Azul	$6.772 \cdot 10^6$	42.25
Totales					$1.603 \cdot 10^7$	100

Tabla 19: Huella Hídrica Total caracterizada del Ciclo Urbano del Agua de la Ciudad de Huelva.



A continuación, se muestra el resultado clasificado en función de sus componentes y categorías de Huella Hídrica.

Componentes (m ³) Categorías (m ³)	HH Azul	HH Verde	HH TOTAL (categorías)	%
HH Operacional	4.716·10⁶		4.716·10⁶	29.43
Directa asociada a la elaboración del producto	2.446·10 ⁶		2.446·10 ⁶	15.25
Directa de las actividades generales	2.269·10 ⁶		2.269·10 ⁶	14.16
HH Cadena de Suministro	1.131·10⁷	182	1.131·10⁷	70.57
Indirecta asociada a la elaboración del producto	1.131·10 ⁷		1.131·10 ⁷	70.54
Indirecta de las actividades generales	6836	182	7 018	0.04
HH TOTAL (componentes)	1.603·10⁷	182	1.603·10⁷	100
%	99.99	0.01	100	

Tabla 20: Huella Hídrica Total clasificada por componentes y categorías.

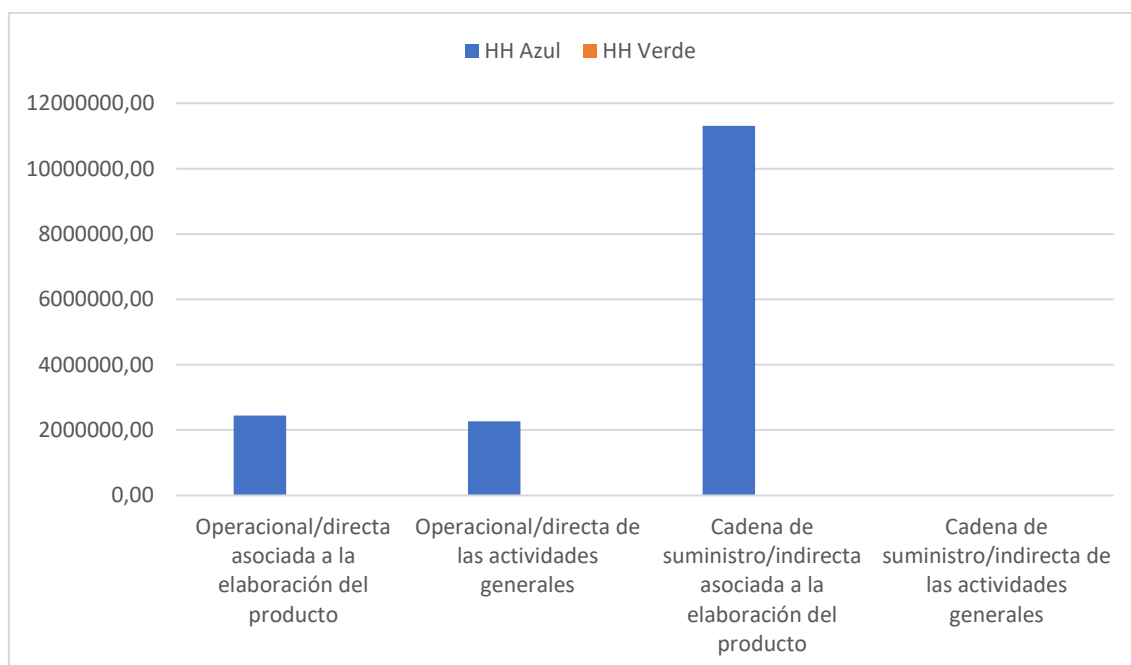


Figura 11: Gráfico de Huella Hídrica Total clasificada por componentes y categorías.

Observando estos resultados, se puede confirmar que casi la totalidad de la Huella Hídrica del Ciclo Urbano del Agua de la Ciudad de Huelva corresponde a

su componente Azul, representando un **99.99%**. Esto viene dado, sobre todo, a que el objetivo analizado lo constituye precisamente un sistema cuyo producto lo es el agua donde sus fuentes son clasificadas como HHA.

Por otro lado, en parte la Huella Hídrica Gris en la EDAR, como se mencionó en la sección 2.5, no se ha evaluado en este trabajo. Según la metodología aplicada, el medio receptor no es considerado un cuerpo de agua dulce al no cumplir con los criterios necesarios, por lo que se considera irrelevante o nula en este contexto. La metodología y los objetivos de tesis se enfocan en la gestión de los recursos de agua dulce y, en este caso, el Estero del Rincón, al ser un estuario salobre, queda excluido de esta evaluación.

Además, la Huella Hídrica Verde únicamente proviene de la fracción de la energía eléctrica consumida generada a partir de biomasa.

No obstante, la información sobre la Huella Hídrica de algunas de las materias primas empleadas aún es insuficiente, pues no se encontraron registros actuales de estudios de Huellas Hídricas de estos productos, teniéndose que recurrir a consumos de aguas de Análisis del Ciclo de Vida. Si se contara con estos datos, el resultado final podría ser diferente.

Continuando con el análisis, se observa que, según la categoría organizacional, la huella hídrica que más abarca con un **70.54%** es la de la Cadena de suministro o Indirecta asociada a la elaboración del producto, esta corresponde fundamentalmente al agua evaporada en los embalses de Andévalo-Chanza-Piedras y al agua relativa del propio producto correspondiente a estos embalses, pues al no ser administrados por la EMAHSA, según la Water Footprint Network se clasifica como agua externa o comprada, parte indirecta de la cadena de suministro.

De manera general, es clave resaltar como dentro de la Ciudad de Huelva, en su ciclo hidráulico, la HH Indirecta posee un peso fundamental, a razón del **70%** de toda el agua consumida.

A continuación, se muestra el resultado de la Huella Hídrica Total organizado en función de las fases del ciclo y de sus procesos de consumo.



Procesos (m ³) Fases (m ³)	Evaporación	Consumo de Energía	Materias Primas	Pérdidas/Consumo	Agua Facturada	HH TOTAL (procesos)	%
Captación	4.085·10 ⁶	1 693				4.086·10 ⁶	25.49
Potabilización	3 688	1 519	8.151·10 ⁵	2.883·10 ⁵		1.109·10 ⁶	6.92
Distribución		4		1.957·10 ⁶		1.957·10 ⁶	12.21
Saneamiento		1 575				1 575	0.01
Depuración	1.511·10 ⁴	2 227	3.921·10 ⁴	2.417·10 ⁴		8.072·10 ⁴	0.49
Agua Facturada					8.795·10 ⁶	8.795·10 ⁶	54.87
HH TOTAL (fases)	4.104·10 ⁶	7 018	8.543·10 ⁵	2.269·10 ⁶	8.795·10 ⁶	1.603·10 ⁷	100
%	25.59	0.04	5.33	14.16	54.87	100	

Tabla 21: Huella Hídrica Total organizada por fase y procesos.

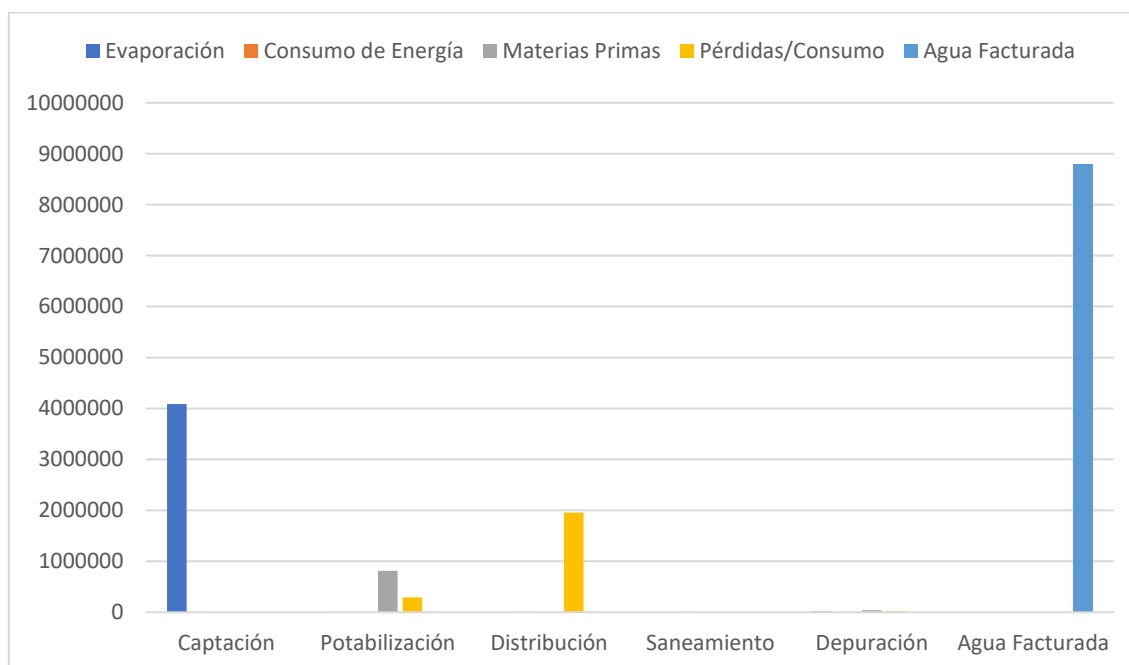


Figura 12: Gráfico de Huella Hídrica Total organizada por fase y procesos.

Pasando del agua facturada ha de observarse, lo relevante que representa el proceso de evaporación en el cómputo de la huella hídrica total del ciclo del agua en la Ciudad, abarcando el **25.48%** de este indicador ambiental. Constituye la evaporación de elevada significación, la procedente de los embalses de captación Andévalo-Chanza-Piedras, por poseer estos una extensa superficie de hidráulica de exposición. Los embalses de Andalucía, incluyendo el Embalse de Andévalo-Chanza-Piedras, poseen algunas de las tasas de evaporación más altas de España debido a la combinación de altas temperaturas, baja humedad relativa, intensa radiación solar, vientos secos, y características geográficas específicas. Estas condiciones hacen que la gestión del agua en la región sea particularmente desafiante, requiriendo estrategias específicas para minimizar las pérdidas por evaporación y asegurar un suministro de agua sostenible.

Por el momento, no existen soluciones claras para frenar la evaporación en grandes masas de agua. Existen algunos experimentos en todo el mundo con productos químicos. Incluso se plantea la posibilidad de realizar coberturas parciales como la que proponen la Universidad de Málaga, consistiría en la obtención de energía mediante paneles solares flotantes en los embalses. Los paneles sobre plataformas ayudarían a reducir la insolación sobre la superficie del agua y, por tanto, la evaporación (SUR in English, 2024)

El análisis de la huella hídrica en la red de distribución y abastecimiento de agua de la Ciudad de Huelva revela que, a pesar de que las pérdidas de agua no registrada son consideradas entre las más bajas del país, su contribución al cómputo total de la huella hídrica es notable, alcanzando un **12.21%**. Este dato subraya la relevancia de estas pérdidas en la gestión del agua, indicando que, aunque la infraestructura es eficiente, aún existe un margen significativo para mejorar.

Las pérdidas de agua no registrada pueden atribuirse a fugas en las tuberías, errores de medición y otros factores que, aunque mínimos, suman una cantidad considerable en el contexto de la huella hídrica total. A continuación, se ilustran el peso en por ciento que tienen todas las huellas hídricas según las distintas clasificaciones desarrolladas en este estudio.

Todos estos gráficos ilustran desde otras perspectivas las valoraciones y análisis anteriormente expuestos.

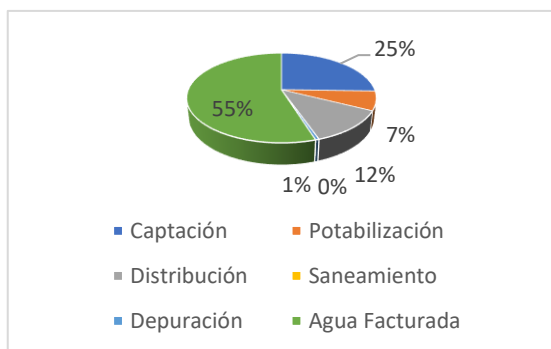


Figura 13: Gráfico de Huella Hídrica de las fases del Ciclo Urbano del Agua

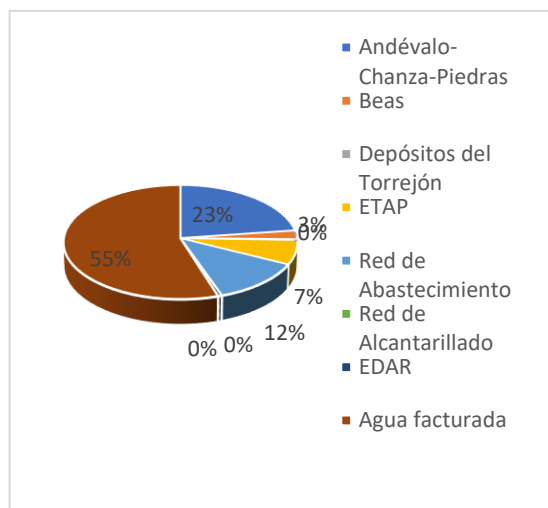


Figura 14: Gráfico de Huella Hídrica de las Fuentes e instalaciones evaluadas.



