



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ciencias Ambientales

Estudio de viabilidad para la implementación de un sistema de regeneración y reutilización de aguas en la Escuela Politécnica Superior de Huesca.

Viability study for the implementation of a reclamation and reuse system of waters in the “Escuela Politécnica Superior de Huesca”

Autora

Carlota Millán Quintilla

Directora

Natividad Miguel Salcedo

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

Año 2022

Resumen

Los recursos hídricos cada vez son más limitados y la demanda aumenta progresivamente debido al crecimiento de la población. España es uno de los países de Europa con mayor estrés hídrico, situación que puede empeorar con el cambio climático (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2021).

En la actualidad, la reutilización de aguas es un recurso muy útil para dar respuesta al aumento de la demanda de ésta.

Este proceso consiste en la aplicación de un tratamiento adicional a las aguas residuales que han sido sometidas a un tratamiento de depuración para su utilización en distintos usos. De esta manera se hace un uso más eficiente del recurso hídrico.

Previamente al tratamiento adicional, es necesaria una depuración. Con el fin de aprovechar que la Escuela Politécnica Superior posee su propia depuradora de aguas residuales (EDAR) surge este Proyecto de Fin de Grado, mediante el que se realiza una propuesta para una posible implantación de una Estación Regeneradora de Aguas Residuales (ERAR). El agua regenerada se utilizaría para el riego de zonas verdes del Campus universitario.

El Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre define los criterios de calidad de las aguas regeneradas para diferentes usos. La selección del posible tratamiento de regeneración de aguas se ha realizado con el objetivo de dar cumplimiento a estos criterios.

Mediante este proyecto se contribuye al Objetivo de Desarrollo Sostenible número 6, garantizando la disponibilidad y la gestión sostenible del agua, además el contenido propuesto de este trabajo es un objetivo del Plan de Sostenibilidad de la escuela.

Palabras clave: calidad del agua, agua regenerada, reutilización, riego, depuración.

Abstract

Water resources are increasingly limited, and demand is progressively increasing due to population growth. Spain is one of the most water-stressed countries in Europe, a situation that may worsen with climate change (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2010).

Currently, water reuse is a very useful resource for responding to the increase in demand of water.

This process consists in the application of wastewater that has previously additional treatment for certain uses. In this way, a more efficient use of water resources is realised.

Prior to the additional treatment, depuration is necessary. In order to take advantage of the fact that the “Escuela Politécnica Superior” has its own wastewater treatment plant (WWTP), this Final Degree Project is a proposal for the possible implementation of a Wastewater Reclamation Plant (WWTP). The regenerated water would be used for irrigation of the university campus.

El Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, defines the quality standards for reclaimed water for different uses. The selection of the possible water reclamation treatment has been carried out with the aim of complying with these standards.

This project contributes to Sustainable Development Objective 6, guaranteeing the availability and sustainable management of water, and the proposed content of this study is also an objective of the campus Sustainability Plan.

Keywords: water quality, reclaimed water, reuse, irrigation, purification.

Índice de contenido

Resumen.....	3
Abstract	4
Capítulo 1. Introducción y objetivos	12
1.1 Introducción	12
1.2 Objetivos	13
Capítulo 2. Antecedentes	14
2.1 El ciclo urbano del agua y la reutilización	14
2.2 Legislación vigente en materia de regeneración de aguas	17
2.2.1 Ámbito europeo	17
2.2.2 Ámbito Estatal.....	18
2.3 Experiencias en materia de regeneración y reutilización de aguas	19
2.4 Ciclo del agua en la Escuela Politécnica Superior.....	20
2.4.1 Estación depuradora de la escuela.....	21
Capítulo 3. Agua consumida y residual en la EPS.....	25
3.1 Agua consumida en la EPS.....	25
3.1.1 Metodología	25
3.1.2 Resultados	25
3.2 Agua residual en la EPS	29
3.2.1 Metodología	30
3.2.2 Resultados	30
Capítulo 4. Agua depurada en la EPS	32
4.1 Procedimiento experimental.....	32
4.2 Metodología	33
4.2.1 Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	34
4.2.2 Sólidos en suspensión (S.S)	35
4.2.3 Turbidez.....	36
4.2.4 Coliformes totales, <i>Escherichia coli</i> y <i>Enterococcus sp.</i>	36
4.3 Resultados y discusión	39
4.3.1 Expresión de los resultados.....	39
4.3.1.1 Oxígeno disuelto (OD)	43
4.3.1.2 pH	43
4.3.1.3 Conductividad (CE)	43
4.3.1.4 Temperatura (Tª).....	44

4.3.1.5 Coliformes totales	44
4.3.1.6 <i>Enterococcus sp</i>	44
4.3.1.7 Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	45
4.3.1.8 Sólidos en suspensión (SS)	45
4.3.1.9 Turbidez.....	46
4.3.1.10 <i>Escherichia coli</i>	46
Capítulo 5. Zonas verdes y cultivadas de la EPS.....	47
5.1 Inventario de cultivos y zonas verdes	47
5.1.1 Metodología	47
5.1.2 Resultados	48
5.2 Necesidades hídricas.....	49
5.2.1 Metodología	49
5.2.2 Resultados	51
5.3 Destino del agua regenerada	53
5.3.1 Metodología	53
5.3.2 Resultados	54
Capítulo 6. Propuesta de tratamientos de regeneración.....	56
6.1 Metodología	56
6.2 Resultados y discusión	56
6.3.1 Sólidos suspendidos y turbidez	57
6.3.2 <i>E.coli</i> y otros microorganismos patógenos	59
Capítulo 7. Conclusiones	64
Capítulo 7. Bibliografía	66
Anexo II. Datos desglosados agua de riego.....	71
Anexo II. Agua residual generada por edificio, año y trimestre.....	79
Anexo III. Resultados de los muestreos y análisis en laboratorio	82

Listado de tablas

Tabla 1. Consumo de agua en la EPS. Fuente: elaboración propia.	27
Tabla 2. Agua residual generada y agua utilizada para riego. Fuente: elaboración propia.	29
Tabla 3. Constituyentes del agua residual y concentraciones típicas. Fuente: Metcalf & Eddy. Ingeniería de aguas residuales, redes de Alcantarillado y bombeo 1995.....	40
Tabla 4. Resultados del muestreo de agua depurada. Fuente: elaboración propia	41
Tabla 5. Valores máximos admisibles. Fuente: D 91/271CEE	42
Tabla 6. Valores máximos admisibles. Fuente: RD 1620/2007	42
Tabla 7. Valores máximos admisibles. Fuente: Reglamento 2020/741	42
Tabla 8. Variables para el cálculo de las necesidades de agua de riego Fuente: Oficina del Regante de Aragón.	51
Tabla 9. Cálculo de las necesidades de agua de riego Fuente: Elaboración propia	52
Tabla 10. Necesidades hídricas trimestrales por superficie. Fuente: elaboración propia.	52
Tabla 11. Agua de riego demandada por trimestre.	53
Tabla 12. N.H teóricas vs demanda de riego actual.	53
Tabla A.1 Datos diarios agua de riego 2017. Fuente: EPSH	72
Tabla A.1. Datos diarios agua de riego 2017. Fuente: EPSH (continuación)	73
Tabla A.2 Datos diarios agua de riego 2018. Fuente: EPSH	74
Tabla A.2 Datos diarios agua de riego 2018. Fuente: EPSH (continuación)	75
Tabla A.3 Datos diarios agua de riego 2019. Fuente: EPSH	76
Tabla A.3 Datos diarios agua de riego 2019. Fuente: EPSH (continuación)	77
Tabla A4. Datos mensuales agua de riego años 2017-2019. Fuente: EPSH	78
Tabla A.5. Agua residual generada por edificio y año	80
Tabla A.6. Muestreos. Resultados desglosados. Fuente: elaboración propia	83
Tabla A.6. Muestreos. Resultados desglosados. Fuente: elaboración propia (continuación)	84

Listado de figuras

Figura 1. Ciclo urbano del agua. Fuente: elaboración propia.	14
Figura 2. Legislación vigente en materia de aguas. Fuente: elaboración propia.	16
Figura 3. Consumo de agua por sectores. Fuente: Instituto Nacional de Estadística.	16
Figura 4. Requisitos de calidad de las aguas regeneradas para riego agrícola. Fuente: REGLAMENTO (UE) 2020/741.	18
Figura 5. Valores máximos admisibles para algunos usos urbanos. Fuente: RD 1620/2007.	19
Figura 6. Vista aérea de los edificios de la EPSH. Fuente: elaboración propia.	20
Figura 7. Pozo de la depuradora. Fuente: EPSH.	21
Figura 8. Sistema de tuberías de la depuradora. Fuente: EPSH.	21
Figura 9. Trampillas en los jardines. Fuente: EPSH.	22
Figura 10. Rejas para desbaste. Fuente: EPSH.	22
Figura 11. Tanque de sedimentación. Fuente: EPSH.	22
Figura 12. Efluente durante el proceso de depuración. Fuente: EPSH.	22
Figura 13. Charca artificial. Fuente: I.E.S Pirámide.	23
Figura 14. Agua depurada para riego. Fuente: I.E.S Pirámide.	23
Figura 15. Ubicación depuradora en la escuela. Fuente: elaboración propia.	23
Figura 16. Ciclo del agua en la EPSH. Fuente: elaboración propia.	24
Figura 17. Ubicación contadores en la EPS. Fuente: elaboración propia.	26
Figura 18. Consumo medio mensual agua de riego. Fuente: elaboración propia.	28
Figura 19. Agua residual generada por edificio, período 2017-2019. Fuente: elaboración propia.	30
Figura 20. Recipientes de muestreo.	33
Figura 21. Medidor multiparamétrico.	34
Figura 22. Fotómetro multiparamétrico HANNA HI 83099.	35
Figura 23. Sólidos en suspensión en filtro ya secado. Fuente: Laboratorio Grupo Agua y Salud Ambiental.	36
Figura 24. Turbidímetro HANNA LP 2000.	36
Figura 25. Esquema de las diluciones seriadas. Fuente: Lanao, 2012.	37
Figura 26. Escherichia coli, coliformes totales y Enterococos. Fuente: Laboratorio Grupo Agua y Salud Ambiental.	39
Figura 27. Fotografía aérea EPSH. Fuente. Visor SIGPAC.	47
Figura 28. Parcelas EPSH. Fuente: elaboración propia.	48
Figura 29. Agua residual generada vs necesidades hídricas teóricas. Fuente: elaboración propia.	54

Figura 30. Agua residual vs agua necesaria para riego. Fuente: elaboración propia.....	55
Figura 31. Tratamientos de regeneración más comunes. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.....	57
Figura 32. Tratamiento propuesto. Fuente: Guía RD 1620/2007.	62
Figura 33. Ciclo propuesto en la EPS. Fuente: elaboración propia	63
Figura A.1. Agua residual generada en edificio Loreto Fuente: elaboración propia.....	80
Figura A.2. Agua residual generada en edificio Gratal. Fuente: elaboración propia	81
Figura A.3 Agua residual generada en edificio Guara. Fuente: elaboración propia	81

Capítulo 1. Introducción y objetivos

1.1 Introducción

Las aguas reutilizadas pueden ser un recurso muy valioso para reducir la presión sobre este bien indispensable para la vida como es el agua. Además, la utilización de estas aguas puede ser útil para contribuir a alcanzar el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 6 “Agua y Saneamiento”, de la Agenda 2030 de la ONU (ONU, 2021).