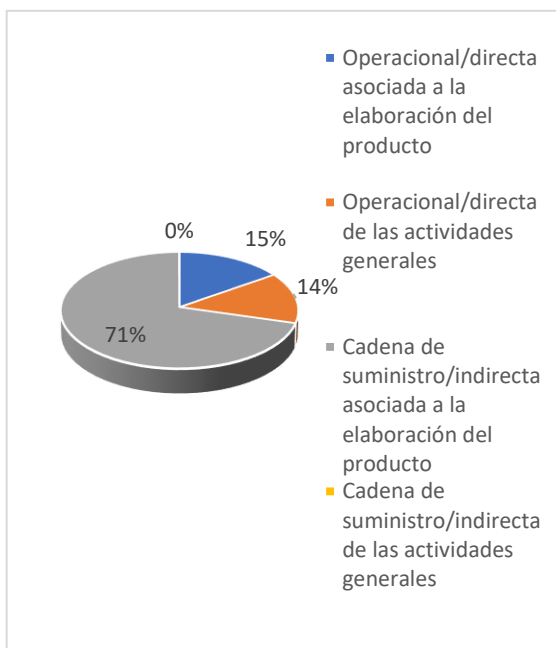


Figura 15: Gráfico de Categorías organizacional de la Huella Hídrica del Ciclo Urbano del Agua.

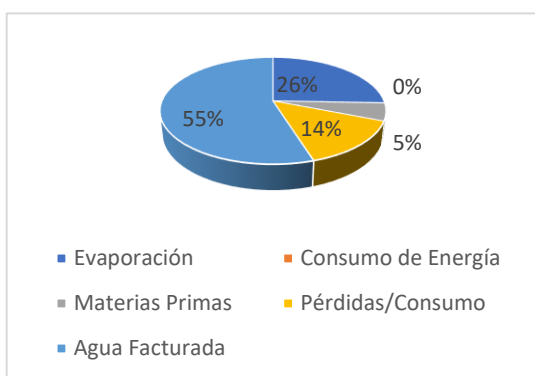


Figura 16: Gráfico de Huella Hídrica de los procesos de consumo del Ciclo Urbano del Agua.

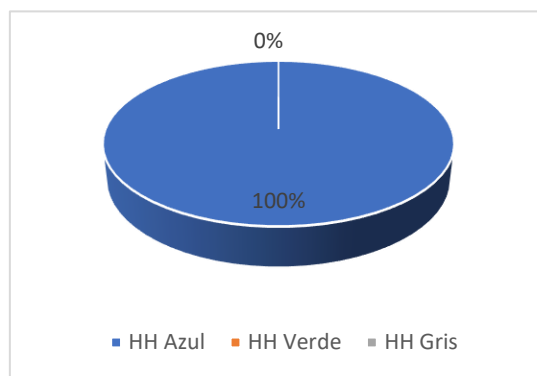


Figura 17: Gráfico de Componentes de la Huella del Ciclo Urbano del Agua.

3.4. OTROS USOS DE HUELLA HÍDRICA DEL CICLO URBANO DEL AGUA DE LA CIUDAD DE HUELVA

Tomando como referencia los datos de uso de agua por sector de la última edición de del plan de acción de la Ciudad de Huelva en su Agenda 21, que brinda la web del Ayuntamiento de la ciudad en su sesión de “Líneaverde” (Ayuntamiento de Huelva, 2011), se tienen:

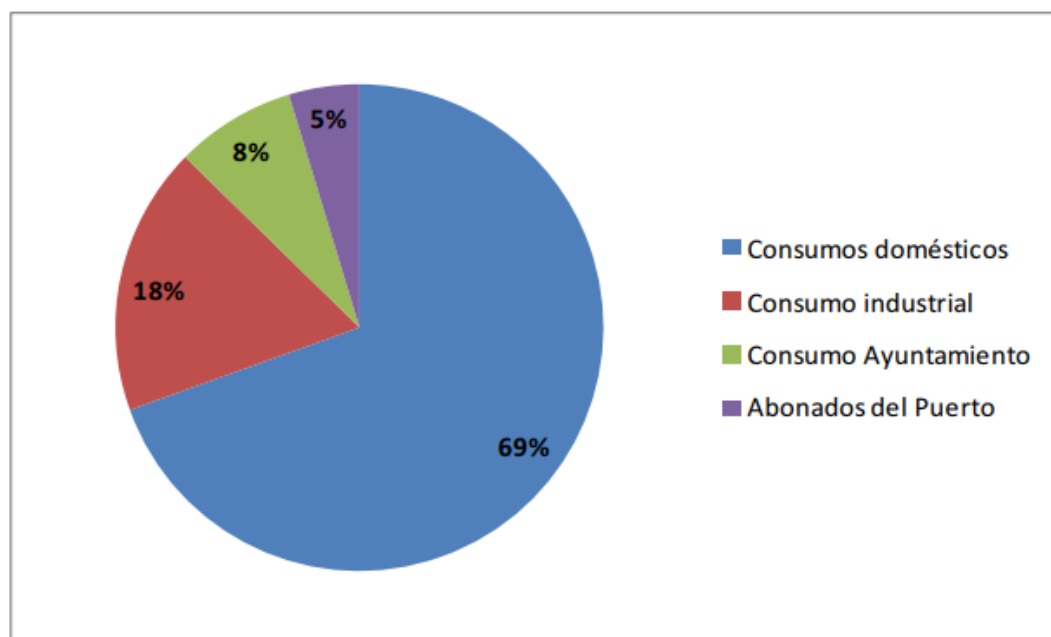


Figura 18: Gráfico de distribución porcentual del consumo de agua por usuarios en la ciudad de Huelva (Ayuntamiento de Huelva, 2011)

Asociando este con la Huella Hídrica Total obtenida en la Ciudad se puede derivar esta Tabla 21:

Usos del Agua	%	Huella Hídrica de la Ciudad (m ³)
Consumo Doméstico	69	$1.106 \cdot 10^7$
Consumo Industrial	18	$2.885 \cdot 10^6$
Consumo del Ayuntamiento	8	$1.282 \cdot 10^6$
Abonados del Puerto	5	$8.015 \cdot 10^5$

Tabla 22: Huella Hídrica contabilizada por usuarios del agua en la ciudad.

Estos datos demuestran y destacan la importancia que tienen las acciones de la EMAHSA para fomentar el ahorro de agua en los hogares abarcando desde la educación y concienciación hasta la implementación de tecnologías avanzadas y estructuras tarifarias incentivadoras. Estas estrategias no solo ayudan a conservar los recursos hídricos, sino que también contribuyen a crear una cultura de sostenibilidad y eficiencia en el uso del agua en la comunidad de Huelva.

A continuación, se detallan algunos de los principales trabajos y estrategias implementadas por EMAHSA que comparte en su web oficial en la sección de - Nuestro Compromiso (Aguas de Huelva, s.f.-g):

1. Campañas de Educación y Sensibilización

- Programas Educativos: EMAHSA lleva a cabo programas educativos en escuelas y comunidades para enseñar a los niños y adultos sobre la importancia del ahorro de agua y las maneras efectivas de reducir el consumo en el hogar.
- Talleres y Charlas: Se organizan talleres y charlas informativas dirigidas a diferentes grupos de la comunidad, destacando prácticas sostenibles y eficientes en el uso del agua.

2. Distribución de Material Informativo

- Guías y Folletos: La empresa distribuye guías y folletos que contienen consejos prácticos sobre cómo ahorrar agua en las actividades diarias, como ducharse, lavar platos y regar jardines.
- Plataformas Digitales: Utiliza su sitio web y redes sociales para difundir información, videos y publicaciones sobre el ahorro de agua y las iniciativas de sostenibilidad.

3. Monitoreo y Detección de Fugas

- Inspecciones y Revisiones: EMAHSA realiza inspecciones periódicas de las instalaciones domiciliarias para detectar y reparar fugas, evitando así el desperdicio de agua.
- Sistemas de Monitoreo: Implementación de tecnologías avanzadas para monitorear el consumo de agua en tiempo real, permitiendo a los usuarios identificar anomalías y tomar medidas correctivas rápidamente.

4. Tarifas y Facturación Basadas en el Consumo

- Estructura Tarifaria Escalonada: Implementación de una estructura tarifaria escalonada que penaliza el consumo excesivo de agua, incentivando a los usuarios a mantener un consumo eficiente.
- Facturación Transparente: Provisión de facturas detalladas que muestran el consumo de agua, comparativas con periodos anteriores y recomendaciones para reducir el consumo.



5. Promoción de la Reutilización de Aguas Grises

- Asesoramiento Técnico: EMAHSA proporciona asesoramiento y apoyo técnico para la instalación de sistemas de reutilización de aguas grises en los hogares, promoviendo su uso para riego y otros usos no potables.

6. Innovación y Tecnologías Verdes

- Investigación y Desarrollo: Inversión en proyectos de investigación y desarrollo de nuevas tecnologías y prácticas sostenibles que pueden ser implementadas en los hogares para reducir el consumo de agua.
- Pilotos y Demostraciones: Implementación de proyectos piloto y demostrativos para mostrar a la comunidad los beneficios y funcionamiento de tecnologías de ahorro de agua.

3.5. ANÁLISIS DEL BALANCE HÍDRICO EN EL CICLO URBANO DEL AGUA DE LA CIUDAD DE HUELVA PARA EL AÑO 2023

Por otro lado, a continuación, se muestra de manera agrupada cuatro de los períodos más relevantes que se ilustran en Anexo VIII de la tabla de “Producción y Precipitaciones”, períodos de mayores y menores precipitaciones del año.

Períodos	ETAP (m ³)	EDAR (m ³)	Precipitación (mm)	Balance (m ³)	Coficiente (m ³ /día)
11/03/2023-21/05/2023 (71 días)	2.181·10 ⁶	2.324·10 ⁶	1.52	1.439·10 ⁵	2 027
22/05/2023-09/06/2023 (18 días)	5.385·10 ⁵	6.240·10 ⁵	50.54	8.549·10 ⁴	4 749
10/06/2023 -02/09/2023 (84 días)	2.601·10 ⁶	2.545·10 ⁶	0	-5.603·10 ⁴	-667
14/10/2023 -10/11/2023 (27 días)	7.991·10 ⁵	1.096·10 ⁶	176,27	2.965·10 ⁵	1.098·10 ⁴

Tabla 23: Balance del agua dentro del Ciclo Urbano del Agua en la Ciudad de Huelva.

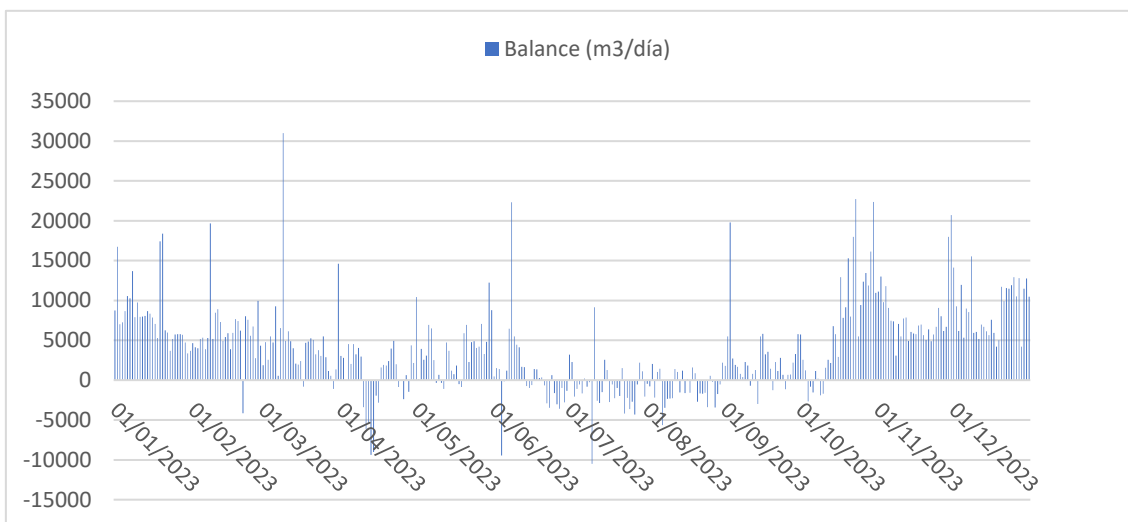


Figura 19: Gráfico del Balance del agua diario dentro del Ciclo Urbano del Agua en el año 2023

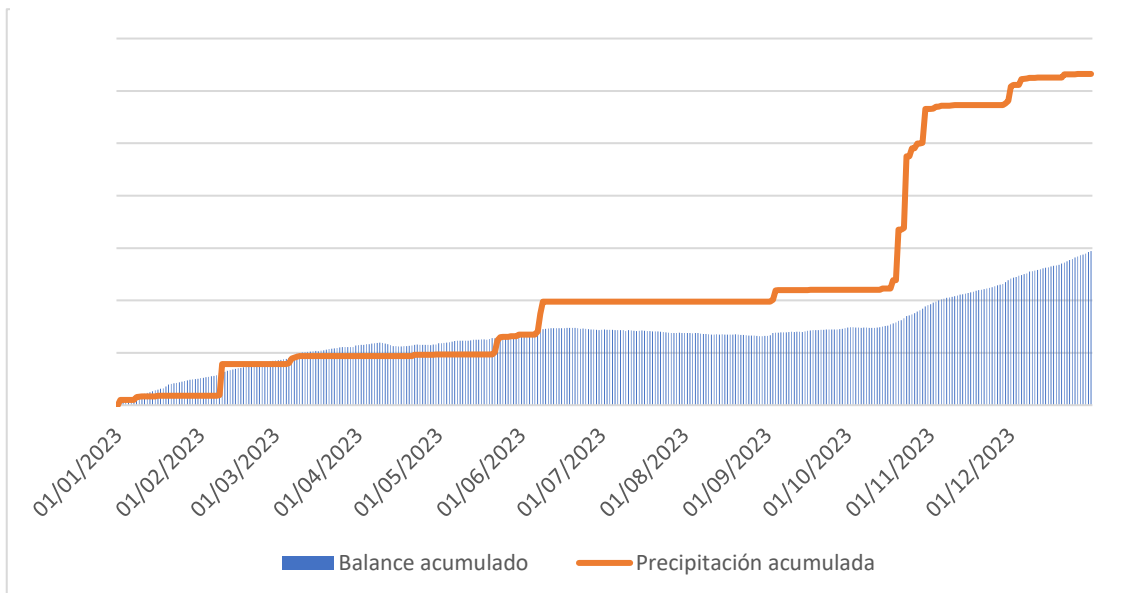


Figura 20: Gráfico 11: Relación entre el Balance y Precipitación diaria dentro del Ciclo Urbano del Agua en el año 2023

Observando estos datos, cabe destacar, como en períodos secos es donde se alcanza el mayor equilibrio hídrico en la ciudad reflejando incluso para este año períodos de balances negativos, constituyen las temporadas donde se igualan más las aguas tratadas en la ETAP con las depurada en la EDAR, en el 2023 este período fue relativamente alto pasándose tres meses continuados con precipitación mínima 10/06/2023 -02/09/2023 (84 días). Esto implica que la EDAR en ese período estuvo recibiendo un aporte mínimo considerable de agua externa (pluvial o subsuperficial), y que la práctica totalidad de la que recibe proviene del retorno del agua suministrada a los clientes. También, estas fechas acotan por tanto el período del año en el que los clientes dan al agua

suministrada su uso más consuntivo, con menor porcentaje de retornos, y que, coincidiendo con épocas de mayor demanda, en especial las vacaciones, aumenta el consumo doméstico, y el riego de jardines públicos y privados.

Otro período a destacar lo constituye el de máximas precipitaciones 14/10/2023 -10/11/2023 (27 días) donde existe un elevado aporte de las aguas externas, sobre todo en las ciudades, aquí la mayor parte de la superficie se clasifica como impermeable por encontrarse pavimentada casi en su totalidad, provocando que el agua precipitada sea reconducida directamente a los sistemas de red de alcantarillado. Se observa como en este período aumentó la demanda de depuración hasta máximos de $5.912 \cdot 10^4$ m³/día sobrepasando su capacidad media de 58 500 m³/día diferenciándose del período seco con mínimos de $1.887 \cdot 10^4$ m³/día.

Todo esto destaca la importancia que las empresas gestoras del agua de una ciudad lleven a cabo diversas actividades cruciales para prevenir inundaciones y averías durante eventos de grandes precipitaciones. Entre las más comunes se encuentra el mantenimiento de infraestructuras, que incluye la inspección y limpieza regular de desagües, alcantarillas y sistemas de drenaje, así como la reparación y actualización de infraestructuras antiguas. También es esencial el monitoreo y pronóstico, mediante sistemas de monitoreo meteorológico y de caudal de agua para prever eventos de lluvias intensas y anticipar respuestas adecuadas. Durante los eventos, la gestión de emergencias y la operación de sistemas de drenaje y bombeo son vitales, activando estaciones de bombeo y utilizando válvulas y compuertas para dirigir el flujo de agua lejos de zonas críticas. Posteriormente, se realizan inspecciones y reparaciones para evaluar y restaurar infraestructuras dañadas. Además, la comunicación con la comunidad es fundamental, informando sobre medidas de seguridad y procedimientos a seguir durante y después de las lluvias intensas. Estas actividades permiten mitigar los efectos adversos de las grandes precipitaciones y garantizar la resiliencia de la infraestructura urbana.

Otro elemento para destacar especialmente en la ciudad de Huelva es que incluso en situaciones de baja pluviometría excepto en días puntuales, a lo largo de todo el año la diferencia entre el agua depurada y la generada se acerca a cero, pero escasa vez llega a un balance negativo. De ello puede deducirse que el uso que los clientes dan al agua tiene un retorno prácticamente total volviendo al Ciclo Integral del Agua, al que posiblemente se le añada un flujo residual de agua subsuperficial que drene a través de la red de saneamiento, no del todo impermeable.



3.6. INDICADORES DE LA HUELLA HÍDRICA DEL CICLO URBANO DEL AGUA DE LA CIUDAD DE HUELVA

Tomando como base, los resultados obtenidos durante el desarrollo de esta investigación se proceden a calcular algunos indicadores que se derivan de este recurso ambiental.

Primero se procede a calcular cual es el la Huella Hídrica per cápita que se ha obtenido para la ciudad:

Datos:

Huella Hídrica Total: $1.603 \cdot 10^7 \text{ m}^3$

Población Abastecida: 142 532 habitantes

Cálculo:

HH/hab = Huella Hídrica Total / Población Abastecida

HH/ hab = $1.603 \cdot 10^7 \text{ m}^3 / 142\ 532 \text{ habitantes}$

HH/ hab = $112.46 \text{ m}^3/\text{hab}$

Comparando este indicador con el que brinda el Sistema de Información Nacional de Agua de Consumo (SINAC, 2024), Huelva tuvo un consumo directo de agua en el año 2023 de 206.79 L/hab/día, llevándolo a la misma unidad son $75.55 \text{ m}^3/\text{hab}$

La diferencia entre ambos es de $36.91 \text{ m}^3/\text{hab}$ representando la Huella Hídrica un 148.86% mayor que el indicador de consumo que brinda SINAC, (2024).

Otro indicador de elevada importancia lo constituye el litro de Huella Hídrica por cada litro de agua que le llega a los usuarios o al grifo. Para esto hace falta nuevamente la Huella Hídrica Total y los litros de agua facturados o registrados

Datos:

Huella Hídrica Total: $1.603 \cdot 10^7 \text{ m}^3 - 1.603 \cdot 10^{10} \text{ Litros}$

Agua Registrada o Facturada: $0.880 \cdot 10^{10} \text{ Litros}$

Cálculo:

L HH/L grifo = Huella Hídrica Total / Agua Registrada o Facturada



L HH/L grifo = $1.603 \cdot 10^{10}$ Litros / $0.880 \cdot 10^{10}$ Litros

L HH/L grifo = 1.82 L HH/L grifo

Este es un indicador que es empleado frecuentemente en labores de sensibilización y concienciación sobre el uso y cuidado del agua.

Según variadas fuentes este indicador para el proceso de fabricación de una botella de un litro de agua da entre 3 - 7 L HH/L botella, esta comparativa sirve mucho para incentivar la ingesta del agua del grifo en algunas zonas, y observándose estos resultados también para la Ciudad de Huelva. (LBV, 2014) (El Heraldo, 2020)

Los indicadores de Huella Hídrica per cápita y Huella Hídrica por litro de agua que llega al grifo son herramientas cruciales para la gestión sostenible del agua en las ciudades. La Huella Hídrica per cápita proporciona una visión clara del consumo promedio de agua por individuo, incluyendo tanto el uso directo como indirecto, lo cual es esencial para concienciar a la población sobre su impacto en los recursos hídricos y promover hábitos más sostenibles. Este indicador también es invaluable para que las autoridades puedan identificar patrones de consumo, establecer metas de reducción, y comparar el uso de agua con otras regiones, facilitando así la evaluación y mejora de la gestión del agua.

Por otro lado, el litro de Huella Hídrica por litro de agua que llega al grifo mide la eficiencia del sistema de distribución de agua, destacando las pérdidas y el uso en el proceso desde la fuente hasta el consumidor final. Este indicador permite a las empresas gestoras del agua identificar y cuantificar las pérdidas en el sistema, implementar mejoras en la infraestructura, y optimizar el uso de recursos. Además, ofrece una base sólida para aumentar la transparencia y la rendición de cuentas en la gestión del agua, proporcionando datos claros tanto a las autoridades como a la ciudadanía.

En conjunto, estos indicadores son esenciales para informar la creación de políticas y regulaciones, priorizar inversiones en infraestructura, y contribuir al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible relacionados con el agua. También son fundamentales para la planificación y respuesta ante emergencias, así como para educar y sensibilizar a la comunidad sobre la importancia de la conservación del agua.



CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES

1. El análisis de la huella hídrica en las actividades relacionadas con el ciclo urbano del agua, incluyendo las instalaciones como ETAP, redes de distribución, saneamiento y EDAR, requiere ciertas consideraciones metodológicas. Estas son esenciales para entender el impacto en los recursos hídricos, vincular dicho impacto con las funciones de estas infraestructuras, y destacar los beneficios ambientales que resultan de su operación. La metodología de la Water Footprint Network ofrece una herramienta útil para identificar y priorizar las acciones estratégicas necesarias para gestionar de manera sostenible los recursos hídricos.

2. El valor final de la Huella Hídrica del Ciclo Urbano del Agua de la Ciudad de Huelva fue de $1.60 \cdot 10^7 \text{ m}^3$ en el año 2023. La práctica totalidad de este volumen (99,99%) corresponden a la Huella Hídrica Azul mientras que el 0,01 % restante constituye Huella Hídrica Verde. Este valor no incluye la posible Huella Hídrica Gris de las aguas residuales vertidas a la Ría del Estero del Rincón.

3. Cabe destacar el elevado porcentaje que representa la Huella Hídrica de la Cadena de Suministros o Indirecta de este indicador ambiental, con un 70.58%, destacándose con esto la importancia de esta herramienta y las grandes diferencias que pudiesen existir con otros indicadores de consumo directo.

4. Los embalses Andévalo-Chanza-Piedras y Beas, que abastecen más del 70% del agua utilizada en el ciclo, son responsables de una importante pérdida de agua, estimadas en un 22.8% del total de la Huella Hídrica. Estas pérdidas representan una componente clave, subrayando la necesidad de evaluar medidas de mitigación, como la mejora en la eficiencia del almacenamiento y la reducción de la superficie expuesta.

5. Se ha calculado que el consumo de materias primas en la ETAP "El Conquero" resultó en una Huella Hídrica Azul adicional de $8.15 \cdot 10^5 \text{ m}^3$. Este valor, asociado a productos como el policloruro de aluminio y el hipoclorito sódico, subraya la importancia de seleccionar y optimizar el uso de insumos químicos para reducir el impacto en el ciclo del agua.

6. El análisis del consumo energético revela que las estaciones de tratamiento y distribución de agua (ETAP y EDAR) utilizan un total de 4 353 339 kWh anualmente, lo que se traduce en una Huella Hídrica indirecta (Cadena de Suministro) de 5.09 m^3 . La integración del biogás generado en la EDAR junto con las placas solares fotovoltaicas que existen en ambas instalaciones, en este



año cubrieron hasta el 26% de sus necesidades energéticas, permitiendo una reducción de 1 149 035 kWh/año y 1 343 m³ de Huella Hídrica. Estos resultados sugieren que la expansión de estas prácticas podría disminuir aún más la huella hídrica asociada y junto con ello la sostenibilidad ambiental.

7. Las pérdidas reales de agua en la red de distribución calculadas fueron de $1.96 \cdot 10^6$ m³, constituyen el 12.21% de la Huella Hídrica, y aunque gestionadas eficazmente, siguen representando una porción significativa en la pérdida de este recurso. Esto corrobora la necesidad de implementar mejoras tecnológicas y operativas, como la sectorización avanzada y la detección de fugas, para reducir estas pérdidas y optimizar el uso del recurso hídrico.

8. La HHG, aunque en este estudio no contabiliza en el cálculo de la Huella Hídrica Total arrojó un volumen de $1.93 \cdot 10^6$ m³, siendo el Nitrógeno Total la sustancia más crítica a lograr su dilución. Este volumen de haberse tenido en cuenta representaría el 10.75% de este indicador final, por otro lado, de no existir EDAR la HHG alcanzaría valores de $6.190 \cdot 10^6$ m³, el 27.86% de la HH Total en ese escenario, destacándose así la importancia que poseen este tipo de instalaciones para el cuidado del preciado recurso natural.

9. Producto a que los vertidos de la EDAR se realizan en una ría de agua salada, se recomienda que futuras investigaciones amplíen este análisis utilizando la norma ISO 14046. Este enfoque permitiría no solo evaluar impactos ambientales específicos, como la eutrofización y la toxicidad, sino también cuantificar la sostenibilidad a largo plazo y desarrollar estrategias de mitigación personalizadas. La aplicación de esta metodología fortalecería la transparencia y responsabilidad ambiental, ofreciendo una herramienta integral para optimizar la gestión hídrica y proteger los recursos acuáticos en un contexto de creciente exigencia ambiental.

10. Tomando como referencias los indicadores finales de la huella hídrica que se obtienen para este año (112.46 m³/hab - 1.82 L HH/L grifo), y comparándolo con indicadores directos de consumo (75.55 m³/hab - 1 L HH/L grifo), se observa cuanto difieren, corroborando así, los beneficios e importancia de la Huella Hídrica como herramienta de gestión del agua para la Ciudad.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia Andaluza de la Energía (DEA). (2022). *Datos energéticos de Andalucía 2022*.

<https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/DatosEnergeticos2022/>

Agencia Andaluza de la Energía. (2020, abril). *La bioenergía en Andalucía*.

<https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/es/biblioteca/la-bioenergia-en-andalucia>

Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) (2022). *Estadística de vigilancia del clima*

https://www.aemet.es/es/datos_abiertos/estadisticas/vigilancia_clima
Consultado el 20 de agosto de 2024

Aguas de Huelva. (Datos, 2023)

Aguas de Huelva. (s.f.-a). *El Agua a través del tiempo*.

<https://www.aguashuelva.com/el-gua-a-traves-del-tiempo>. Consultado el 4 de agosto de 2024

Aguas de Huelva. (s.f.-b). *Captación*. <https://www.aguashuelva.com/captacion>.

Consultado el 4 de agosto de 2024

Aguas de Huelva. (s.f.-c). *Control calidad del agua*.

<https://www.aguashuelva.com/control-calidad-del-agua>. Consultado el 4 de agosto de 2024

Aguas de Huelva. (s.f.-d). *Distribución*.