La reutilización de aguas permite devolver el agua depurada al sistema en vez de cerrar el ciclo, recuperando el agua que ya ha sido utilizada y aumentando de esta manera la disponibilidad de agua para su aprovechamiento a lo largo del tiempo (Trapote & Martínez, 2012). Las actuaciones de reutilización de aguas han de considerarse como un recurso cuya gestión debe incluirse en una planificación integral de los recursos hídricos, que tengan en cuenta aspectos económicos, sociales y medioambientales (Melgarejo, 2009).

Se entienden como aguas regeneradas aquellas aguas residuales depuradas que han sido sometidas a un proceso de tratamiento adicional o complementario que permite adecuar su calidad al uso al que se destinan (Trapote & Martínez, 2012).

La reutilización del agua va asociada a una depuración previa de la misma; la Escuela Politécnica Superior (EPS) cuenta con su propia depuradora de aguas residuales (EDAR), por lo que es interesante plantearse la posibilidad de regenerar y reutilizar dichas aguas, es decir, implantar una Estación Regeneradora de Aguas Residuales (ERAR), definida por la legislación vigente como el conjunto de instalaciones donde las aguas residuales depuradas se someten a procesos de tratamiento adicionales que puedan ser necesarios para adecuar su calidad al uso previsto (B.O.E, 2017).

Por ello, conscientes de la necesidad de trabajar en materia de sostenibilidad y con motivo de incorporar en la EPS los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 de la ONU, en la medida de lo posible, se ha realizado este Trabajo de Fin de Estudios.

El contenido propuesto de este trabajo forma parte del Plan de Sostenibilidad de la EPS, en el cual se establecen unas líneas estratégicas de actuación y una serie de objetivos.

Este trabajo está alineado con la línea estratégica 2: Gestión sostenible en la EPS, concretamente con el estudio de viabilidad técnica y económica de regeneración de las aguas residuales depuradas de la EPS, para su posterior utilización como aguas de riego en jardines y cultivos propios. Además, contribuye con la línea estratégica 1, que propone la sostenibilidad ambiental como objeto de estudio en los programas académicos, vinculando los TFE con los ODS, ya que este trabajo está relacionado directamente con el ODS 6: Agua limpia y saneamiento (metas 6.3 y 6.4) y de forma menos directa con el ODS 12: Producción y consumo responsables (metas 12.2 y 12.4).

1.2 Objetivos

El objetivo general de este trabajo es la realización de un estudio de viabilidad para valorar la posible implantación de un sistema de regeneración y reutilización de aguas en la EPS, en concreto para el riego de instalaciones propias.

Los objetivos específicos mediante los cuales se logrará alcanzar el objetivo general son los siguientes:

- Describir la situación actual en cuando al ciclo del agua usada en la EPS.
- Obtener datos de caudal de aguas consumida y residual de la EPS.
- Caracterizar el agua depurada generada en la EPS mediante parámetros físico-químicos.
- Describir las zonas verdes y cultivadas de la EPS así como las distintas necesidades hídricas de las mismas.
- Proponer distintos tratamientos de regeneración de aguas para su uso como riego en la EPS analizando sus ventajas e inconvenientes.

Capítulo 2. Antecedentes

Este apartado consta de una introducción teórica del concepto de regeneración de aguas y todo lo que el conlleva, incluyendo la legislación vigente en esta materia, así como experiencias en materia de regeneración y reutilización de aguas que puedan ser de utilidad para este trabajo.

2.1 El ciclo urbano del agua y la reutilización

El ciclo urbano del agua es el proceso que cubre los servicios de abastecimiento y saneamiento, así como la reutilización (Ministerio de Agricultura, Medio Ambiente y Alimentación, 2020).

Como se muestra en la *Figura 1*, podemos dividirlo en fases, desde que se capta el agua hasta que se devuelve a la naturaleza o se reutiliza.

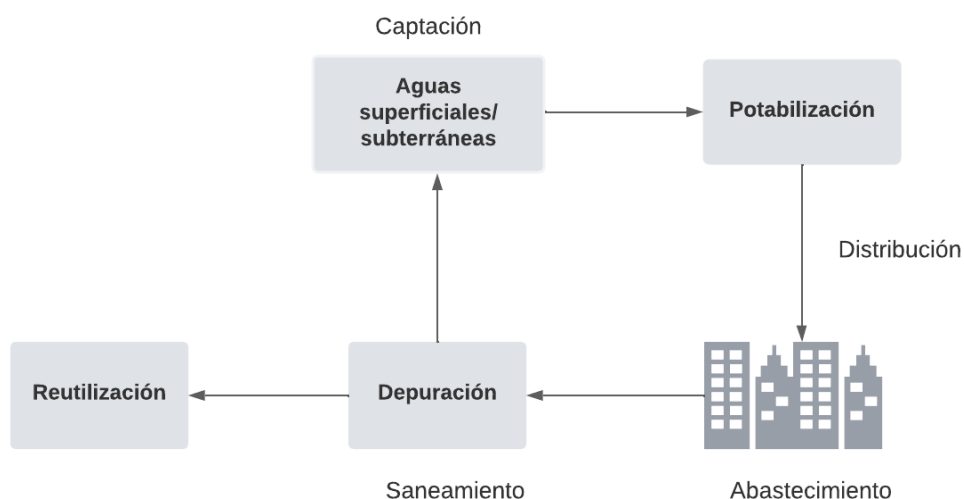


Figura 1. Ciclo urbano del agua. Fuente: elaboración propia.

1. Abastecimiento o captación: el agua es captada de fuentes superficiales o subterráneas (ríos, embalses, pozos), posteriormente se almacena y se transporta.
2. Potabilización: Proceso por el cual el agua es tratada hasta lograr unos parámetros de calidad exigidos por ley que garantizan que es seguro su consumo. Este tratamiento se realiza en lo que denominamos Estaciones de Tratamiento de Agua Potable (ETAP).
3. Distribución: El agua es almacenada en depósitos y conducida por tuberías hasta llegar al usuario.
4. Saneamiento: Las aguas urbanas ya utilizadas por los usuarios (aguas residuales) se recogen a través de tuberías para su transporte a los sistemas de depuración y vertido. En las infraestructuras denominadas EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales) se tratan

estas aguas mediante procesos fisicoquímicos y biológicos para que puedan ser devueltas al medio sin producir efectos nocivos.

Entendemos por aguas residuales aquellas que han sido utilizadas con un fin consuntivo incorporando en ellas sustancias que deterioran su calidad original “contaminación” (Metcalf, (s.f)).

En este trabajo vamos a centrarnos en las aguas residuales domésticas, que son aguas de origen principalmente residencial (desechos humanos, baños, cocina, etc).

Estas aguas residuales, caracterizadas en general por un color grisáceo y un olor desagradable debido a la descomposición de la materia orgánica, presentan generalmente los siguientes contaminantes:

- *Sólidos gruesos y sedimentables*: restos de sustancias sólidas de distintos tamaños que se incorporan al agua tras su uso como restos de comida, papel, etc.
 - *Sólidos suspendidos*: las aguas residuales contienen materiales en suspensión procedentes de los contaminantes sólidos que se incorporan al agua tras su uso.
 - *Materia Orgánica*: principalmente biodegradable, producida por excrementos y orina de seres humanos, restos de alimentos y detergentes...
 - *Gérmenes patógenos*: juegan un papel muy importante en la descomposición y estabilización de la materia orgánica, pero también son perjudiciales porque pueden transmitir enfermedades.
5. Reutilización: Para reutilizar el agua es necesario un tratamiento de la misma adicional al de depuración con el que se adecua su calidad para poder ser usada de nuevo en usos distintos al consumo humano. Permite reaprovechar un recurso que cada vez es más escaso.

Todas estas fases están regidas por la *Directiva Marco del Agua 2000/60/CE*, y cada una de ellas tiene una normativa específica que la regula y que es de obligado cumplimiento, tal como refleja la *Figura 2*.

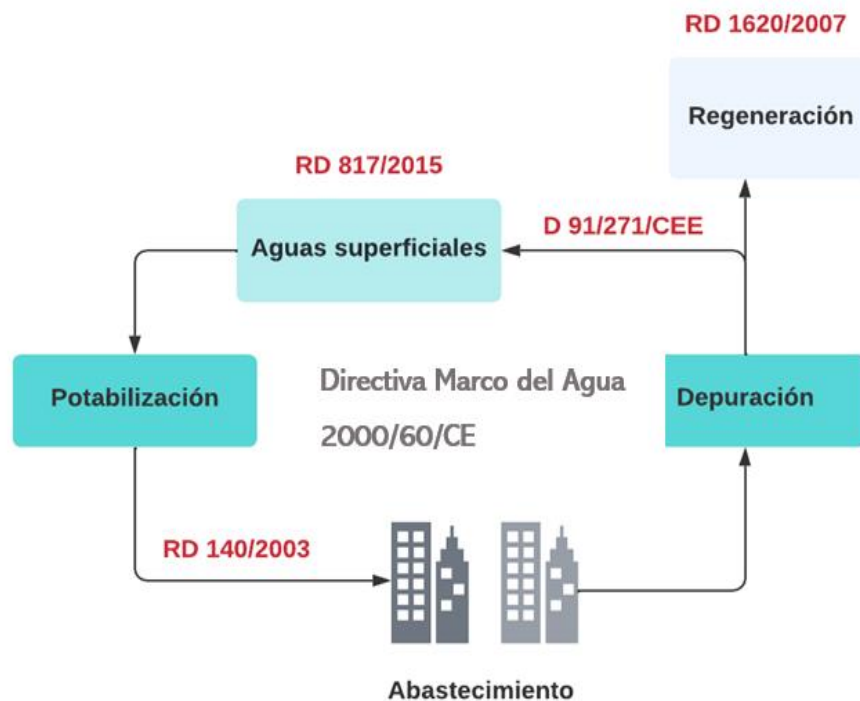


Figura 2. Legislación vigente en materia de aguas. Fuente: elaboración propia.