<https://www.aguashuelva.com/distribucion>. Consultado el 4 de agosto de 2024

Aguas de Huelva. (s.f.-e). *Alcantarillado*.

<https://www.aguashuelva.com/alcantarillado>. Consultado el 4 de agosto de 2024

Aguas de Huelva. (s.f.-f). *Depuración*.

<https://www.aguashuelva.com/depuracion>. Consultado el 6 de agosto de 2024



Aguas de Huelva. (s.f.-g). *Compromiso con la comunidad local*.
<https://www.aguashuelva.com/iniciativas-locales>. Consultado el 10 de agosto de 2024

Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento (AEAS). (2020, 14 de julio). *Control del agua no registrada*.
<https://www.aeas.es/component/content/article/17-manuales/manuales-y-guias-2014/25-control-del-agua-no-registrada?Itemid=101> (consultado el 15 de julio de 2024)

Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento (AEAS). (2022, 12 de diciembre). *XVII Estudio Nacional (AEAS-AGA)*.
<https://www.aeas.es/component/content/article/52-estudios/estudios-suministro/301-xvii-estudio-nacional-aeas-aga?Itemid=101> (consultado el 25 de julio de 2024)

Ayuntamiento de Beas. (s.f.). *Presa de Beas*.
https://andaluciarustica.com/presa_de_beas.htm. Consultado el 12 de agosto de 2024

Ayuntamiento de Huelva. (2011, noviembre). *Plan de acción y diagnóstico ambiental, Huelva*. Línea Verde, Smart City Huelva.
https://lineaverdehuelva.com/documentacion/agenda21/Plan_de_Accion_de_Huelva.pdf

BOE-A-2015-6563. *Corrección de errores de la resolución de 30 de abril de 2015, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se determina el procedimiento de envío de información de los sujetos obligados del sistema de obligaciones de eficiencia energética, en lo relativo a sus ventas de energía, de acuerdo con la Ley 18/2014, de 15 de octubre, de aprobación de medidas urgentes para el crecimiento, la competitividad y la eficiencia*. Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Boletín Oficial del Estado.
[https://www.boe.es/eli/es/res/2015/04/30/\(2\)/corrigendum/20150613](https://www.boe.es/eli/es/res/2015/04/30/(2)/corrigendum/20150613)

BOE-A-2015-9806. *Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental*.
<https://www.boe.es/eli/es/rd/2015/09/11/817>.



BOJA No. 89 (2015, 12 de mayo) *Decreto 109/2015, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento de Vertidos al Dominio Público Hidráulico y al Dominio Público Marítimo-Terrestre de Andalucía.* p. 160-162.
<https://www.juntadeandalucia.es/boja/2015/89/3>.

BOLETIN OFICIAL HUELVA N.º 33 (BOH N.º 33) (2014, 18 febrero). *Ordenanza Técnica Reguladora de Saneamiento,* p. 1708-1710.
<https://www.lineaverdesanjuandelpuerto.es/documentacion/ordenanzas/Ordenanza%20T%C3%A9cnica%20Reguladora%20de%20Saneamiento%20de%20Agua%20Potable.pdf>

Caretta, A., & Mukherji, A. (2022). *IPCC Sixth Assessment Report: Impacts, adaptation and vulnerability.* Recuperado de <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/chapter/chapter-4/>

Club iagua. (2018, 30 de abril). *La presa del Chanza.*
<https://www.iagua.es/blogs/jose-diego-garcia-nunez/presa-chanza>.
Consultado el 10 de agosto de 2024

Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. (2012). *Análisis físico-químicos y biológicos sobre la Red de Control de Calidad de las Aguas de las Demarcaciones Hidrológicas Intracomunitarias.*
https://portalrediam.cica.es/Visor_DMA/?urlFile=https://portalrediam.cica.es/recursosVisor/xml/visor_dma/capas_dma.xml (consultado el 15 de julio de 2024)

Díaz Alcaide, S., Martínez Santos, P., & Willaarts, B. (2015). *Huella hídrica y agua virtual de Cantabria.* Fundación Botín / F.C.C. Aqualia. Ediciones Encuentro.
https://www.fundacionbotin.org/89dguuytdfr276ed_uploads/Observatorio%20Tendencias/PUBLICACIONES/huella_hidrica_paginas.pdf

Ecoinvent v3.10. (2023). *Database Search Ecoinvent v3.10.* Recuperado el 23 de agosto de 2024, de <https://ecoquery.ecoinvent.org/3.10/cutoff/search>

El Heraldo (2020, 18 de febrero). *¿Sabes cuánta agua se gasta al producir una botella de agua?* <https://www.heraldo.mx/sabes-cuanta-agua-se-gasta-al-producir-una-botella-de-agua/> Consultado el 20 de agosto de 2024



European Commission. (2024, agosto). *European Platform on LCA | EPLCA*. Retrieved from <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/> (Consulted on August 23, 2024).

García López, S., Salazar, M. C., Ruiz Ortiz, V., & Vélez Nicolás, M. (2023). *Estimación de la tasa de evaporación desde embalse en Andalucía*. IAHR Publishing.
<https://produccioncientifica.uca.es/documentos/6551d4e7aaaaaa46358ca845>

Gasnam-Neutral Transport (2016, 21 de enero). *Tabla-GASNAM-SEDIGAS*. <https://gasnam.es/wp-content/uploads/2018/01/Nuevo-formato-2016.01.21-Tabla-GASNAM-SEDIGAS.pdf> Consultado el 23 de agosto de 2024

Hoekstra, A. Y. (Ed.). (2003, febrero). *Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade*. The Netherlands: Value of Water Research Report Series, No. 12.
https://www.worldwatercouncil.org/fileadmin/wwc/Programs/Virtual_Water/VirtualWater_Proceedings_IHE.pdf

Hoekstra, A. Y., Chapagaing, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2021). *Manual de evaluación de la huella hídrica: Establecimiento del estándar mundial* (p. 151). AENOR Internacional, S.A.U.
https://www.waterfootprint.org/resources/TheWaterFootprintAssessmentManual_Spanish.pdf

Hoekstra, A. Y., Chapagaing, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2021). *Manual de evaluación de la huella hídrica: Establecimiento del estándar mundial* (p. 28). AENOR Internacional, S.A.U.
https://www.waterfootprint.org/resources/TheWaterFootprintAssessmentManual_Spanish.pdf

Hoekstra, A. Y., Chapagaing, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2021). *Manual de evaluación de la huella hídrica: Establecimiento del estándar mundial* (p. 51). AENOR Internacional, S.A.U.
https://www.waterfootprint.org/resources/TheWaterFootprintAssessmentManual_Spanish.pdf

Hoekstra, A. Y., Chapagaing, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2021). *Manual de evaluación de la huella hídrica: Establecimiento del estándar*

mundial (p. 57-65). AENOR Internacional, S.A.U.
https://www.waterfootprint.org/resources/TheWaterFootprintAssessmentManual_Spanish.pdf

Hoekstra, A. Y., Chapagaing, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2021). *Manual de evaluación de la huella hídrica: Establecimiento del estándar mundial* (p. 93). AENOR Internacional, S.A.U.
https://www.waterfootprint.org/resources/TheWaterFootprintAssessmentManual_Spanish.pdf

iAgua Data. (2024). *Embalse de Piedras*.
<https://www.iagua.es/data/infraestructuras/embalses/piedras>. Consultado el 10 de agosto de 2024

iAgua Magazine. (2015, marzo). *Huella hídrica, hacia una gestión sostenible de los recursos hídricos*. <https://www.iagua.es/magazine/6>. Página de consulta: 60-61.

Instituto Nacional de Estadísticas (INE). (2020). *Volumen de agua suministrada a la red por comunidades y ciudades autónomas, tipo de indicador y periodo*. <https://www.ine.es/jaxi/Tabla.htm?tpx=53447&L=0> (consultado el 25 de julio de 2024)

ISO 14046:2014. Organización Internacional de Normalización (ISO). *ISO 14046:2014 Gestión ambiental-Huella de agua-Principios, requisitos y directrices*. AENOR (Asociación Española de Normalización). <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14046:ed-1:v1:es>

Jefferies, D., Muñoz, I., Hodges, J., King, V. J., Martínez-Aldaya, M., Ercin, E., Milá i Canals, L., & Hoekstra, A. Y. (2012). *Water footprint and life cycle assessment as approaches to assess potential impacts of products on water consumption: Key learning points from pilot studies on tea and margarine*. *Journal of Cleaner Production*, 33, 155-166.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.04.015>

Junta de Andalucía. (2021, 13 de octubre). *Plan Andaluz de acción por el clima*. <https://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/portal/documents/20151/27181420/PAAC.pdf/e4761b37-e5ea-1204-9364-3f25bbd39be3?t=1635167310439>



Labrujulaverde (LBV). (2014, 26 de marzo). *¿Cuánta agua hace falta para fabricar una botella de agua?*. <https://www.labrujulaverde.com/2014/03/cuanta-agua-hace-falta-para-fabricar-una-botella-de-agua> Consultado el 20 de agosto de 2024

Laurent Hardy, & Garrido, A. (2010). *Papeles de agua virtual: Análisis y evaluación de las relaciones entre el agua y la energía en España (No. 6)*. Fundación Marcelino Botín. <https://fundacionbotin.org/publicaciones/papeles-de-agua-virtual-no-6-analisis-y-evaluacion-de-las-relaciones-entre-el-agua-y-la-energia-en-espana/>

López Farias, R., & Røkkjaer, K. (2015). *Medición avanzada para reducción de agua no registrada en el entorno de las smart cities*. Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7177806>

López Moreno, J. I. (2008, junio). *Estimación de pérdidas de agua por evaporación en embalses del Pirineo*. Geographical Research Letters. <https://doi.org/10.18172/cig.1207>

Malesu, M. M., Oduor, A. R., & Odhiambo, O. J. (Eds.). (2007). *Green water management handbook*. Rainwater harvesting for agricultural production and ecological sustainability (Technical Manual No. 8). World Agroforestry Centre (ICRAF) & Netherlands Ministry of Foreign Affairs.

Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2011). *The water footprint of electricity from hydropower*. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 8, 8355–8372. <https://doi.org/10.5194/hessd-8-8355-2011>

Mekonnen, M. M., Gerbens Leenes, P. W., & Hoekstra, A. Y. (2015). *The consumptive water footprint of electricity and heat. A global assessment*. *Environmental Science: Water Research & Technology*. <https://doi.org/10.1039/c5ew00026b>

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2020, 22 de septiembre). *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030*. <https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/plan-adaptacion-cambio-climatico-2021-2030.html>



Ministerio para la Transición Ecológica, AEMET, SAIH Confederaciones. (2024-a). *Embalse: Andévalo*. <https://www.embalses.net/pantano-476-andevalo.html>. Consultado el 10 de agosto de 2024

Ministerio para la Transición Ecológica, AEMET, SAIH Confederaciones. (2024-b). *Embalse: Chanza*. <https://www.embalses.net/pantano-503-chanza.html>. Consultado el 10 de agosto de 2024

RED EsAgua. (s.f.-a). *El valor de la huella hídrica*. Recuperado el 23 de julio de 2024, de <https://www.esagua.es/esagua/la-necesidad/>

RED EsAgua. (s.f.-b). *Dejar Huella (Hídrica) en el Ciclo Urbano del Agua*. Recuperado el 27 de julio de 2024, de <https://www.esagua.es/dejar-huella-hidrica-en-el-ciclo-urbano-del-agua/>

RETEMA. (2015, 8 de noviembre). *Ampliación de la ETAP de Huelva*. <https://www.retema.es/articulos-reportajes/ampliacion-etap-huelva>. Consultado el 12 de agosto de 2024

Salmoral, G. Aldaya, M.M. Chico, D. Garrido, A. & Llamas, M.R. (2011, noviembre). The water footprint of olive oil in Spain (No. 7). Fundación Marcelino Botín. DOI:10.5424/sjar/20110904-035-11

Sistema de Información Nacional de Aguas de Consumo (SINAC). (2024). *Información de un Abastecimiento*. <https://sinac.sanidad.gob.es/CiudadanoWeb/ciudadano/informacionAbastecimientoActionDetalleRed.do> (consultado el 25 de agosto de 2024)

SUR in English. (2024, 27 May). *Evaporation means reservoirs in the province can lose as much water as the entire population of Malaga city consumes in six months*. Recuperado el 25 de agosto de 2024, de <https://www.surinenglish.com/malaga/abnormal-heat-evaporates-from-the-reservoirs-each-20240527113705-nt.html>

Tu Tiempo (2023). *Clima HUELVA, Datos climáticos 2023*. <https://www.tutiempo.net/clima/2023/ws-83830.html> Consultado el 20 de agosto de 2024

UNESCO. (2023). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2023: Alianzas y cooperación por el agua*.

Fontenoy, 75352 París 07 SP, Francia:
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386807>

UNESCO.