Según un estudio realizado en el año 2018 por el Instituto Nacional de Estadística el uso de agua por sectores en España estaría distribuido según lo mostrado en la *Figura 3*:

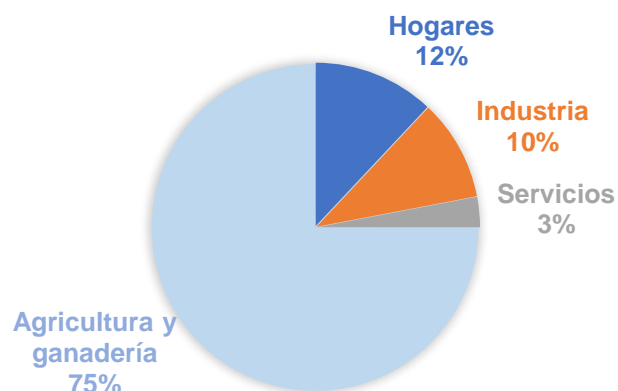


Figura 3. Consumo de agua por sectores. Fuente: Instituto Nacional de Estadística

Algunos datos de interés respecto al uso de agua en nuestra Comunidad Autónoma: (Instituto Aragonés de Estadística, 2018).

- Aragón utilizó un 14.2% del total de agua destinada a riego en España, siendo la segunda comunidad autónoma que más agua consume en este sector.
- En Aragón en el año 2018 se suministraron a las redes públicas de abastecimiento urbano 139 hm³ de agua.
- El consumo medio de los hogares fue de 129 litros por habitante y día.
- En cuanto al origen del agua, el 91% del volumen captado por las empresas y entes públicos procedió de aguas superficiales mientras que el otro 9% fue de aguas subterráneas.
- El 92.2% de las aguas tratadas tuvieron como destino un cauce fluvial, mientras que el resto se reutilizó.
- El agua es reutilizada en un 44,2% por la agricultura y en un 55,8% en jardines y zonas deportivas de ocio.
- El principal destino de los lodos generados en el tratamiento de aguas residuales es con un 98,5% la agricultura, silvicultura y jardinería.

2.2 Legislación vigente en materia de regeneración de aguas

La legislación tiene como objetivo establecer límites y criterios de calidad en función de los diferentes usos del agua.

En cuanto a la legislación vigente relacionada con la regeneración y reutilización de aguas tanto a nivel europeo como a nivel estatal, tenemos lo siguiente:

2.2.1 Ámbito europeo

Con el fin de promover el uso seguro del agua regenerada, la Unión Europea ha adoptado el siguiente reglamento, que presenta algunas diferencias con la normativa española.

REGLAMENTO (UE) 2020/741 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de mayo de 2020 relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua.

Este Reglamento establece requisitos mínimos de calidad y control del agua y disposiciones sobre gestión del riesgo, para la utilización segura de las aguas regeneradas en el contexto de una gestión integrada del agua (Comisión Europea, 2020).

Esta nueva normativa será aplicable a partir del 26 de junio de 2023 y será obligatorio en todos sus elementos y directamente aplicable en cada Estado miembro.

Mediante esta normativa se pretende garantizar que las aguas regeneradas sean seguras para el riego agrícola, y de esta forma asegurar un alto nivel de protección del medio ambiente y de la salud humana y la sanidad animal, así como promover la economía circular, apoyar la

adaptación al cambio climático, y contribuir a los objetivos de la Directiva 2000/60/CE al hacer frente a la escasez de agua y a la consiguiente presión sobre los recursos hídricos de manera coordinada entre toda la UE (D.O.U.E, 2020).

Establece los requisitos de calidad en función de los diferentes usos que se le vaya a dar al agua regenerada, que se ven reflejados en el *Anexo I* del Reglamento, tal y como muestra la *Figura 4*.

Cuadro 2 — Requisitos de calidad de las aguas regeneradas para el riego agrícola

Clase de calidad de las aguas regeneradas	Tratamiento indicativo	Requisitos de calidad				
		E. coli (número/100 ml)	DBO ₅ (mg/l)	STS (mg/l)	Turbidez (UNT)	Otros
A	Tratamiento secundario, filtración y desinfección	≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 5	Legionella spp.: < 1 000 UFC/l cuando exista un riesgo de aerosolización Nematodos intestinales (huevos de helmintos): ≤ 1 huevo/l para el riego de pastos o forraje
B	Tratamiento secundario y desinfección	≤ 100	De conformidad con la Directiva 91/271/CEE (anexo I, cuadro 1)	De conformidad con la Directiva 91/271/CEE (anexo I, cuadro 1)	–	
C	Tratamiento secundario y desinfección	≤ 1 000			–	
D	Tratamiento secundario y desinfección	≤ 10 000			–	

Figura 4. Requisitos de calidad de las aguas regeneradas para riego agrícola. Fuente: REGLAMENTO (UE) 2020/741.

2.2.2 Ámbito Estatal.

La reutilización de agua en España tiene sus orígenes jurídicos en la Ley de Aguas de 1985, actualmente derogada, donde se establecían valores exigibles de calidad a las aguas depuradas.

En 2007, se aprobó el *Real Decreto 1620/2007 de 7 de diciembre por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas*, que impulsa la reutilización dentro de la planificación de los recursos hídricos.

Este Real Decreto tiene por objeto establecer el régimen jurídico para la reutilización de las aguas depuradas, de acuerdo con el artículo 109.1 del texto refundido de la Ley de Aguas, aprobado por el Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio.

Se entiende por reutilización de aguas, la aplicación, antes de su devolución al dominio público hidráulico y al marítimo terrestre para un nuevo uso privativo de las aguas que, habiendo sido utilizadas por quien las derivó, se han sometido al proceso o procesos de depuración establecidos en la correspondiente autorización de vertido y a los necesarios para alcanzar la calidad requerida en función de los usos a que se van a destinar

(B.O.E, 2007).

El agua regenerada, es decir, “aguas residuales depuradas que, en su caso, han sido sometidas a un proceso de tratamiento adicional o complementario que permite adecuar su calidad al uso al que se destinan” (B.O.E, 2007) deberá cumplir con unos requisitos de calidad que quedan recogidos en el *Anexo I.A “Criterios de calidad para la reutilización de las aguas según sus usos”* del RD 1620/2007, ejemplo que se muestra en la Figura 5.

Esta normativa nacional tiene que adaptarse a corto plazo a la nueva normativa europea mencionada anteriormente.

USO DEL AGUA PREVISTO	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE (VMA)				
	NEMATODOS INTESTINALES ¹	ESCHERICHIA COLI	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	TURBIDEZ	OTROS CRITERIOS
1.- USOS URBANOS					
CALIDAD 1.1: RESIDENCIAL ² a) Riego de jardines privados. ³ b) Descarga de aparatos sanitarios. ³	1 huevo/10 L	0 (UFC ⁴ /100 mL)	10 mg/L	2 UNT ⁵	OTROS CONTAMINANTES ⁶ contenidos en la autorización de vertido aguas residuales: se deberá limitar la entrada de estos contaminantes al medio ambiente. En el caso de que se trate de sustancias peligrosas ⁷ deberá asegurarse el respeto de las NCAs. ⁸ <i>Legionella</i> spp. 100 UFC/L (si existe riesgo de aerosolización)
CALIDAD 1.2: SERVICIOS a) Riego de zonas verdes urbanas (parques, campos deportivos y similares). ⁹ b) Baldeo de calles. ⁹ c) Sistemas contra incendios. ⁹ d) Lavado industrial de vehículos. ⁹	1 huevo/10 L	200 UFC/100 mL	20 mg/L	10 UNT	

Figura 5. Valores máximos admisibles para algunos usos urbanos. Fuente: RD 1620/2007.

2.3 Experiencias en materia de regeneración y reutilización de aguas

Se ha realizado una búsqueda de otros campus universitarios que reutilicen sus aguas residuales para poder tomar esa información como referencia.

- En el ámbito estatal se ha encontrado que la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC) ha logrado la autorización del Consejo Insular de Aguas para usar agua regenerada en el riego del Campus, en lugar de agua de abastecimiento como hacían previamente, gracias a una gestión desarrollada por Ciro Gutiérrez Ascanio, director de Sostenibilidad de la ULPGC.

Según la solicitud, la superficie declarada es de 51.000 m² lo que autoriza una dotación mensual máxima de 2.016 m³.

La calidad del agua a suministrar es la denominada “Calidad 2.2. Para el uso agrícola”, la establecida en el régimen jurídico para la reutilización de las aguas depuradas, y se destina a los usos autorizados, como es el riego de los jardines del Campus Universitario de Tafira (Rexachs, 2006).

La ULPGC cuenta desde hace unos años con un sistema de depuración natural experimental. Se trata de una combinación de laguna y humedal que forma parte del Campus Universitario. Físicamente, está formada por un estanque facultativo inicial, seguido de tres canales contiguos, separados entre sí por medio de filtros de grava y arena. Las especies plantadas en las orillas de todo el sistema y que participan de la depuración son individuos de *Phragmites* spp., *Juncus* spp., *Pontederia* spp. y *Typha* spp. (Rexachs, 2006).

Proponen un sistema terciario de depuración basado en tecnologías de oxidación avanzada (Ozono, Luz Ultravioleta) para mejorar la calidad del agua efluente.

- Otro campus que busca la sostenibilidad en la gestión de este recurso es el Campus de la Universidad de A Coruña, que mediante el proyecto SOSTAUGA pretende establecer propuestas de actuación para aprovechar las aguas generadas dentro del campus para determinados usos (Carballeira et al., 2011).
- La universidad de Barcelona (UB) y la universidad de Gaston Berger (UGB) de Saint-Louis (Senegal) inauguraron el pasado 23-01-2019 una planta de depuración y reutilización de aguas con una capacidad de tratamiento de 4-8 m³/día para unas 50/100 personas. El fin del agua reutilizada es en un principio el riego de jardines ornamentales y posteriormente la agricultura. La construcción de la depuradora se realiza con materiales extraídos localmente. El proyecto contribuye al cumplimiento del objetivo de desarrollo sostenible (ODS) número 6 de las Naciones Unidas, que busca garantizar para todos la disponibilidad de agua, su gestión sostenible y su saneamiento (Universidad de Barcelona, 2019).

2.3 Ciclo del agua en la Escuela Politécnica Superior

El campus de la Escuela Politécnica Superior, con una superficie total de 4.5 hectáreas, está formado por 6 edificios principales (Figura 6) dónde se realizan las actividades docentes, de investigación y administración.

1. Tozal de Guara.
2. Gratal.
3. Loreto.
4. Fragineto.
5. Pusilibro.
6. Salto de Roldán.

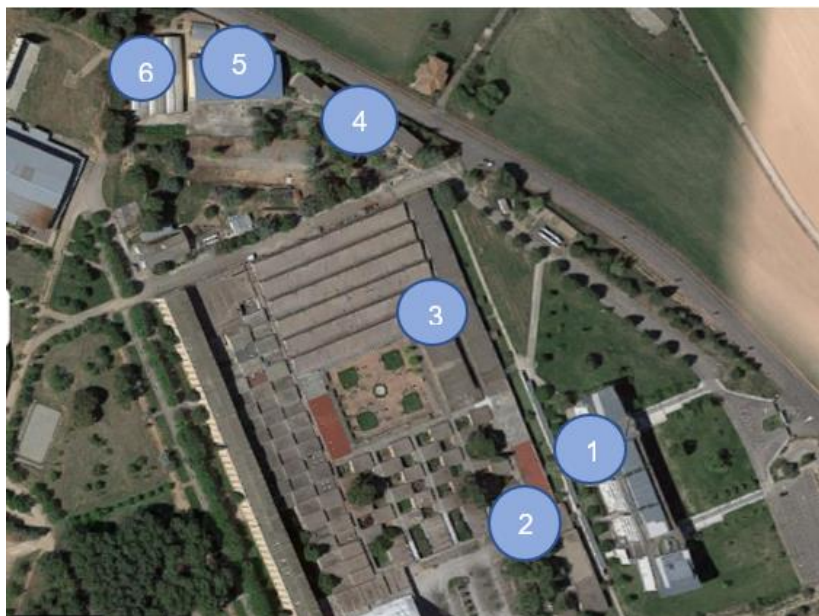


Figura 6. Vista aérea de los edificios de la EPSH. Fuente: elaboración propia.

En su exterior la escuela cuenta con una superficie ajardinada, formada por césped y diversas especies arbóreas. La superficie ajardinada puede dividirse en bloques; la zona ajardinada y las parcelas dedicadas a uso agrario.

El agua de boca se suministra a la escuela desde el instituto de enseñanza secundaria “Pirámide” a través de una canalización y es suministrada de la red de abastecimiento.

Una vez el agua llega a la escuela es distribuida a todos los edificios mencionados anteriormente. Cuando este agua es usada, es decir, ya se trata de agua residual, es enviada a las tuberías de la escuela, que actualmente cuenta con su propio sistema de depuración de aguas. Se trata de una estación depuradora que se encarga del tratamiento de aguas de todos los edificios de la EPS.

2.4.1 Estación depuradora de la escuela

Todo el agua residual generada va a parar a un pozo, situado en la parte de abajo del edificio Tozal de Guara, que puede observarse en las *Figuras 7 y 8*. En este pozo el agua se va acumulando hasta llegar a un valor a partir del cual, por medio del nivel de una boya, se lanza el movimiento por el circuito de depuración.



Figura 7. Pozo de la depuradora. Fuente: EPSH

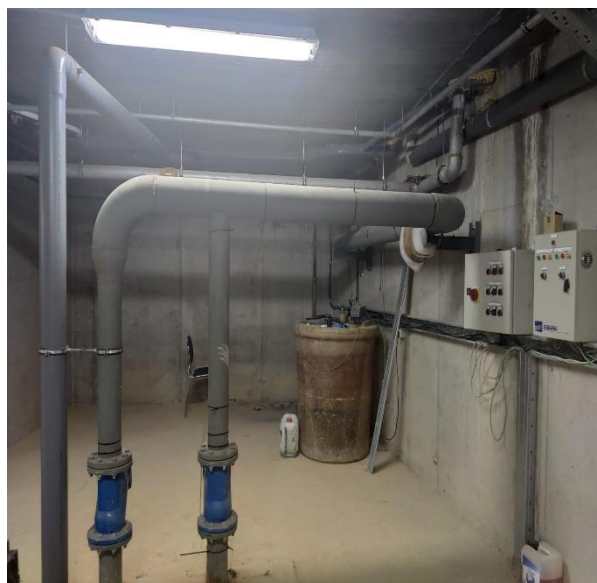


Figura 8. Sistema de tuberías de la depuradora. Fuente: EPSH

En los jardines de la EPS, en la zona del césped podemos observar 3 trampillas en el suelo (*Figura 9*) que permiten ver el sistema de depuración. Primero hay una arqueta de desbaste, que se muestra en la *Figura 10* mediante una reja de desbaste manual que se encarga de atrapar los sólidos mayores de 25 mm para evitar posibles fallos en el sistema (como por ejemplo papel higiénico, toallitas, etc).



Figura 9. Trampillas en los jardines. Fuente: EPSH



Figura 10. Rejas para desbaste. Fuente: EPSH

Posteriormente, se realiza lo que se conoce como tratamiento biológico, mediante un reactor (bomba de aireación) y un decantador.

El reactor se encarga de inyectar aire en la entrada de la depuradora para asegurarnos de que se mantienen las condiciones aerobias durante todo el circuito y de esta manera se realiza la descomposición de la materia orgánica biodegradable por medio de los microorganismos aerobios. A su vez, la aireación hace que estos microorganismos se mantengan en suspensión. El efluente realiza el recorrido a través del circuito en forma de zig-zag, de manera que se aumenta el tiempo de retención, aprovechando así el espacio disponible.

En la decantación se separa el líquido del lodo biológico (fango) mediante un tanque de sedimentación. Podemos apreciar el tanque de sedimentación en la *Figura 11*.



Figura 11. Tanque de sedimentación. Fuente: EPSH



Figura 12. Efluente durante el proceso de depuración Fuente: EPSH

El efluente continúa su trayecto a lo largo del circuito (*Figura 12*). El destino final del agua es el IES Pirámide donde se junta con agua depurada del instituto y se almacena en una charca artificial, que se muestra en las *Figuras 13 y 14*. Posteriormente este agua es destinada a riego.



Figura 13. Charca artificial. Fuente: I.E.S Pirámide



Figura 14. Agua depurada para riego. Fuente: I.E.S Pirámide

Por lo tanto, la depuración del agua en la escuela se basa en 3 operaciones principales:

- *Desbaste*: Para evitar la entrada de elementos gruesos que puedan alterar el funcionamiento del equipo.
- *Tratamiento biológico aerobio*: mediante un mecanismo de aireación que aporta oxígeno para mantener condiciones aerobias en el reactor y que de esta manera se produzca la descomposición de la materia orgánica biodegradable.
- *Decantación*: mediante los recorridos en zig-zag y el tanque de sedimentación, nos aseguramos de que se separa el lodo del agua depurada.

Esta depuradora sería lo que conocemos como depuradora de Oxidación Total, un sistema de depuración para tratar las aguas asimilables a domésticas de pequeñas y medianas comunidades.

La ubicación de la EDAR en la escuela puede verse en la *Figura 15*.



Figura 15. Ubicación depuradora en la escuela. Fuente: elaboración propia.

A continuación, en la *Figura 16* se representa un esquema del ciclo del agua actual en la escuela.

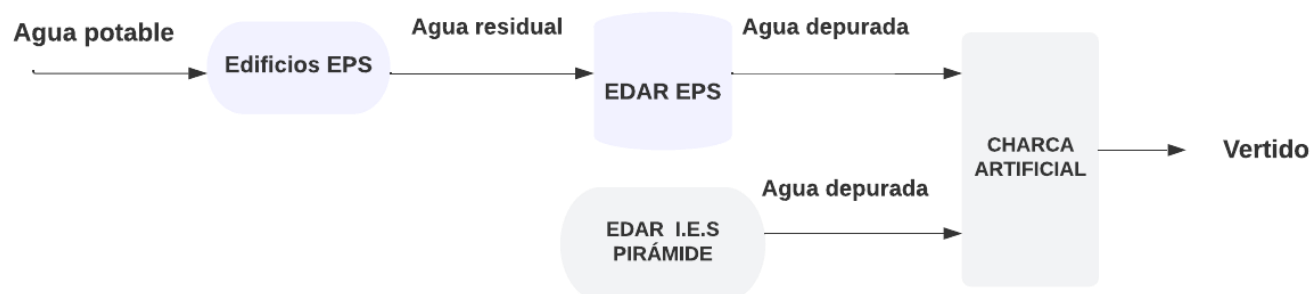


Figura 16. Ciclo del agua en la EPSH. Fuente: elaboración propia.

Capítulo 3. Agua consumida y residual en la EPS

En este capítulo se va a estudiar el agua que se consume dentro de la escuela y sus determinados usos, así como el agua residual generada en la esta tras los mismos.

3.1 Agua consumida en la EPS

El agua consumida dentro de la escuela viene definida por las diferentes actividades que en ella se realizan. El objetivo de este apartado es estudiar las distintas actividades desarrolladas en la escuela que suponen consumo de agua y analizar los datos de consumo de agua correspondientes. En el presente apartado se desarrolla la metodología seguida para el desarrollo de este apartado y los resultados pertinentes.

3.1.1 Metodología

Para determinar los usos y cantidades de agua consumida en la escuela se ha realizado lo siguiente: en primer lugar, un análisis de actividades teniendo en cuenta la temporalidad de las mismas; a continuación, se ha realizado una recopilación de datos históricos (2017-2019) de los registros de los contadores de agua proporcionados por la EPSH.

3.1.2 Resultados

El consumo de agua en la escuela viene definido por el uso que hacen de ella los estudiantes, el personal docente e investigador (PDI), y el personal de administración y servicios (PAS), así como la utilizada con otros fines dentro de la propia escuela.

Los principales usos son los siguientes:

- Uso personal e higiene: Cisternas, grifos.
- Riego de los exteriores.
- Laboratorios: grifos.
- Cafetería y cocina: grifos, electrodomésticos.
- Limpieza: Lavadoras, limpieza de instalaciones.
- Fuentes

La Escuela Politécnica Superior es un centro universitario, por lo que su actividad no es constante, sino que está sujeta a temporalidad.

Respecto a la temporalidad anual, la escuela se encuentra abierta de septiembre a julio, siendo los meses de mayor uso los que coinciden con el periodo de clases (septiembre- mayo). A lo largo de la semana también se producen variaciones; se imparten clases de lunes a jueves, siendo viernes días reservados a otras actividades y sábado y domingo los días de menor afluencia en la escuela por parte del alumnado. Durante los periodos vacacionales de Navidad y Semana Santa la afluencia también se ve drásticamente reducida.

Sin embargo, es en los meses de verano cuando hay mayor déficit hídrico, cuando los jardines de la escuela requieren mayor aporte de agua para ser regados, debido a las altas temperaturas,

por lo tanto, hay una discordancia en la necesidad de agua respecto al aporte de esta, que se detallará más adelante.

El estudio por lo tanto se va a realizar suponiendo el caso de máximo uso, es decir en una semana lectiva ordinaria, fuera de periodo de vacaciones y en los días de la semana donde suponemos que se va a realizar un mayor consumo del recurso.

Los datos numéricos de caudal de agua consumida han sido obtenidos a través de mediciones realizadas por los contadores que se encuentran en diferentes puntos de la escuela, tal y como se muestra en la *Figura 17* y los cuales son contabilizados trimestralmente.