ANEXOS

- **ANEXO I. ESQUEMAS DE PROCESOS DE LAS ETAP EL CONQUERO Y DE LA ESTACIÓN DEPURADORA EDAR AGUAS DE HUELVA**
- **ANEXO II. UNIDADES Y FACTORES DE CONVERSIÓN ENERGÉTICOS**
- **ANEXO III. CONSUMO DE ENERGÍA DEL CICLO URBANO DEL AGUA**
- **ANEXO IV. HUELLA HÍDRICA DE LA ENERGÍA SEGÚN SUS FUENTES DE SUMINISTROS**
- **ANEXO V. HUELLA HÍDRICA DE UN kWh DE ELECTRICIDAD EN ANDALUCÍA AÑO 2023**
- **ANEXO VI. HUELLA HÍDRICA DE LA ENERGÍA DE CADA UNIDAD E INSTALACIÓN DEL CICLO URBANO DEL AGUA DE LA CIUDAD DE HUELVA AÑO 2023**
- **ANEXO VII. HUELLA HÍDRICA DE LAS SUSTANCIAS EMPLEADAS**
- **ANEXO VIII. VOLÚMENES Y CAUDALES PRODUCIDOS POR LA ETAP EL “CONQUERO” Y DEPURADOS EN LA EDAR DE HUELVA DIARIAMENTE. PLUVIOMETRÍA DIARIA AÑO 2023**



ANEXO I. ESQUEMAS DE PROCESOS DE LAS ETAP EL CONQUERO Y DE LA ESTACIÓN DEPURADORA EDAR AGUAS DE HUELVA

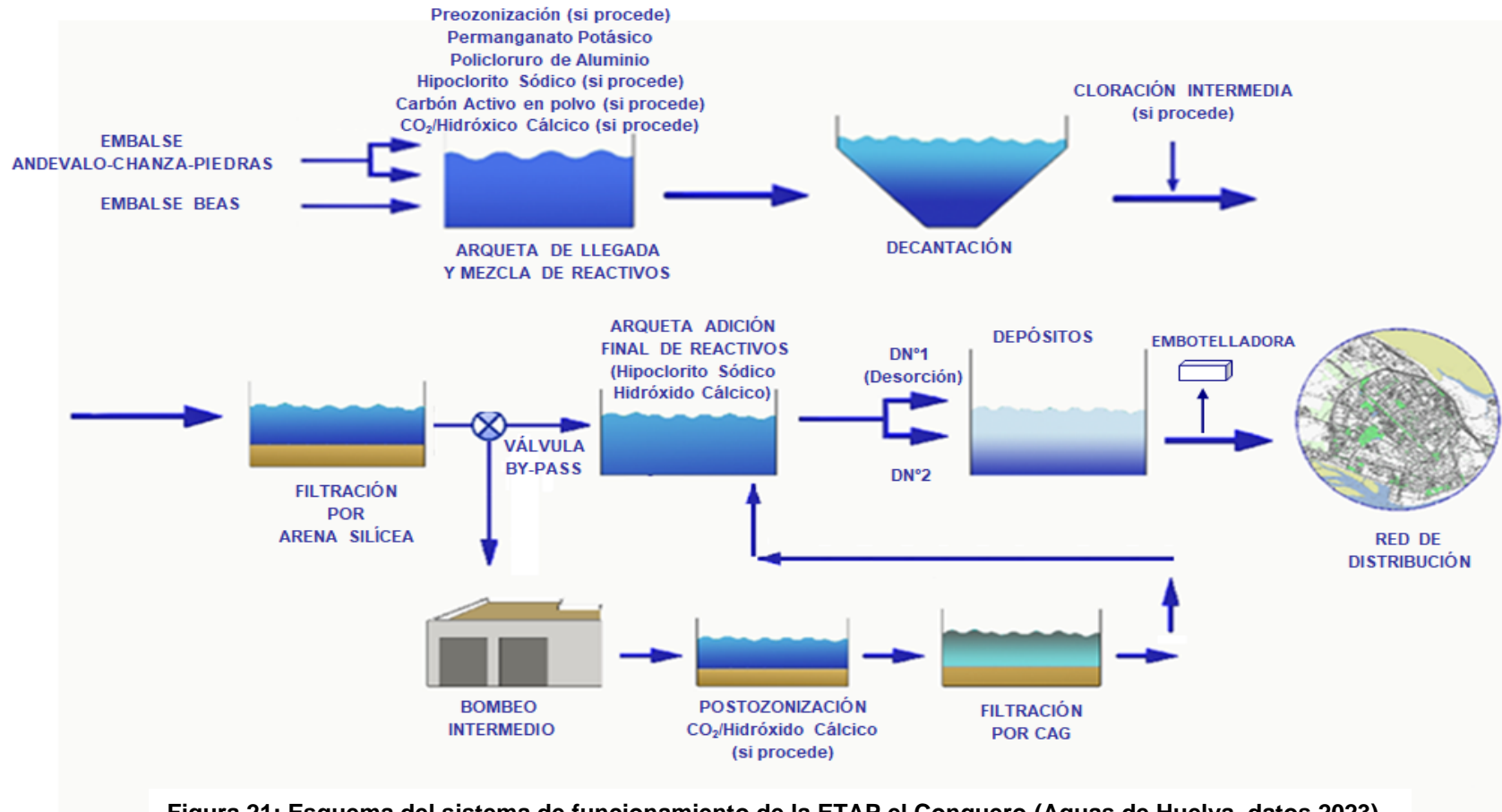


Figura 21: Esquema del sistema de funcionamiento de la ETAP el Conquero (Aguas de Huelva, datos 2023).

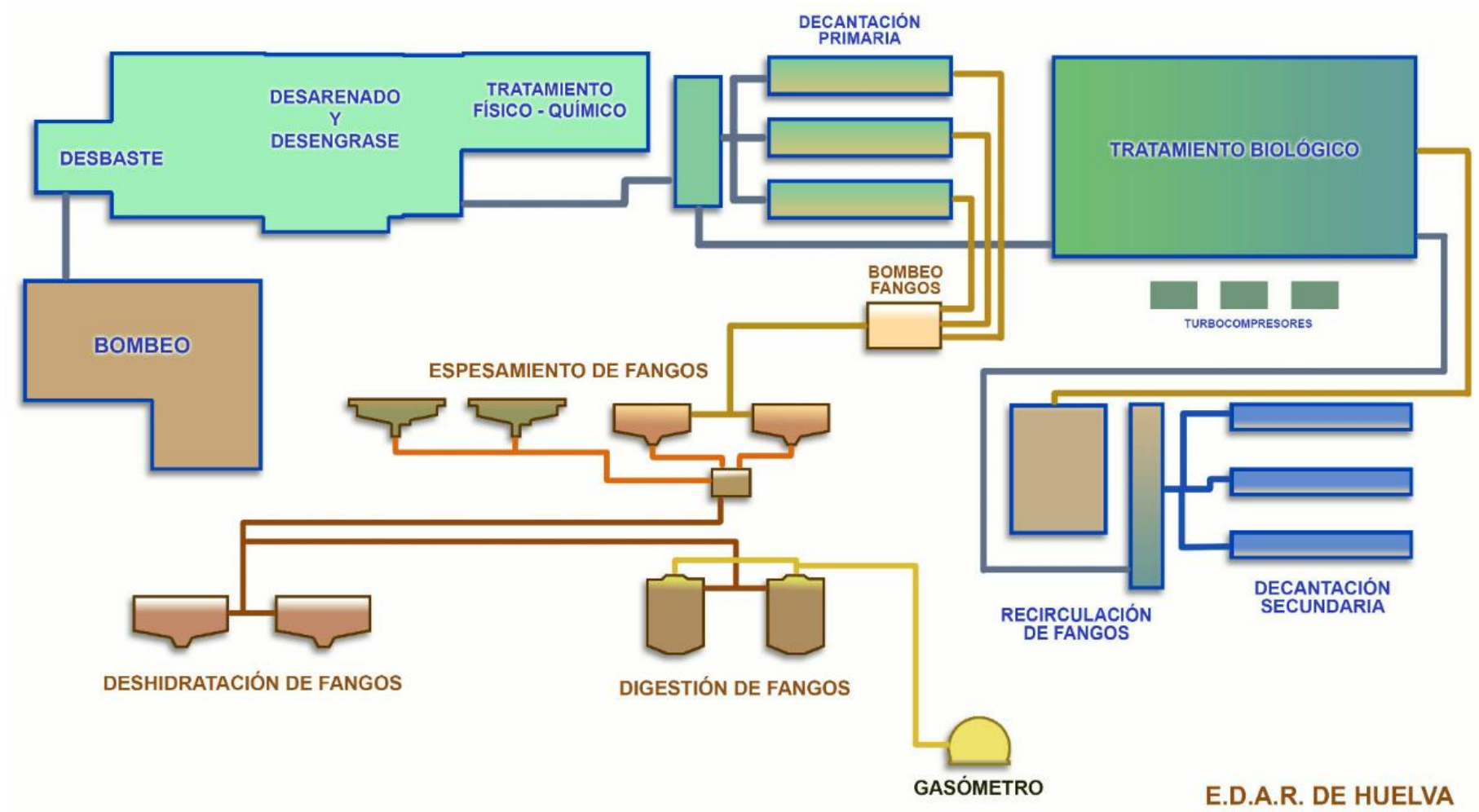


Figura 22: Esquema del sistema de funcionamiento de la EDAR Huelva (Aguas de Huelva, datos 2023).

ANEXO II. UNIDADES Y FACTORES DE CONVERSIÓN ENERGÉTICOS

	tep
1 tep	1
1 termia	$1 \cdot 10^{-4}$
1 kcal	$1 \cdot 10^{-7}$
1 BTU	$2,52 \cdot 10^{-8}$
1 Julio	$2,39 \cdot 10^{-11}$
1 CVh	$6,58 \cdot 10^{-5}$
1 kWh	$8,62 \cdot 10^{-5}$

Tabla 24: Equivalencia entre unidades de trabajo o energía en sus formas eléctrica, mecánica y térmica. (DEA, 2022)

	t/m3	
Gasolinas.	Gasolina Auto 95 I.O.	0,752
	Gasolina Auto 98 I.O.	0,752
	Gasolina de Aviación.	0,750
	Otras gasolinas.	0,750
	Bioetanol.	0,790
Querosenos	Gasolinas Mezcla.	(*)
	Queroseno Aviación Jet A1.	0,800
	Queroseno Aviación Jet A2.	0,800
Gasóleos	Otros querosenos.	0,800
	Gasóleo A 10 ppm.	0,845
	Gasóleo B.	0,845
	Gasóleo C.	0,845
	Hidrobiodiésel (HVO).	0,775
	Biodiésel.	0,880
	Biodiésel Mezcla.	(*)
	Gasóleo Uso Marítimo.	0,860
	Otros gasóleos.	0,860
	Fuelóleos	Fuelóleo BIA.
Fuelóleo de refinería.		1,000
Otros combustibles uso mar.		1,000
Otros Fuelóleos.		1,000

Tabla 25: Densidades de combustibles (densidades a 15 °C expresadas en t/m3) (BOE-A-2015-6563).

			kWh/l	kWh/kg	GJ/t=MJ/kg (*)
FASE GASE	Gas natural (o°C)	PCS	0,0117	15,75	56,69
	GNC	PCS	2,50	15,75	56,69
FASE LIQU	GNL	PCS	6,79	15,75	56,69
	Gasóleo	PCS	10,26	12,14	43,71
	Gasolina	PCS	9,23	12,39	44,60
	GLP	PCS	7,73	13,80	49,68

Tabla 26: Poder Calorífico y Energético de varios combustibles (GASNAM, 2016)



ANEXO III. CONSUMO DE ENERGÍA DEL CICLO URBANO DEL AGUA

ETAPAS	INSTALACIÓN	Energía Total Consumida				
		Gasóleo		Energía Eléctrica	Energía Generada Auto-consumida por Energía Solar	Energía Generada Auto-consumida por Cogeneración
		Ltro	kWh	kWh	kWh	kWh
CAPTACIÓN	Estación de Bombeo (El Torrejón)			1 448 260		
POTABILIZACIÓN	ETAP (El Conquero)			1 299 536	183 129	
DISTRIBUCIÓN Y ALMACENAMIENTO	Unidades Remotas de Información (URI)			3 426		
ALCANTARILLADO	22 Estaciones de Bombeo			1 328 338		
	Grupos Electrónicos	1 770	18 160			
DEPURACIÓN	EDAR Huelva			1 904 768	89 017	876 889

Tabla 27: Energía total consumida del Ciclo Urbano del Agua de la Ciudad de Huelva en el año 2023. (Agua de Huelva, datos 2023)

ANEXO IV. HUELLA HÍDRICA DE LA ENERGÍA SEGÚN SUS FUENTES DE SUMINISTROS

Para el cálculo de la Huella Hídrica asociada al consumo de combustibles y energía eléctrica se han tomado los datos medios presentados por Hardy & Garrido (2010) tal y como se muestran en la Tabla 27.

<i>Tecnología Productora</i>	<i>Tipo de uso</i>	<i>Valor inferior m³/GWh</i>	<i>Valor estimado m³/GWh</i>	<i>Valor elevado m³/GWh</i>
Carbón	A.Uti.	1.134	31.047	189.000
	A.Con.	756	1.552	1.815
Petróleo	A.Uti.	0	24.322	189.000
	A.Con.	0	1.216	1.814
Gas Natural	A.Uti.	0	13.675	189.000
	A.Con.	0	684	1.814
Nuclear	A.Uti.	1.890	75.362	226.800
	A.Con.	1.512	1.569	2.722
Hidroeléctrico	A.Uti.	715.000	791.676	3.145.000
	A.Con.	10.000	40.814	70.000
Biomasa	A.Uti.	1.134	31.047	189.000
	A.Con.	1.134	1.552	1.814
Residuos	A.Uti.	1.134	31.047	189.000
	A.Con.	756	800	1.814
Solar Termoeléctrico	A.Uti.	2.775	3.090	3.404
	A.Con.	2.775	3.090	3.404
Geotérmica	A.Uti.	7.400	7.400	7.400
	A.Con.	5.180	5.180	5.180

Tabla 28: Utilización y consumo de agua por unidad de electricidad producida según el tipo de central de producción en España. (Hardy & Garrido, 2010)

En la Tabla 28, y a efectos comparativos, se presentan los datos propuestos por el estudio de Mekonnen et al. (2015). La Huella Hídrica de la energía eólica será tomada de este trabajo por no estar presente entre los datos ofrecidos por Hardy & Garrido (2010).