Hay un total de 4 contadores, y son los siguientes:

- *Contador 1; Loreto*: Situado en el propio edificio aporta los consumos de éste. Este edificio cuenta con los laboratorios de física y de química, por lo tanto, los m³ contabilizados por este contador serán los consumidos por parte del alumnado y personal docente e investigador en los laboratorios y los aseos situados dentro del edificio.
- *Contador 2; Exterior*: Situado en el exterior del campus, en el jardín, nos proporciona los consumos del agua utilizada para riego, así como de los edificios Salto de Roldán, Pusilibro y Fragnetto (siendo el consumo por parte de estos edificios despreciable frente a la cifra de agua utilizada para riego).
- *Contador 3; Guara*: Se ubica en el edificio Tozal de Guara y nos aporta valores numéricos del consumo de dicho edificio. En este edificio podemos encontrar la mayor parte de aulas donde se imparte clases dentro de la escuela, así como laboratorios, la biblioteca, los despachos de personal docente y la cafetería y cocina. Por lo tanto, los m³ de agua consumidos dentro del mismo vendrán determinados por los laboratorios y los aseos, así como también por parte de la cafetería/cocina, que se encuentra en la planta baja del mismo y que no posee un contador independiente.
- *Contador 4; Gratal*: Situado en el propio edificio, aporta datos de éste. En él se encuentran las aulas de informática y otras aulas para impartir clase, el agua dentro de él solo será utilizada en aseos y fuentes para consumo humano.



Figura 17. Ubicación contadores en la EPS. Fuente: elaboración propia.

Como se ha mencionado anteriormente, para calcular el consumo de agua se trabaja con las lecturas de los 4 contadores ubicados en diferentes puntos de la escuela.

Los datos recopilados para el período 2017-2019 se muestran a continuación. Los datos están diferenciados por contador y por trimestre.

- 1^{er} trimestre: enero, febrero, marzo.
- 2^{do} trimestre: abril, mayo, junio.
- 3^{er} trimestre: julio, agosto, septiembre.
- 4^{to} trimestre: octubre, noviembre, diciembre.

Tabla 1. Consumo de agua en la EPS. Fuente: elaboración propia.

Año 2017	1^{er} trimestre	2^{do} trimestre	3^{er} trimestre	4^{to} trimestre
Loreto	32	37	26	34
Exterior	216	2172	5183	1093
Guara	276	298	177	355
Gratal	17	18	21	14
Año 2018	1^{er} trimestre	2^{do} trimestre	3^{er} trimestre	4^{to} trimestre
Loreto	17	26	21	35
Exterior	158	1192	6338	1932
Guara	336	286	200	337
Gratal	21	11	15	26
Año 2019	1^{er} trimestre	2^{do} trimestre	3^{er} trimestre	4^{to} trimestre
Loreto	28	16	30	36
Exterior	973	2734	3276	692
Guara	475	853	421	843
Gratal	39	30	19	21

**Todas las unidades están expresadas en m³*

Como podemos apreciar en la *Tabla 1*, el agua destinada a riego (contador exterior) es el principal gasto por parte de la escuela de este recurso, seguido del consumo por parte del edificio Tozal de Guara, que es dónde se encuentran la mayoría de las aulas y parte de los laboratorios, así como la cocina y los servicios de administración y biblioteca, es decir, es el edificio de principal uso en la escuela.

Disponemos de datos diarios en el período 2017-2019 del consumo en m³ de agua para riego, que se detallan en el *Anexo I*. A continuación, en la *Figura 18*, se muestra una media de los consumos mensuales en el período 2017-2019.

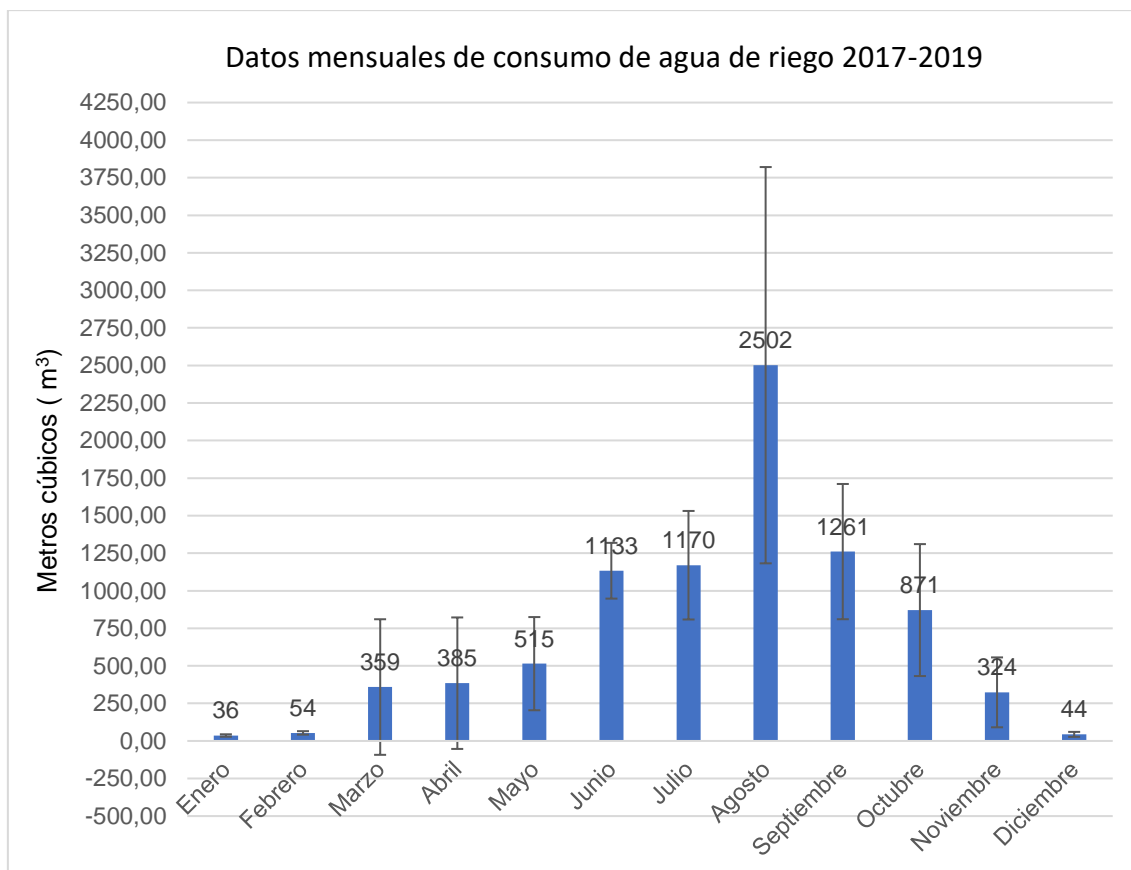


Figura 18. Consumo medio mensual agua de riego. Fuente: elaboración propia.

En la gráfica se puede apreciar como el mayor consumo viene dado en los meses de junio, julio, agosto y septiembre, siendo estos meses los de mayor temperatura en la ciudad de Huesca, y por tanto mayor necesidad de agua por parte del suelo y las plantas, ya que las pérdidas por evaporación serán mayores.

Según datos históricos de clima en Huesca obtenidos de la página web de AEMET (<http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos>) la temperatura media (T^a) y precipitación media (mm) de estos meses, según una recopilación de datos históricos, es la siguiente:

- Junio: 21.0 ° C y 33 mm
- Julio: 24.1 ° C y 22 mm
- Agosto: 23.7 ° C y 29 mm
- Septiembre: 19.8 ° C y 48 mm

Se trata de unas temperaturas medias muy elevadas en comparación al resto de meses y unas precipitaciones medias mensuales muy bajas, por lo que el déficit hídrico durante este período va a ser mayor y por lo tanto la demanda de agua para riego será proporcional.

La gran desviación estándar que se puede observar en el mes de agosto es debida que, tal y como puede apreciarse en el *Anexo I*, para los diferentes años de los que disponemos datos (2017,2018,2019) el consumo de agua fueron 2694 m³, 3714 m³, 1097 m³ respectivamente,

siendo estos muy dispares entre ellos. Suponemos que esta desviación puede ser debida a varios factores.

- Como puede apreciarse en la tabla del año 2018 del Anexo I, en la mayoría de los meses hay datos diarios anotados del contador, sin embargo, en agosto, debido a que coincide con el periodo vacacional, solo hay datos a partir del día 16, 65248 m³ ese día, siendo, el último dato que tenemos del mes de julio el del día 26/07/2018, 62661 m³ (ocurre algo similar en todos los meses). En este período que el consumo de agua de riego ha estado menos controlado, debido a que coincide con las vacaciones tal y como se ha mencionado con anterioridad, puede ser que se haya producido una avería en los contadores, o en el sistema de riego incluso y que por ello los datos sean dispares.
- Otra posibilidad es que la temperatura y las precipitaciones de cada uno de esos tres años hayan sido distintas entre sí y que por lo tanto las necesidades hídricas del cultivo varíen cada año.

Podemos agrupar los valores numéricos de los contadores en 2 grandes grupos para clasificarla según su uso. El agua utilizada para higiene, cocina y fines lectivos (es decir, el agua que tras su uso (agua residual) va a tener como destino la depuradora de la escuela) y el agua utilizada para riego, la cual se pierde por infiltración y se utiliza por las plantas, es decir, regresa al medio ambiente y por lo tanto no va a parar a la depuradora de la escuela.

Tabla 2. Agua residual generada y agua utilizada para riego. Fuente: elaboración propia.

	<i>Uso personal y servicios, agua residual.</i>	<i>Utilizada para riego</i>
Año 2017	1305 m ³	7571 m ³
Año 2018	1331 m ³	9620 m ³
Año 2019	2811 m ³	7675 m ³

Como se puede observar en la *Tabla 2*, en el período estudiado, de todo el agua que se consume en la EPS, aproximadamente una media del 20% (entre el 12% y el 27% en el periodo estudiado) se convierte en agua residual a tratar en la depuradora propia.

3.2 Agua residual en la EPS

Tras los diferentes usos que se han mencionado previamente se genera agua residual en diferentes puntos de la escuela. El objetivo de este apartado es determinar la cantidad del agua residual generada en la EPS con el fin de poder estimar de qué recurso disponemos para su posible uso como agua de riego. A continuación, se especifica la metodología seguida y los resultados obtenidos.

3.2.1 Metodología

Para estimar la cantidad de agua residual generada en la EPS se considera que el 100% del agua consumida, a excepción del agua de riego, es devuelta al ciclo del agua en forma de aguas residuales y por lo tanto va a ser depurada.

Es por ello que la cantidad de agua residual viene determinada por el valor numérico de los tres contadores ubicados en los edificios de la escuela: Loreto, Guara y Gratal.

Esta vez no se tienen en cuenta los datos del contador exterior, ya que el agua consumida en riego es absorbida por las plantas y el suelo, es decir, se pierde por evapotranspiración y percolación y no va a parar al pozo de aguas residuales.

3.2.2 Resultados

En el Anexo II se detallan los datos del agua residual generada en los diferentes edificios de la escuela. A continuación, se muestra de manera gráfica los consumos medios en el período 2017-2019 para los diferentes trimestres y contadores. Se representa junto con la desviación estándar.

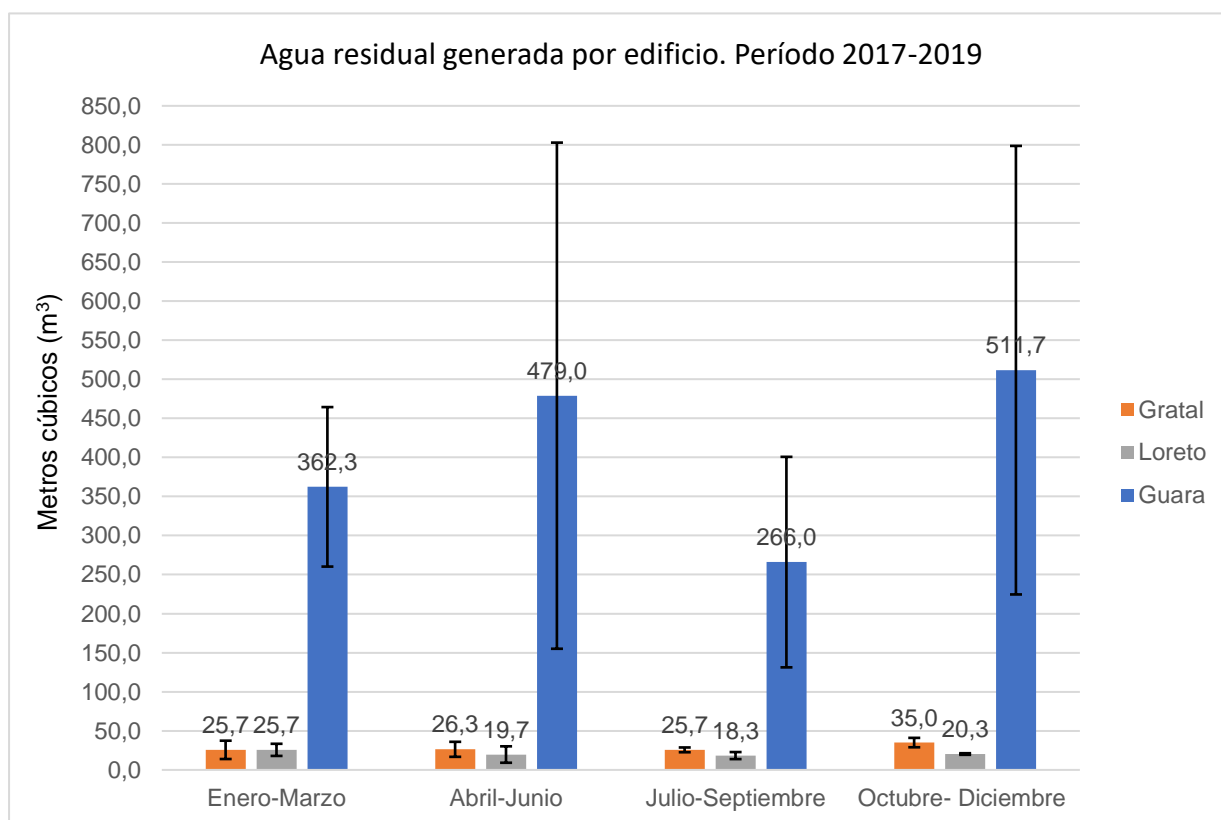


Figura 19. Agua residual generada por edificio, período 2017-2019. Fuente: elaboración propia

Como puede apreciarse en la *figura 19*, el edificio Guara es el que genera más agua residual, esto es debido a que la mayoría de las actividades de la escuela se realizan en el mismo. Además, los valores son más o menos constantes durante todo el año, siendo inferiores en todos los edificios en el trimestre julio-septiembre, ya que este coincide con las vacaciones de verano, donde la actividad lectiva es menor.

Como puede observarse, los datos para los edificios Gratal y Loreto son prácticamente constantes en todos los años y trimestres. Sin embargo, en Guara la desviación estándar de los datos es mayor, es decir, son poco constantes entre años. Como se puede apreciar en el Anexo II, los datos para el contador Guara en los años 2017,2018,2019 son constantes y muy similares en los años 2017,2018 sin embargo en el año 2019 el consumo de agua en el edificio Guara aumenta siendo casi el doble que los años anteriores en todos los trimestres.

Esto puede ser causado por un aumento de la actividad en ese edificio por parte del alumnado, PAS, PDI, por parte de la cocina, etc. También puede ser por la puesta en activo de los nuevos laboratorios que se crearon en la Planta -1 de la escuela y que previamente no existían, que hacen que aumente la actividad en Guara. También es posible que haya habido algún fallo en la lectura de contadores.

Capítulo 4. Agua depurada en la EPS

La calidad del agua depurada es muy relevante a la hora de la realización de este estudio. Conociendo las características de la misma daremos respuesta a dos preguntas;

- ¿Está funcionando correctamente el sistema de depuración de la escuela?.
- ¿Qué parámetros debo ajustar a los criterios establecidos por la legislación para poder reutilizar esta agua residual?.

A continuación, se desarrolla el procedimiento seguido para la caracterización del agua, así como los resultados obtenidos y el análisis de los mismos.

4.1 Procedimiento experimental

Tras la realización de una visita guiada por personal técnico de laboratorio de la EPS para determinar los puntos de muestreo, se realizaron varios muestreos in situ del agua de la depuradora con el objetivo de determinar su calidad.

Para que los datos de calidad del agua fueran representativos y conociendo que el movimiento de personas y actividades en la escuela es más o menos lineal en el periodo lectivo, se tomaron muestras en dos semanas diferentes:

- Primera semana: 29 de noviembre a 5 de diciembre. En esta semana se tomaron datos el día 30 de noviembre, martes, considerándose este un día representativo al no tratarse ni del primer ni último día de la semana. Se tomaron 2 muestras compuestas a diferentes horas del día entre las 11h y las 15h, siendo éstas las horas más habituales de presencia de alumnado en el centro.
- Segunda semana: 13 a 19 de diciembre. En esta semana se tomaron muestras el día 16, jueves, considerándose también día representativo por la misma razón mencionada anteriormente. La franja horaria en la que se realizó la toma de muestras fue la misma que en la primera semana.

Las muestras fueron tomadas de la siguiente manera siguiendo como referencia la metodología estándar de toma de muestras (UNE-ISO 5667-5).

Se analizaron algunas variables físico- químicas de interés in situ; Oxígeno Disuelto (OD), pH, conductividad (CD), Temperatura.

Para asegurarnos de que la muestra era representativa y conservaba las condiciones originales se tuvo especial atención en lo siguiente:

- Los envases para la recogida estaban en perfecto estado y sin haber sido usados y se rotularon con la hora, número y fecha del muestreo.
- Los envases fueron llenados hasta rebose para así evitar la presencia de burbujas de aire que pudiesen afectar en los resultados.

- Como se ha mencionado anteriormente algunos parámetros fueron determinados in-situ ya que sus propiedades podían variar minutos después de la toma de muestras.
- Inmediatamente después de la recogida de estas muestras en sus diferentes envases, fueron guardadas en una nevera portátil y trasladadas al laboratorio del grupo de investigación Agua y Salud Ambiental en Zaragoza para su posterior análisis.

La muestra fue tomada de la trampilla de salida de agua de la depuradora mediante un cubo metálico. Para la toma de estas muestras se utilizaron dos tipos de envases (*Figura 20*), siendo el de doble tapa, negro, el utilizado para el análisis de la mayoría de los parámetros y el de tapa roja (estéril), el utilizado para medir *Escherichia coli*, *Enterococcus sp.* y coliformes totales. Se utilizaron un total de 4 envases, 2 de cada tipo, para cada una de las horas muestreadas. Posteriormente, parte del volumen captado se transportó al laboratorio para su análisis.



Figura 20. Recipientes de muestreo.

4.2 Metodología

Se analizaron los parámetros contemplados en la legislación vigente (*RD 1620/2007*) en cuanto a la regeneración y reutilización de aguas en riego, además de otros parámetros indicadores de calidad. Estos análisis se llevaron a cabo con metodología estándar de análisis recogida en el libro "*Standard methods for the examination of water and wastewater*" (Eaton et al., 2005).

Una vez obtenidos los resultados, se procede a su tratamiento en la herramienta *Excel* y se comparan con los valores máximos admisibles establecidos por la legislación europea y estatal.

In situ fueron analizados los siguientes parámetros, con un medidor multiparamétrico calibrado previamente y proporcionado por la propia escuela, que se muestra en la *figura 21*.

- pH
- Temperatura: (°C)
- Oxígeno disuelto (OD): mg/L
- Conductividad: mS



Figura 21. Medidor multiparamétrico.

Ex – situ, en el laboratorio del grupo de investigación Agua y Salud Ambiental se analizaron los siguientes parámetros físico- químicos:

- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- Sólidos en suspensión (SS)
- Turbidez
- *Enterococcus sp*
- *Escherichia coli (E.coli)*
- Coliformes totales

La metodología analítica utilizada para cada uno de los parámetros estudiados fue la siguiente:

4.2.1 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Para la medición de este parámetro, se realizó el siguiente procedimiento:

El instrumento a utilizar fue un fotómetro multiparamétrico de la serie HANNA HI83099 (*Figura 22*), se eligió el procedimiento 8.22, Demanda Química de Oxígeno MR (Rango Medio). El rango que mide el instrumento en este programa es de 0 a 1500 mg/L (como O₂) y tiene una precisión de ± 15 mg/L.

El método utilizado es una adaptación del método 410.4 aprobado por la USEPA para la determinación de la DQO en aguas superficiales y residuales.

El procedimiento de medición fue el siguiente:

1. Se realizó un blanco junto con los reactivos
2. Se homogeneizó la muestra
3. Se precalienta el reactor HANNA HI39800 a 150°C y se coloca la pantalla de seguridad.
4. Se añaden 2,0 ml de agua destilada al primer vial (blanco) y 2,0 ml de muestra a los otros viales, mientras se mantienen a un ángulo de 45°C. Se pone la tapa y se invierten varias veces para mezclarlos.

5. Se insertan los viales en el reactor y se calientan durante 2h a 150°C.
6. Al final del período de digestión se desconecta el reactor y se espera unos 20 minutos hasta que los viales se enfrían a unos 120°C.
7. Cuando ya están templados se invierten y se colocan en la gradilla hasta que alcancen la temperatura ambiente. Después de esto ni se agitan ni se invierten.
8. Se selecciona el método DQO (MR) en el fotómetro HANNA.
9. Se inserta el adaptador de vial y se inserta en la célula de medición el vial del blanco. Se insertan los viales de muestra y se anota la lectura en mg/L de oxígeno (O₂).



Figura 22. Fotómetro multiparamétrico HANNA HI 83099.