Fuentes de Suministros	Operación m³/TJ	Construcción m³/TJ	Combustible m³/TJ	TOTAL m³/TJ	TOTAL m³/kWh
Carbón y lignina	440	1.1	54	495.1	1.782·10 ⁻³
Petróleo	440	1.1	55	496.1	1.786·10 ⁻³
Gas Natural	240	1.1	6	247.1	8.9·10 ⁻⁴

Nuclear	610	0.3	68	678.3	$2.442 \cdot 10^{-3}$
Hidroeléctrico	15 100	0.3	0	15 100.3	$5.436 \cdot 10^{-2}$
Biomasa	400	0.4	156 000	156 400.4	0.563
Solar	50	90	0	140	$5.04 \cdot 10^{-4}$
Geotérmica	340	2.1	0	342.1	$1.232 \cdot 10^{-3}$
Eólica	0.2	1.1	0	1.3	$4.68 \cdot 10^{-6}$

Tabla 29: Huella Hídrica por kWh de energía para diferentes fuentes de suministro (Mekonnen et al., 2015)

Se ha decidido tomar como referencia los datos del estudio de Hardy & Garrido (2010) por estar tomados en España, mientras que el de Mekonnen et al. (2015) aporta datos medios globales.

En la Tabla 28 puede verse que la casi totalidad (más de un 99,7%) de la Huella Hídrica de la biomasa viene dada por la generación del propio combustible que, al tratarse de crecimiento de plantas, se considerará azul y verde. Como se indica en Mekonnen et al. (2015), esta será la única fuente de energía que contará con una parte de Huella Hídrica Verde, siendo el resto Azul.

Se ha estimado el peso que tendrá la componente verde de la Huella Hídrica de la biomasa, utilizando el estudio sobre la biomasa en Andalucía ofrecido por la Agencia Andaluza de la Energía de la Consejería de Industrias de Energía y Minas en su web (Agencia Andaluza de la Energía, 2020), donde se ha podido conocer la parte porcentual, la procedencia y la composición del combustible empleado en Comunidad Andaluza para la generación de energía a partir de biomasa.

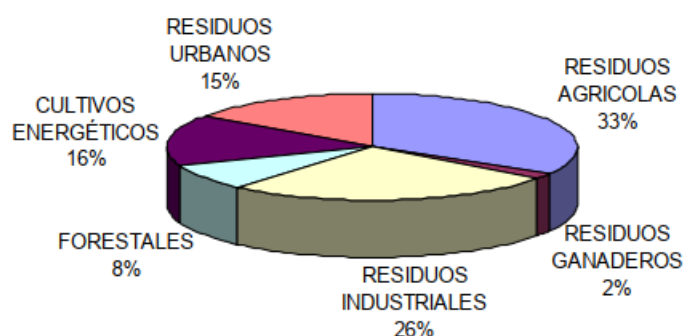


Figura 23: Gráfico de distribución del potencial de biomasa en Andalucía. (Agencia Andaluza de la Energía, 2020).

TIPO DE BIOMASA		TONELADAS	KTEP
RESIDUOS AGRICOLAS	SUBTOTAL BIOMASA AGRÍCOLA	4.606.473	1.322
	OLIVAR	2.524.419	803
	FRUTAL	112.611	39
	VID	48.305	12
	GIRASOL	524.533	152
	INVERNADEROS	415.070	50
	ARROZ	145.910	41
	ALGODÓN	721.353	217
	TOMATE	38.449	8
RESIDUOS GANADEROS	SUBTOTAL BIOMASA GANADERA	4.342.525	77
	PORCINO	1.476.565	17
	VACUNO	1.371.182	24
	AVICOLA	361.355	18
	OTRAS ESPECIES	1.133.424	18
RESIDUOS INDUSTRIALES	SUBTOTAL BIOMASA INDUSTRIAL	5.070.029	1.023
	HOJA OLIVO	345.108	86
	HUESO ACEITUNA	552.434	215
	ORUJO HUMEDO GRASO OLIVA	3.011.462	422
	CASCARA ARROZ	58.693	20
	INDUSTRIA CERVEZA	123.083	2
	MATADERO Y CARNICAS	100.203	14
	RESIDUOS CORCHO	10.600	4
	DESMOTADORA DE ALGODÓN	16.811	5
	CASCARA FRUTOS SECOS	17.500	7
	INDUSTRIA VINO Y LICORES	41.097	9
	INDUSTRIA Y MADERA	220.410	59
	INDUSTRIA AZUCARERA	6.000	2
	RESIDUOS INDUSTRIA PESCADO	14.824	1
	LICORES NEGROS	474.802	145
GLICERINA BRUTA	77.000	35	
RESIDUOS FORESTALES	SUBTOTAL BIOMASA FORESTAL	1.345.840	322
	QUERCUS	283.237	76
	EUCALIPTO	488.706	83
	POPULUS	9.087	2
	PINUS	564.994	161
CULTIVOS ENERGÉTICOS	SUBTOTAL BIOMASA CULTIVO ENERGÉTICO	1.864.600	620
RESIDUOS URBANOS	SUBTOTAL BIOMASA URBANA	2.929.782	591
	ACEITES VEGETALES USADOS	57.916	52
	PARQUES Y JARDINES	208.000	56
	FORSU	735.697	276
	LODOS EDAR URBANOS	547.775	163
	AGUAS RESIDUALES (M3)	1.380.394	44
TOTAL POTENCIAL DE BIOMASA ENERGETICA EN ANDALUCÍA		20.159.249	3.955

Tabla 30: Potencial de biomasa en Andalucía. (Agencia Andaluza de la Energía, 2020).

De este estudio se obtiene que en la clasificación de residuo agrícola, cultivo especial y residuos industriales el cultivo más significativo con mayor potencialidad energética de la Comunidad lo constituye el Olivo junto a todos

sus derivados, tomándose este como referencia para la estimación de la huella hídrica de la Biomasa consumida de estas categorías con mayor peso.

Por otra parte, del estudio Salmoral et al., (2011) se obtiene que la media de la Huella Hídrica del sembrado de olivar en España según sus resultados se puede definir como HH Azul: 6.4%, HH. Verde: 84% HH Gris 9.6%.

También según el esquema de la Figura 1 que a continuación se muestra, reflejada en Malesu, Oduor, & Odhiambo (2007) indica que el 65 % del agua aportada por la precipitación que es la fuente primaria del agua continental, se transforma en agua verde, y el 35 % restante constituye el agua azul o escorrentía, la cual queda disponible para los usos humanos domésticos, industriales, generación de hidro-energía, etc., incluyendo la porción que se capta y que se utiliza para el regadío de los cultivos, los cuales transforman la mayor cantidad en agua verde.

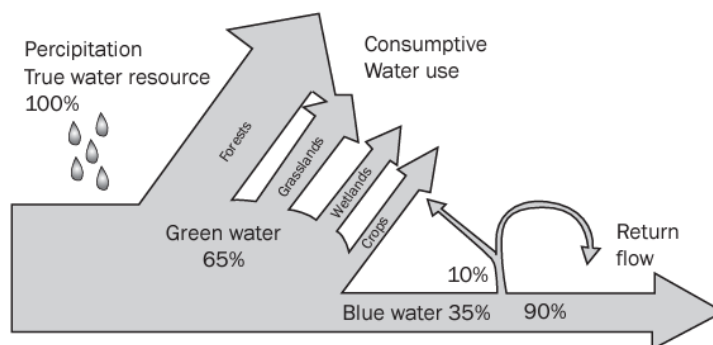


Figura 24: Esquema general del comportamiento del agua precipitada en las superficies continentales. (Malesu, Oduor, & Odhiambo, 2007).

De los datos anteriores se pueden cuantificar la siguiente tabla resumen para la estimación de las partes correspondientes a la huella hídrica verde producto a la generación de energía a partir de biomasa en Andalucía:

Potencial de Biomasa	Residuo Agrario (33%)	Residuo Forestal (8%)	Residuo Industrial (26%)	Cultivos energéticos (16%)*
Criterio	Tipo de Biomasa (Olivo)(84%)	Comportamiento del Agua precipitada (65%)	Tipo de Biomasa (Olivo)(84%)	Tipo de Biomasa (Olivo)(84%)
Coficiente (1/1)	$0.33 \cdot 0.84 = \mathbf{0.277}$	$0.08 \cdot 0.65 = \mathbf{0.050}$	$0.26 \cdot 0.84 = \mathbf{0.218}$	$0.16 \cdot 0.84 = \mathbf{0.134}$
Porciento Total	$0.277 + 0.050 + 0.218 + 0.134 = \mathbf{(0.68 - 68\%)}$			

Tabla 31: Parte relativa de la Huella Hídrica Verde de la obtención de biomasa Andaluza.

(*) Se contabilizaron todos los tipos de biomasa cuyos orígenes descienden del tipo agrícola forestal.

(*) Al no contar con información de los tipos de plantaciones empleadas para los cultivos energéticos, el criterio que fue empleado para determinar la HH verde de estos fue el de “Tipo de Biomasa”, tomando también el olivo como plantación de referencia.

Resumiendo, se tiene que la parte correspondiente a la Huella Hídrica Azul es de un **32%** mientras que la Verde es de un **68%** producto a la generación de energía a partir de biomasa en Andalucía.



ANEXO V. HUELLA HÍDRICA DE UN kWh DE ELECTRICIDAD EN ANDALUCÍA (2023)

Para el cálculo de la Huella Hídrica de un kWh producido en Andalucía en el año 2023 se han tomado los datos del balance energético ofrecido por la Agencia Andaluza de la Energía en su informe anual (DEA, 2022), del cual se ha calculado el peso relativo de cada fuente sobre la generación total tal como puede verse en la Tabla 31.

Fuentes de Energía	Consumo (ktep)	Consumo (MWh)	Peso relativo %
Carbón	7.9	0.681	0.59
Petróleo	635.3	54.763	47.35
Gas Natural	380.2	32.773	28.34
Solar	7.2	0.621	0.54
Biomasa	38.5	3.319	2.87
Energía Eléctrica	272.4	23.481	20.31
TOTAL	1341.6	115.638	100

Tabla 32: Peso relativo del consumo de energía final por fuentes en Huelva año 2023. (DEA, 2022).

En la Tabla 32 se muestran los cálculos realizados para obtener qué Huella Hídrica tenía un kWh de energía eléctrica en Andalucía durante el año 2023. Para ello se han llevado los valores porcentuales a la unidad (1/1), de modo que se ha obtenido la parte proporcional que cada fuente de energía tiene sobre un kWh de energía generada.

En la tercera columna, esa parte proporcional se ha multiplicado por la Huella Hídrica (en m³/kWh) de cada una de las fuentes según los datos presentados en el primer punto del Anexo IV. Sumando los valores obtenidos se halla el resultado buscado.

Fuentes de Energía	Peso sobre un kWh	HH de cada fuente (m ³ /kWh)	HH para 1 kWh de electricidad (m ³ /kWh)
Carbón	$5.9 \cdot 10^{-3}$	$1.552 \cdot 10^{-3}$	$9.157 \cdot 10^{-6}$
Petróleo	0.474	$1.216 \cdot 10^{-3}$	$5.758 \cdot 10^{-4}$
Gas Natural	0.283	$6.84 \cdot 10^{-4}$	$1.939 \cdot 10^{-4}$
Solar	$5.4 \cdot 10^{-3}$	$3.09 \cdot 10^{-3}$	$1.669 \cdot 10^{-5}$
Biomasa	$2.87 \cdot 10^{-2}$	$1.552 \cdot 10^{-3}$	$4.454 \cdot 10^{-5}$
Energía Eléctrica *	0.203	$1.619 \cdot 10^{-3}$	$3.288 \cdot 10^{-4}$
TOTAL			$1.169 \cdot 10^{-3}$

Tabla 33: Huella Hídrica de un kWh producido en Andalucía año 2023.

(*) Al no contar con información exactas de las fuentes empleadas para la generación de la energía eléctrica consumida en Huelva durante el 2023, se toma su HH como la media de las restantes fuentes, resultando $1.169 \cdot 10^{-3}$ (m³/kWh)

Como se ha visto en el primer punto de este Anexo, la Huella Hídrica de todas las fuentes se considerará Azul, con la excepción de la biomasa, que tendrá parte de verde.

Para el cálculo de la parte Verde, se toma el peso de la Huella Hídrica de la biomasa sobre el total de la Huella hídrica de la energía generada en Andalucía en 2023, siendo esta de 3.81% de la que un 32% contabilizará como Huella Hídrica Azul, y un 68% como Huella Hídrica Verde lo que supondrá un 2.59% del total de la energía eléctrica generada.

Huella Hídrica	Peso relativo en %	Huella Hídrica (m ³ /kWh)
Azul	97.41	$1.139 \cdot 10^{-3}$
Verde	2.59	$3.027 \cdot 10^{-5}$
TOTAL	100	$1.169 \cdot 10^{-3}$

Tabla 34: Huella Hídrica de cada kWh de energía eléctrica generada en Andalucía en el año 2023



ANEXO VI. HUELLA HÍDRICA DE LA ENERGÍA DE CADA UNIDAD E INSTALACIÓN DEL CICLO URBANO DEL AGUA DE LA CIUDAD DE HUELVA AÑO 2023

Para hallar la Huella Hídrica de la energía empleada por cada unidad se ha multiplicado su consumo de combustible y de energía eléctrica (ver Anexo III y Anexo IV) por sus respectivas Huellas Hídricas.

El resultado correspondiente a la Huella Hídrica Azul que se muestra en las tablas corresponde a la suma de las Huellas Hídricas de todos los combustibles más el 97.41% de la Huella Hídrica de la energía eléctrica empleada.

La componente verde de la Huella Hídrica incluye únicamente el 2.59% del total de la energía eléctrica correspondiente a la biomasa tal y como se ha visto en el Anexo IV y Anexo V.

CAPTACIÓN						
Instalación	Fuente	kWh	HH (m ³ /kWh)	HH total (m ³)	HH Azul (m ³)	HH Verde (m ³)
Estación de Bombeo (El Torrejón)	Energía Eléctrica	1 448 260	1.169·10 ⁻³	1693	1649	44
POTABILIZACIÓN						
Instalación	Fuente	kWh	HH (m ³ /kWh)	HH total (m ³)	HH Azul (m ³)	HH Verde (m ³)
ETAP (El Conquero)	Energía Eléctrica	1 299 536	1.169·10 ⁻³	1519	1480	39
DISTRIBUCIÓN Y ALMACENAMIENTO						
Instalación	Fuente	kWh	HH (m ³ /kWh)	HH total (m ³)	HH Azul (m ³)	HH Verde (m ³)
Unidades Remotas de Información (URI)	Energía Eléctrica	3 426	1.169·10 ⁻³	4.00	4	-
ALCANTARILLADO						
Instalación	Fuente	kWh	HH (m ³ /kWh)	HH total (m ³)	HH Azul (m ³)	HH Verde (m ³)
22 Estaciones de Bombeo	Energía Eléctrica	1 328 338	1.169·10 ⁻³	1 553	1 513	40
Grupos Electrónicos	Gasóleo	18 160	1.216·10 ⁻³	22	21	1
DEPURACIÓN						
Instalación	Fuente	kWh	HH (m ³ /kWh)	HH total (m ³)	HH Azul (m ³)	HH Verde (m ³)
EDAR Huelva	Energía Eléctrica	1 904 768	1.169·10 ⁻³	2 227	2 169	58

Tabla 35: Huella Hídrica de la energía de cada unidad e instalación del ciclo urbano del agua de la ciudad de Huelva año 2023.

ANEXO VII. HUELLA HÍDRICA DE LAS SUSTANCIAS EMPLEADAS

La Huella Hídrica por cada unidad de las sustancias empleadas en la ETAP y EDAR de Huelva

Materia	HH AZUL (m ³ /kg)*
Polielectrolito	0.051
Oxígeno (para formar Ozono)	0.032
Cloruro Férrico	0.010
Policloruro de aluminio	0.596
Permanganato Potásico	0.564
Hipoclorito Sódico	2.081
Carbón Activo	0.192

Tabla 36: Huella Hídrica de sustancias y productos.

(*) Basadas en el Análisis del Ciclo de Vida

Al ser la Huella Hídrica un indicador relativamente nuevo, existe una carencia de datos para ciertos productos que, de cara a la elaboración del presente trabajo y a modo orientativo, se ha suplido acudiendo a los datos de consumo de agua obtenidos de sus Análisis del Ciclo de Vida.

A continuación, se detallan las fuentes, cálculos y estimaciones realizadas para cada una de las materias:

- Polielectrolitos: es uno de los casos en los que se ha tenido que acudir a bases de datos de ACV. Al desconocer de qué tipo de polímeros en particular se trata, se han tomado datos de consumo de agua potable y de río para la fabricación de diferentes polímeros y se ha calculado la media. Como puede verse en la Tabla 36, el resultado ha sido de 51.406 kg de agua/kg de polímero. Suponiendo una equivalencia para el agua de 1 kg = 1 litro se obtiene el resultado de 0.051 m³/kg de polielectrolitos.

Materia	Agua (kg/kg)	Agua de río (kg/kg)	SUMA (kg/kg)
ABS	66.645	48.919	115.564
PET granulado, botellas	58.668	0.234	58.902
PET granulado, amorfo	54.062	0.244	54.306
S-PVC	20.291	36.040	56.330
B-PVC	20.874	1.328	22.202

PB	17.785	0.428	18.213
PP	31.119	3.203	34.322
MEDIA			51.406

Tabla 37: Consumos Hídricos de polímeros (European Commission, 2024)

- Oxígeno (para formar Ozono): este dato ha sido obtenido de registros de Análisis del Ciclo de Vida, con un valor de 0.032 m³de agua/kg de producto (European Commission, 2024).
- Cloruro Férrico: se ha tenido que acudir a la base de datos del Análisis del Ciclo de Vida. El consumo de agua para la elaboración de 1 kg de cloruro férrico será de o 0.010 m³ (European Commission, 2024).
- Policloruro de aluminio: en este caso también se ha tenido que acudir a datos de consumo de agua dados por el ACV. El resultado es de 0.596 m³/kg (Ecoinvent v3.10, 2023).
- Permanganato Potásico: Datos de consumo de agua dados por el ACV. El resultado es de 0.564 m³/kg (Ecoinvent v3.10, 2023).
- Hipoclorito Sódico: Datos de consumo de agua dados por el ACV. El resultado es de 2.081 m³/kg (Ecoinvent v3.10, 2023).
- Carbón Activo: Datos de consumo de agua dados por el ACV. El resultado es de 0.192 m³/kg (Ecoinvent v3.10, 2023).

Los valores de uso de agua obtenidos de bases de datos de Análisis de Ciclo de Vida tienen cierta antigüedad por lo que estos usos de agua no distinguen usos de agua consuntivos y no consuntivos.

Además, al no incluir todas las componentes que sí incluye el análisis de la Huella Hídrica (como puede ser la Huella Hídrica de la Cadena de Suministro), los datos basados en el Análisis del Ciclo de Vida arrojan resultados considerablemente más bajos que los primeros.

Se han aceptado estos datos debido a que no ha sido posible hallar cálculos de las Huellas Hídricas de estos productos.

ANEXO VIII. VOLÚMENES Y CAUDALES PRODUCIDOS POR LA ETAP EL “CONQUERO” Y DEPURADOS EN LA EDAR DE HUELVA DIARIAMENTE. PLUVIOMETRÍA DIARIA AÑO 2023

En este anexo se muestran en la Tabla 37 los datos del agua diariamente tratada en las ETAP el “Conquero”, así como la depurada por la EDAR de Huelva, durante el año 2023. Los datos han sido proporcionados por la Empresa Municipal de Aguas de Huelva S.A.

En la última columna se muestra también la precipitación diaria según datos reportados por la estación meteorológica: 83830 (Latitud: 37.28 | Longitud: -6.91 | Altitud: 20) (Tu Tiempo, 2023), estos datos han sido contrastados también por los que brinda la Agencia Estatal de Meteorología de España (AEMET, 2022) en su web oficial en la sesión de “Estadística de vigilancia del clima”

En la columna de precipitaciones se resalta un rango de colores, donde el color gris muestra los períodos de menos precipitación, mientras que el color azul los períodos de mayores precipitaciones del año 2023.

También se refleja una columna del balance hídrico diario, que no es más que la diferencia entre la depurada por la EDAR y la tratada en la ETAP.

Fecha	ETAP (m ³ /día)	EDAR (m ³ /día)	Balance diario (m ³ /día)	Precipitación (mm)
01/01/2023	24 901	33 700	8 752	0.00
02/01/2023	25 395	42 200	16 747	5.08
03/01/2023	27 357	34 400	6 995	0.00
04/01/2023	27 689	35 000	7 263	0.00
05/01/2023	26 802	35 500	8 649	0.00
06/01/2023	24 299	34 900	10 553	0.00
07/01/2023	24 981	35 300	10 270	0.00
08/01/2023	26 557	40 300	13 687	2.54
09/01/2023	28 742	36 700	7 907	0.51
10/01/2023	28 305	38 100	9 742	0.25
11/01/2023	28 494	36 500	7 955	0.00
12/01/2023	28 989	37 000	7 960	0.00
13/01/2023	28 012	36 100	8 038	0.00
14/01/2023	26 977	35 700	8 674	0.00
15/01/2023	26 231	34 600	8 321	0.00



16/01/2023	27 489	35 400	7 862	0.51
17/01/2023	28 108	35 200	7 043	0.00
18/01/2023	29 080	34 400	5 272	0.00
19/01/2023	28 841	46 300	17 395	0.00
20/01/2023	27 860	46 288	18 364	0.00
21/01/2023	27 198	33 500	6 256	0.00
22/01/2023	27 072	33 100	5 982	0.00
23/01/2023	28 381	32 100	3 675	0.00
24/01/2023	30 088	35 300	5 163	0.00
25/01/2023	29 112	34 900	5 740	0.00
26/01/2023	28 772	34 600	5 780	0.00
27/01/2023	28 371	34 200	5 782	0.00
28/01/2023	26 465	32 200	5 690	0.00
29/01/2023	27 429	32 200	4 726	0.00
30/01/2023	28 985	32 400	3 370	0.00
31/01/2023	29 184	32 900	3 670	0.00
01/02/2023	29 211	33 900	4 642	0.00
02/02/2023	29 337	33 500	4 117	0.00
03/02/2023	28 944	33 000	4 010	0.00
04/02/2023	26 990	32 200	5 165	0.00
05/02/2023	27 640	33 000	5 314	0.00
06/02/2023	29 876	33 800	3 877	0.00
07/02/2023	28 782	34 100	5 271	0.00
08/02/2023	28 064	47 800	19 670	0.76
09/02/2023	28 996	34 200	5 157	29.72
10/02/2023	27 783	36 272	8 439	0.00
11/02/2023	26 375	35 315	8 891	0.00
12/02/2023	26 835	34 192	7 310	0.00
13/02/2023	28 702	33 680	4 931	0.00
14/02/2023	29 057	34 500	5 395	0.00
15/02/2023	28 881	34 800	5 871	0.00
16/02/2023	29 393	33 300	3 861	0.00
17/02/2023	28 518	34 500	5 934	0.00
18/02/2023	26 790	34 500	7 662	0.00
19/02/2023	27 632	35 100	7 419	0.00
20/02/2023	29 750	36 000	6 200	0.00
21/02/2023	29 611	25 500	-4 146	0.00
22/02/2023	29 617	37 700	8 031	0.00
23/02/2023	29 387	37 000	7 562	0.00
24/02/2023	28 085	33 700	5 568	0.00
25/02/2023	25 213	32 000	6 743	0.00
26/02/2023	25 809	28 600	2 751	0.00
27/02/2023	26 292	36 300	9 958	0.00





28/02/2023	26 736	31 100	4 321	0.00
01/03/2023	28 544	30 448	1 862	0.00
02/03/2023	28 885	33 700	4 768	0.00
03/03/2023	28 671	31 248	2 534	0.00
04/03/2023	25 804	31 328	5 481	0.00
05/03/2023	25 684	30 448	4 722	0.00
06/03/2023	27 150	36 480	9 279	0.76
07/03/2023	29 123	29 700	536	4.32
08/03/2023	29 018	35 600	6 533	0.76
09/03/2023	28 112	59 200	31 006	1.02
10/03/2023	28 748	33700	4 905	0.51
11/03/2023	26 639	32 800	6 116	0.00
12/03/2023	27 977	32 900	4 877	0.00
13/03/2023	29 251	33 300	4 003	0.00
14/03/2023	29 383	31 500	2 073	0.00
15/03/2023	29 812	31 800	1 944	0.00
16/03/2023	29 448	31 900	2 408	0.00
17/03/2023	28 989	28 200	-828	0.25
18/03/2023	26 593	31 300	4 664	0.00
19/03/2023	26 898	31 800	4 858	0.00
20/03/2023	29 817	35 100	5 234	0.00
21/03/2023	29 724	34 800	5 028	0.00
22/03/2023	30 737	34 032	3 248	0.00
23/03/2023	29 491	33 300	3 763	0.00
24/03/2023	30 010	33 100	3 044	0.00
25/03/2023	27 467	33 000	5 487	0.00
26/03/2023	28 099	31 000	2 858	0.00
27/03/2023	31 509	32 700	1 146	0.00
28/03/2023	30 900	31 500	556	0.00
29/03/2023	32 477	31 400	-1 121	0.00
30/03/2023	31 315	32 700	1 340	0.00
31/03/2023	31 449	46 100	14 587	0.00
01/04/2023	27 819	30 900	3 038	0.00
02/04/2023	27 959	30 800	2 798	0.00
03/04/2023	31 344	31 400	12	0.00
04/04/2023	29 534	34 100	4 519	0.00
05/04/2023	30 940	33 000	2 014	0.00
06/04/2023	29 425	34 000	4 528	0.00
07/04/2023	27 413	30 700	3 244	0.00
08/04/2023	26 216	30 300	4 042	0.00
09/04/2023	27 815	30 800	2 942	0.00
10/04/2023	31 932	28 600	-3 372	0.00
11/04/2023	31 591	25 500	-6 126	0.00





12/04/2023	31 918	26 600	-5 355	0.00
13/04/2023	31 836	22 500	-9 367	0.00
14/04/2023	31 572	22 600	-9 003	0.00
15/04/2023	28 314	26 400	-1 951	0.00
16/04/2023	29 509	26 700	-2 846	0.00
17/04/2023	31 185	32 800	1 570	0.00
18/04/2023	32 237	34 200	1 916	0.00
19/04/2023	32 836	34 700	1 816	0.00
20/04/2023	32 858	35 300	2 393	0.00
21/04/2023	31 409	35 400	3 942	0.00
22/04/2023	28 015	33 000	4 939	1.02
23/04/2023	29 068	31 100	1 989	0.00
24/04/2023	32 718	31 900	-862	0.00
25/04/2023	32 337	32 300	-82	0.00
26/04/2023	33 429	31 100	-2 372	0.00
27/04/2023	32 825	33 500	629	0.00
28/04/2023	33 100	31 700	-1 444	0.00
29/04/2023	27 081	31 500	4 375	0.00
30/04/2023	26 504	28 700	2 156	0.25
01/05/2023	30 827	41 300	10 416	0.00
02/05/2023	33 110	33 300	144	0.00
03/05/2023	32 633	36 600	3 916	0.00
04/05/2023	32 303	34 900	2 549	0.00
05/05/2023	32 087	35 200	3 064	0.00
06/05/2023	27 735	34 700	6 917	0.00
07/05/2023	28 354	34 900	6 498	0.00
08/05/2023	32 448	35 000	2 503	0.00
09/05/2023	32 878	32 600	-323	0.00
10/05/2023	32 884	33 600	669	0.00
11/05/2023	31 784	31 500	-328	0.00
12/05/2023	32 760	31 700	-1 104	0.00
13/05/2023	28 029	32 800	4 726	0.00
14/05/2023	28 990	32 700	3 665	0.00
15/05/2023	32 956	34 200	1 197	0.00
16/05/2023	32 499	33 300	755	0.00
17/05/2023	31 833	33 700	1 820	0.00
18/05/2023	32 368	31 900	-512	0.00
19/05/2023	31 936	31 100	-879	0.00
20/05/2023	27 059	33 000	5 895	0.00
21/05/2023	26 328	33 300	6 926	0.00
22/05/2023	30 576	32 900	2 278	2.29
23/05/2023	28 498	33 300	4 756	11.43
24/05/2023	28 663	33 600	4 890	3.05