4.2.2 Sólidos en suspensión (S.S)

Para la medición de los sólidos en suspensión se hizo lo siguiente:

1. Filtrar 100 mL de agua destilada a través de un filtro de 0.45 mm de poro mediante una unidad de filtración.
2. Secar el filtro en la estufa a 105°C durante 2h
3. Pesar el filtro en la balanza de precisión
4. Filtrar 100 mL de agua depurada por el filtro previamente secado mediante una unidad de filtración
5. Secar el filtro en estufa a 105° C durante 2 h
6. Pesar el filtro en la balanza de precisión

Con los datos obtenidos de peso de filtro antes de filtrar el agua depurada y después se calculan los mg/L de sólidos suspendidos que tiene ese agua. En la *Figura 23* podemos observar el filtro con los sólidos. Para determinar la concentración de sólidos suspendidos se utiliza la siguiente ecuación:

$$SS = \frac{\text{peso filtro con muestra} - \text{peso filtro sin muestra}}{\text{Volumen de agua filtrado}}$$

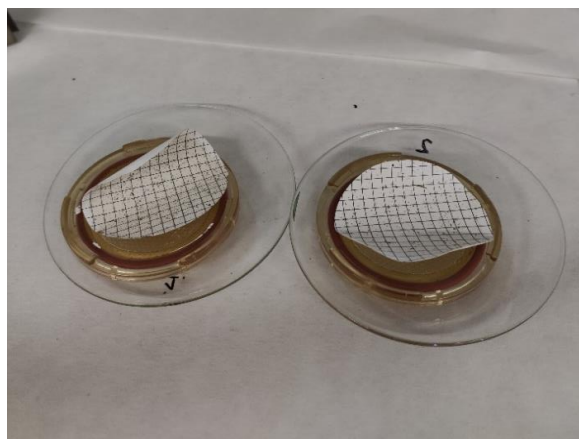


Figura 23. Sólidos en suspensión en filtro ya secado.
Fuente: Laboratorio Grupo Agua y Salud Ambiental

4.2.3 Turbidez

La turbidez se mide mediante un turbidímetro, este aparato realiza un análisis óptico que permite medir las partículas en suspensión en un líquido.

En este caso se utilizó el turbidímetro Hanna LP 2000 (error ≤ 0.2 UNT; figura 24), según la norma ISO 7027:1999 (ISO 7027:1999).

El uso de este equipo requiere una calibración previa mediante 3 patrones (0,10, 500 UNT), posteriormente se realizan las mediciones de las muestras.



Figura 24. Turbidímetro HANNA LP 2000.

4.2.4 Coliformes totales, *Escherichia coli* y *Enterococcus sp.*

Se utiliza el procedimiento establecido por la Norma Española UNE-EN ISO 9308-1:2014 para Coliformes totales, *E. coli* y UNE-EN ISO 7899-2:2001 en el caso de *Enterococcus sp.* El análisis y recuento de todos estos microorganismos patógenos se realiza por el método de siembra de placa difusa y usando diluciones seriadas.

Medio de cultivo

- Coliformes totales y *E.coli*: Se establece como medio de cultivo el agar cromogénico para bacterias coliformes (CCA).

- *Enterococcus sp*: el medio utilizado es el agar selectivo Slanetz & Bartley. La preparación de este agar conlleva después de su esterilización y enfriamiento a 50 °C, la adición de cloruro de 2,3,5-trifeniltetrazolio (TTC) en una proporción de 10 mL por cada litro de medio base. La solución TTC se utiliza como indicador de color, las colonias adquieren un color granate característico (Lanao, 2012).

Diluciones decimales seriadas

Las diluciones seriadas, se realizan con el fin de filtrar un volumen que permita un recuento adecuado de las colonias y se obtienen mediante el siguiente procedimiento (Lanao, 2012).

El volumen de agua natural a filtrar, lo que llamamos dilución 0, va a ser 100 mL.

- Se toma 1 mL de la muestra con micropipeta y se transfiere a un tubo con 9 mL de agua destilada al 0,9 % NaCl, estéril. A continuación, se homogeneiza en un vortex, obteniéndose de esta forma la dilución 1:10 (o D -1).
- Para hacer las diluciones sucesivas (D-2, D-3, D-4, D-5), se toma 1 mL de la dilución precedente bien homogeneizada y se lleva a un tubo con 9 mL de agua destilada al 0,9% NaCl, todo ello en ambiente de trabajo estéril, proporcionado con un mechero Bunsen.

En la *figura 25*, queda reflejado un esquema del método de diluciones seriadas.

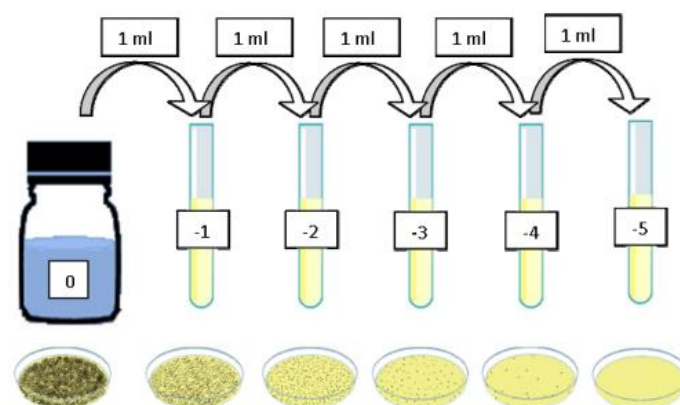


Figura 25. Esquema de las diluciones seriadas. Fuente: Lanao, 2012.

Método de filtración por membrana

La metodología más idónea para el aislamiento bacteriano en muestras de agua es la “filtración por membrana” por presentar una mayor reproducibilidad, rapidez y versatilidad en cuanto a volumen utilizado, respecto a la “técnica de tubos múltiples” (Eaton et al., 2005).

En presencia de una atmósfera estéril proporcionada por un mechero Bunsen, mediante pinzas previamente flameadas, se coloca un filtro de membrana estéril (Millipore) de 0,22 µm de poro sobre el soporte de filtración. Tras adaptar el embudo, se humedece el filtro con una pequeña cantidad de agua destilada al 0,9% NaCl estéril y se vierte la muestra, previamente homogeneizada. Las muestras comprendidas entre 30 y 100 mL se añaden directamente al

embudo de filtración, pero para las muestras entre 1 y 30 mL, se añaden primero al embudo entre 20-30 mL de agua destilada y a continuación, la muestra a filtrar (Lanao, 2012).

Finalmente, se retira el embudo y la membrana se transfiere al fondo de una placa de Petri pequeña (45 cm Ø) para terminar vertiendo el agar correspondiente en cada uno de los casos, asegurándose de que no queden burbujas de aire atrapadas por debajo.

Incubación

Tras la siembra, se incuba la placa de la siguiente manera para cada una de las bacterias;

- *E.coli* y coliformes totales: La placa se coloca en posición invertida. La temperatura de incubación es de $(36 \pm 2) ^\circ\text{C}$ y el tiempo de incubación de 18-24 h
- *Enterococcus sp*: No se coloca de forma invertida. Se incuban las placas a $(36 \pm 2) ^\circ\text{C}$ y durante 36-48 h.

Confirmación y recuento

Se determina la concentración bacteriana por recuento en placa y considerando la dilución sembrada. El recuento en placa se basa en la suposición de que cada bacteria crece y se divide para producir una sola colonia. Esto no siempre es cierto porque las bacterias con frecuencia crecen unidas en cadena o agrupadas. Por consiguiente, a menudo una colonia no se produce como resultado de una única bacteria. Para reflejar esta realidad los recuentos en placa se indican como unidades formadoras de colonias (UFC) (Tortora et al., 2007).

- *E.coli*: Color azul oscuro a violeta.
- Coliformes totales: Se consideran coliformes presuntivas distintas de *E.coli* aquellas que presentan un color rosa a rojo. Para confirmar las bacterias distintas de *E.coli* hay que realizar un ensayo de oxidasa. La reacción de oxidasa se considera positiva si se desarrolla un color azul/violeta en 30s, para bacterias coliformes no debe observarse ya que son oxidasa negativas.

El recuento de *E.coli* es el de todas las colonias de color azul oscuro a violeta. Mientras que el recuento de bacterias coliformes es la suma de todas las colonias de color rosa a rojo que son oxidasa negativas más todas las de color azul oscuro a violeta.

- *Enterococcus sp*: coloración roja, marrón o rosa en el centro o en toda la colonia. Tras realizar el recuento bacteriano se lleva a cabo una tinción Gram de algunas de las colonias obtenidas para valorar si coexisten una especie o varias en el cultivo bacteriano. *Enterococcus sp*. al ser una bacteria Grampositiva, se visualiza de color azulado.

Expresión de resultados

Posteriormente los datos de placas con conteos viables son tratados estadísticamente, conforme a la norma ISO 8199 para expresar el promedio de la concentración en UFC/100mL.

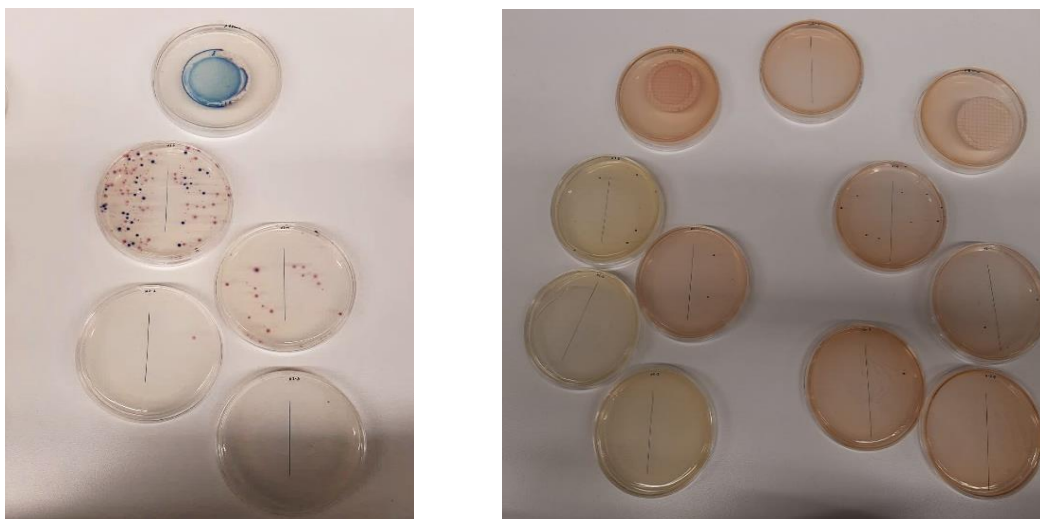


Figura 26. *Escherichia coli*, coliformes totales y *Enterococos*. Fuente: Laboratorio Grupo Agua y Salud Ambiental.

4.3 Resultados y discusión

Como hemos mencionado previamente el objetivo del estudio es conocer si el sistema de depuración tiene un correcto funcionamiento, y que calidad tiene el agua tratada actualmente para así poder ajustar los parámetros de calidad a los exigidos por ley para su posible futura reutilización.