25/05/2023	28 027	32 100	4 029	0.25
26/05/2023	27 450	31 700	4 206	0.00
27/05/2023	25 602	32 700	7 053	0.00
28/05/2023	26 171	29 500	3 288	0.51
29/05/2023	29 156	34 000	4 797	0.00
30/05/2023	21 408	33 700	12 245	0.00
31/05/2023	26 168	35 000	8 784	1.52
01/06/2023	31 205	31 700	451	0.00
02/06/2023	30 960	32 500	1 495	0.00
03/06/2023	27 389	28 800	1 371	0.00
04/06/2023	28 339	18 900	-9 465	0.00
05/06/2023	32 203	32 100	-147	0.00
06/06/2023	31 350	32 600	1 205	0.00
07/06/2023	29 308	35 800	6 442	3.05
08/06/2023	27 712	50 100	22 319	16.76
09/06/2023	28 361	33 900	5 492	11.68
10/06/2023	26 726	31 200	4 431	0.00
11/06/2023	26 847	31 000	4 110	0.00
12/06/2023	30 886	32 600	1 669	0.00
13/06/2023	31 043	32 700	1 612	0.00
14/06/2023	32 595	31 900	-739	0.00
15/06/2023	32 757	31 800	-1 001	0.00
16/06/2023	33 256	32 700	-601	0.00
17/06/2023	28 960	30 400	1 398	0.00
18/06/2023	29 197	30 600	1 361	0.00
19/06/2023	32 399	32 700	256	0.00
20/06/2023	32 002	32 400	353	0.00
21/06/2023	32 719	32 100	-663	0.00
22/06/2023	32 877	30 000	-2 919	0.00
23/06/2023	33 012	29 600	-3 453	0.00
24/06/2023	28 019	28 700	641	0.00
25/06/2023	27 787	26 200	-1 623	0.00
26/06/2023	33 290	30 300	-3 032	0.00
27/06/2023	33 149	29 600	-3 590	0.00
28/06/2023	33 030	32 100	-974	0.00
29/06/2023	32 638	29 900	-2 779	0.00
30/06/2023	32 517	31 200	-1 360	0.00
01/07/2023	27 803	31 056	3 210	0.00
02/07/2023	27 066	29 392	2 285	0.00
03/07/2023	32 333	30 300	-2 075	0.00
04/07/2023	32 365	31 300	-1 108	0.00
05/07/2023	32 099	31 600	-543	0.00
06/07/2023	32 038	30 400	-1 680	0.00





07/07/2023	31 865	32 100	191	0.00
08/07/2023	28 091	27 300	-829	0.00
09/07/2023	26 338	26 100	-274	0.00
10/07/2023	32 364	21 900	-10 494	0.00
11/07/2023	32 091	41 300	9 152	0.00
12/07/2023	31 861	29 300	-2 602	0.00
13/07/2023	32 037	29 200	-2 877	0.00
14/07/2023	31 681	30 200	-1 523	0.00
15/07/2023	27 321	29 900	2 538	0.00
16/07/2023	26 408	27 700	1 254	0.00
17/07/2023	32 218	29 500	-2 759	0.00
18/07/2023	31 801	31 300	-544	0.00
19/07/2023	31 809	29 600	-2 250	0.00
20/07/2023	30 537	29 600	-978	0.00
21/07/2023	31 155	29 200	-1 995	0.00
22/07/2023	26 637	28 200	1 524	0.00
23/07/2023	31 841	27 700	-4 179	0.00
24/07/2023	31 291	29 100	-2 231	0.00
25/07/2023	30 789	27 200	-3 627	0.00
26/07/2023	30 956	28 300	-2 695	0.00
27/07/2023	30 481	26 200	-4 317	0.00
28/07/2023	31 378	30 900	-521	0.00
29/07/2023	27 382	29 600	2 177	0.00
30/07/2023	26 845	28 000	1 116	0.00
31/07/2023	31 122	29 100	-2 062	0.00
01/08/2023	31 403	31 000	-446	0.00
02/08/2023	32 545	31 800	-789	0.00
03/08/2023	29 217	31 300	2 040	0.00
04/08/2023	31 541	29 400	-2 182	0.00
05/08/2023	28 323	29 400	1 036	0.00
06/08/2023	28 042	29 500	1 417	0.00
07/08/2023	32 614	27 000	-5 651	0.00
08/08/2023	32 620	29 200	-3 460	0.00
09/08/2023	32 586	30 300	-2 328	0.00
10/08/2023	31 464	29 200	-2 304	0.00
11/08/2023	31 726	29 500	-2 267	0.00
12/08/2023	28 367	29 800	1 392	0.00
13/08/2023	26 835	27 900	1 026	0.00
14/08/2023	30 686	29 200	-1 526	0.00
15/08/2023	28 383	29 600	1 176	0.00
16/08/2023	32 072	30 500	-1 614	0.00
17/08/2023	31 296	31 500	160	0.00
18/08/2023	31 654	30 100	-1 596	0.00





19/08/2023	27 172	28 800	1 588	0.00
20/08/2023	27 075	28 000	886	0.00
21/08/2023	31783	29 100	-2 723	0.00
22/08/2023	31 520	29 900	-1 661	0.00
23/08/2023	31 872	30 200	-1 714	0.00
24/08/2023	31 237	29 700	-1 578	0.00
25/08/2023	32 368	29 000	-3 408	0.00
26/08/2023	27 900	28 500	561	0.00
27/08/2023	26 923	26 800	-160	0.00
28/08/2023	32 009	28 600	-3 449	0.00
29/08/2023	31 621	29 900	-1 762	0.00
30/08/2023	31 712	31 200	-555	0.00
31/08/2023	31 662	33 900	2 191	0.00
01/09/2023	32 156	34 000	1 797	0.00
02/09/2023	26 856	32 400	5 499	0.00
03/09/2023	25 140	45 000	19 798	1.78
04/09/2023	28 339	31 100	2 718	8.89
05/09/2023	29 526	31 500	1 930	0.25
06/09/2023	28 985	30 700	1 672	0.00
07/09/2023	30 271	31 100	786	0.00
08/09/2023	28 268	28 700	392	0.00
09/09/2023	26 675	29 000	2 285	0.00
10/09/2023	28 128	29 984	1 814	0.00
11/09/2023	31 844	31 200	-687	0.00
12/09/2023	31 977	32 800	778	0.00
13/09/2023	31 796	33 100	1 258	0.00
14/09/2023	31 830	28 900	-2 970	0.00
15/09/2023	29 367	34 900	5 485	0.00
16/09/2023	26 356	32 200	5 799	0.00
17/09/2023	27 435	30 700	3 222	0.51
18/09/2023	30 201	33 824	3 576	0.00
19/09/2023	30 920	32 400	1 435	0.00
20/09/2023	31 839	30 600	-1 281	0.00
21/09/2023	30 998	33 300	2 256	0.00
22/09/2023	30 023	31 200	1 134	0.00
23/09/2023	27 372	30 200	2 786	0.00
24/09/2023	28 805	29 500	654	0.00
25/09/2023	31 799	30 700	-1 142	0.00
26/09/2023	31 491	32 200	664	0.00
27/09/2023	31 732	32 500	723	0.00
28/09/2023	31 674	33 900	2 179	0.00
29/09/2023	31 491	34 800	3 261	0.00
30/09/2023	28 393	34 200	5 760	0.00





01/10/2023	28 528	34 300	5 724	0.00
02/10/2023	32 318	34 900	2 534	0.00
03/10/2023	31 708	33 000	1 246	0.00
04/10/2023	32 532	29 900	-2 673	0.00
05/10/2023	32 365	31 600	-809	0.00
06/10/2023	31 889	30 400	-1 531	0.00
07/10/2023	29 519	30 700	1 138	0.00
08/10/2023	28 975	29 200	185	0.00
09/10/2023	32 145	30 272	-1 915	0.00
10/10/2023	32 367	30 704	-1 706	0.00
11/10/2023	31 223	32 800	1 532	0.00
12/10/2023	29 019	31 600	2 537	0.00
13/10/2023	30 185	32 400	2 170	0.00
14/10/2023	26 564	33 400	6 790	1.27
15/10/2023	27 598	33 400	5 756	0.00
16/10/2023	29 940	32 900	2 914	0.00
17/10/2023	29 043	42 000	12 899	0.00
18/10/2023	30 013	37 900	7 834	7.87
19/10/2023	28 107	37 300	9 141	0.00
20/10/2023	28 054	43 400	15 286	48.26
21/10/2023	26 559	34 600	7 993	0.00
22/10/2023	26 953	45 000	17 985	1.52
23/10/2023	29 922	52 700	22 705	68.58
24/10/2023	30 378	35 900	54 72	0.00
25/10/2023	29 293	38 752	94 05	7.37
26/10/2023	28 767	41 184	12 360	0.00
27/10/2023	29 264	42 768	13 445	4.83
28/10/2023	26 855	38 800	11 891	0.00
29/10/2023	27 929	44 100	16 110	0.51
30/10/2023	29 072	51 500	22 357	32.51
31/10/2023	29 115	40 100	10 929	0.00
01/11/2023	27 440	38 600	11 107	0.00
02/11/2023	27 736	40 800	13 007	0.25
03/11/2023	28 155	38 000	9 792	1.78
04/11/2023	26 339	38 200	11 808	0.00
05/11/2023	27 605	36 700	9 044	1.02
06/11/2023	29 584	37 100	7 465	0.00
07/11/2023	29 861	37 300	7 387	0.00
08/11/2023	30 063	33 200	3 091	0.00
09/11/2023	29 878	37 000	7 071	0.25
10/11/2023	28 971	34 500	5 481	0.25
11/11/2023	26 914	34 700	7 738	0.00
12/11/2023	27 310	35 200	7 841	0.00





13/11/2023	30 228	35 200	4 923	0.00
14/11/2023	30 403	36 500	6 046	0.00
15/11/2023	30 098	35 984	5 836	0.00
16/11/2023	29 683	35 500	5 768	0.00
17/11/2023	28 988	35 900	6 862	0.00
18/11/2023	27 067	34 100	6 986	0.00
19/11/2023	27 499	33 200	5 655	0.00
20/11/2023	29 424	34 500	5 028	0.00
21/11/2023	30 083	36 500	6 366	0.00
22/11/2023	30 086	35 000	4 865	0.00
23/11/2023	30 016	35 800	5 734	0.00
24/11/2023	29 077	35 800	6 673	0.00
25/11/2023	27 381	36 500	9 068	0.00
26/11/2023	27 436	35 500	8 015	0.00
27/11/2023	30 866	37 100	6 183	0.00
28/11/2023	30 076	36 800	6 673	0.00
29/11/2023	28 952	47 000	17 983	1.52
30/11/2023	29 421	50 200	20 709	2.54
01/12/2023	28 734	42 900	14 107	13.72
02/12/2023	27 304	36 600	9 245	1.52
03/12/2023	27 579	33 800	6 174	0.00
04/12/2023	28 179	40 200	11 965	0.00
05/12/2023	28 020	33 400	5 334	5.33
06/12/2023	26 086	35 100	8 965	0.25
07/12/2023	27 617	36 200	8 533	0.51
08/12/2023	26 295	41 900	15 547	0.51
09/12/2023	26 132	32 100	5 924	0.00
10/12/2023	27 319	33 400	6 035	0.00
11/12/2023	29 868	35 100	5 183	0.25
12/12/2023	29 859	36 900	6 990	0.00
13/12/2023	29 469	36 200	6 681	0.00
14/12/2023	30 009	36 200	6 141	0.00
15/12/2023	28 815	34 500	5 637	0.00
16/12/2023	27 668	35 300	7 583	0.00
17/12/2023	28 020	34 000	5 933	0.00
18/12/2023	29 766	34 000	4 187	0.00
19/12/2023	30 149	35 200	5 002	0.00
20/12/2023	29 242	41 000	11 701	0.00
21/12/2023	30 746	40 700	9 898	3.30
22/12/2023	29 976	41 600	11 566	0.00
23/12/2023	29 688	41 200	11 455	0.00
24/12/2023	29 549	41 500	11 893	0.00
25/12/2023	27 041	40 000	12 904	0.00



26/12/2023	30 229	40 800	10 514	0.25
27/12/2023	31 150	44 000	12 789	0.00
28/12/2023	30 147	34 400	4 205	0.00
29/12/2023	29 389	40 900	11 454	0.00
30/12/2023	28 972	41 800	12 770	0.00
31/12/2023	29 572	40 100	10 472	0.00
TOTALES	1.075·10⁷	1.222·10⁷		316.20

Tabla 38: Producción y Precipitaciones del año 2023