Los parámetros analizados con sus respectivas unidades de medición han sido los siguientes:

- Oxígeno disuelto (OD) en mg/L
- pH
- Conductividad en mS/cm.
- Temperatura en °C .
- Sólidos en suspensión (SS) en mg/L
- Demanda Química de Oxígeno (DQO) en mg/L
- Turbidez en UNT
- Coliformes totales en UFC/100 mL
- *Escherichia coli* (E.coli) en UFC/100mL
- *Enterococcus sp.* en UFC/100 mL

4.3.1 Expresión de los resultados

Para poder dar respuesta a si la depuradora está funcionando correctamente, es de interés conocer cuáles son los rangos típicos de los diferentes parámetros del agua residual doméstica, es decir, del agua de entrada de la depuradora.

Los valores habituales del agua residual doméstica se expresan a continuación:

Tabla 3. Constituyentes del agua residual y concentraciones típicas. Fuente: Metcalf & Eddy. Ingeniería de aguas residuales, redes de Alcantarillado y bombeo 1995

Constituyente	Concentración		
	Fuerte	Media	Débil
Sólidos totales (mg/L)	1200	720	350
Disueltos (SD) (mg/L)	850	500	250
En suspensión (SS) (mg/L)	350	220	100
DBO5 (mg/L)	400	220	110
COT (mg/L)	290	160	80
DQO (mg/L O ₂)	1000	500	250
Nitrógeno total (mg/L)	85	40	20
Fósforo total (mg/L)	15	8	4
Cloruros (mg/L)	100	50	30
Alcalinidad (mg/L CaCO ₃)	200	100	50
Grasa (mg/L)	150	100	50

*Para coliformes fecales (UFC/100mL) el intervalo suele ser 10^3 - 10^7 (Reyero Cobo, 2010).

Con el fin de conocer los rendimientos de la EDAR de la escuela debería realizarse un análisis del agua residual, cómo ese no es el objetivo del presente trabajo, se realiza una comparativa con la *Tabla 3*, que recoge los valores típicos del agua residual. Gran parte de los valores obtenidos en los muestreos presentan datos inferiores a los típicos del agua residual, por lo que podemos suponer que la depuradora está eliminando en parte estos contaminantes.

Para dar respuesta a si el agua de salida de la depuradora cumple con la normativa vigente en materia a depuración de aguas *Directiva 91/271 CEE* así como saber que parámetros es necesario reducir para cumplir con los valores límites establecidos por el *RD 1620/2007* y *Reglamento (UE) 2020/741* respecto a regeneración de aguas, para poder utilizarla como agua de riego, se han realizado los análisis pertinentes de diferentes parámetros. Los resultados obtenidos se muestran a continuación, en la *Tabla 4*.

Como se ha mencionado anteriormente, para cada muestreo se tomó una muestra compuesta, de la que se realizó análisis por duplicado; se han expresado los resultados como la media geométrica de los mismos \pm la Desviación Estándar. Los resultados desglosados quedan reflejados en el *Anexo III*.

Tabla 4. Resultados del muestreo de agua depurada. Fuente: elaboración propia

	Muestreo nº 1	Muestreo nº 2	Muestreo nº 3	Muestreo nº 4
<i>Parámetro</i>	30/11/2021 Hora: 11.00 AM	30/11/2021 Hora: 15.00 PM	16/12/2021 Hora: 11.00 PM	16/12/2021 Hora: 15.00 PM
OD (mg/L)	2,30 ± 0,28	2,15 ± 0,21	2,45 ± 0,07	2,35 ± 0,07
pH	7,40± 0,03	7,45 ± 0,01	7,75 ± 0,01	7,73 ± 0,02
CE (mS/cm)	0.99 ± 0,04	0,94 ± 0,02	1,10 ± 0,01	1,04 ± 0,01
Temperatura (°C)	15,20 ± 0,42	15,75 ± 0,07	13,15 ± 0,21	13,65 ± 0,22
Sólidos suspendidos (mg/L)	22,00 ± 1,14	24,50 ± 0,71	25,00 ± 4,24	23,50 ± 2,12
DQO (mg O ₂ /L)	99,00 ± 1,41	97,50 ± 3,54	276,00 ± 47,38	112,50 ± 3,56
Turbidez (UNT)	12,75 ± 7,19	6,35 ± 1,60	16,18 ± 7,92	13,81 ± 3,51
Coliformes totales (UFC/100mL)	5,60E+05 ± 1,14E+05	3,0E+05± 1,17E+05	4,70E+05 ± 2,94E+05	4,30E+05 ± 1,93E+05
<i>E.Coli</i> (UFC/100mL)	3,80E+04 ± 2,82E+04	3,70E+04± 1,91E+04	3,40E+04± 9,52E+03	3,60E+04± 4,53E+04
<i>Enterococcus sp.</i> (UFC/100mL)	2,10E+04 ± 4,24E+03	2,80E+04± 1,50E+04	1,90E+04± 1,91E+03	2,20E+04± 3,21E+03

Algunos de los parámetros mencionados a continuación se encuentran regulados por legislación, de manera que presentan unos valores máximos admisibles (V.M.A) que hay que cumplir, otros sin embargo no tienen establecidos unos V.M.A pero si que hay ciertas recomendaciones que se detallan a continuación.

Los VMA de las diferentes normativas, se presentan a continuación en las *Tablas 5,6,7*.

Valores límite en depuración de aguas

- Para comprobar si la depuradora de la escuela cumple con los límites establecidos por la *Directiva 91/271 CEE* en materia a depuración de aguas se compara los resultados obtenidos en los muestreos con los requisitos establecidos en el Anexo I de la Directiva que son los siguientes:

Tabla 5. Valores máximos admisibles. Fuente: D 91/271CEE

Parámetros	Concentración	Porcentaje mínimo de reducción
DBO5	25 mg/L O ₂	70-90 (> 10000 he) 40 (2000-10000 he)
DQO	125 mg/l O ₂	75
Sólidos en suspensión	35 mg/L	90 (> 10000 he)

Valores límite en reutilización de aguas

- Respecto al *RD 1620/2007*, los valores máximos admisibles reflejados en el *Anexo I.A* para el tipo de calidad “1.2 Servicios. Riego de zonas verdes urbanas”, que es el caso de la escuela.

Tabla 6. Valores máximos admisibles. Fuente: RD 1620/2007

<i>Escherichia coli</i>	<i>Sólidos en suspensión</i>	<i>Turbidez</i>
200 UFC/100 mL	20 mg/L	10 UNT

- Respecto al *Reglamento (UE) 2020/741*, establece los requisitos de calidad en función a los diferentes usos que se le vaya a dar al agua regenerada. En nuestro caso va a ser agua destinada a riego agrícola, concretamente a riego de cultivos no alimenticios, es decir, aquellos que no van a ir destinados a consumo humano (cultivos ornamentales, césped, etc). Este reglamento establece diferentes criterios según el tipo de riego, en la escuela se trata de riego por aspersión, por lo que nos situaríamos en una clase de calidad B. Por lo tanto, los requisitos establecidos mediante legislación europea serían los que se muestran en la *Tabla 7*.

Tabla 7. Valores máximos admisibles. Fuente: Reglamento 2020/741

Clase de calidad	<i>E. coli</i>	<i>DBO₅</i>	<i>SS</i>	<i>DQO</i>
B	≤ 100 UFC/100 mL	25 mg/L O ₂	35 mg/l O ₂	125 mg/l O ₂

Respecto a los resultados obtenidos en los muestreos concluimos para cada uno de los parámetros a estudio, lo siguiente:

4.3.1.1 Oxígeno disuelto (OD)

El oxígeno disuelto es imprescindible para que se produzcan reacciones aerobias y así descomponer la materia orgánica biodegradable. Aun así, entra dentro de los niveles adecuados, ya que para un tratamiento aerobio es necesario un nivel de OD superior a 0,5 mg/L (Gómez, 2011). Además, para que un tratamiento biológico funcione correctamente hay que asegurar 2 mg/L de O₂, por lo que el valor es adecuado en todos los muestreos.

El oxígeno es menos soluble en aguas calientes, por lo tanto, habría que prestar atención a este parámetro los meses de verano, para asegurarnos de que se mantienen las condiciones aerobias en todo el proceso de depuración.

La legislación en materia de depuración y regeneración de aguas no establece valores límite respecto al Oxígeno Disuelto.

4.3.1.2 pH

Las aguas residuales urbanas generalmente son alcalinas. 7,5-8,0 y el pH de las aguas naturales tiene un valor entre 7,6 -7,2 por lo que está dentro de los valores normales (Gómez, 2011).

Es un parámetro importante ya que el pH del agua puede modificar el equilibrio del suelo al usarse con fines agronómicos (Soto, 2018). Para ser vertidas al medio el valor de pH oscila entre 6.5 y 9.5.

La legislación en materia de depuración y regeneración de aguas no establece valores límite respecto al pH.

4.3.1.3 Conductividad (CE)

La conductividad obtenida presenta valores bajos. Probablemente la conductividad sea baja a la entrada de la depuradora.

Respecto al riego, que la conductividad presente valores bajos es bueno, ya que conforme aumenta la CE disminuye el rendimiento de los cultivos. Valores por encima de 3 mS/cm se consideran aguas no aptas para riego (Soto, 2018).

La legislación en materia de depuración y regeneración de aguas no establece valores límite respecto a la conductividad. Sin embargo, otras normativas relacionadas con la calidad de las aguas permiten hasta 6mS/cm.

4.3.1.4 Temperatura (T^a)

La temperatura del agua residual suele ser más elevada que la del agua de suministro, es un parámetro importante ya que influye en las reacciones químicas. Como he mencionado anteriormente, el oxígeno es menos soluble en agua caliente. La temperatura del agua residual de la escuela presenta unos valores normales.

La legislación en materia de depuración y regeneración de aguas no establece valores límite respecto a este parámetro.

4.3.1.5 Coliformes totales

El grupo de los coliformes lo constituyen bacterias Gramnegativas habituales de la región intestinal de mamíferos y aves. Se pueden diferenciar los coliformes totales que comprenden todos los coliformes de cualquier origen y los coliformes fecales, que designan sólo a los coliformes de origen exclusivamente intestinal (Lanao, 2012).

Respecto a los resultados obtenidos podemos afirmar que, en cuanto a la variación de la concentración bacteriana en función de la hora y el día, es despreciable, considerando que en todos los muestreos se obtuvieron valores en el mismo orden de magnitud.

Por su parte, la mayor parte de Coliformes son *E. coli*, por lo que se deduce que la mayor contaminación remanente del efluente es de origen fecal (ya que el género *Escherichia* solo tiene origen fecal).

La legislación en materia de depuración y regeneración de aguas no establece valores límite respecto a coliformes totales, pero sí que lo hace respecto a *E.coli*, que se detalla a continuación en el apartado 4.3.1.10.

4.3.1.6 *Enterococcus sp*

Enterococcus sp., genéricamente denominados enterococos intestinales, son bacterias Grampositivas, anaerobias facultativas. El número de enterococos intestinales en heces humanas es generalmente más bajo que el número de *E. coli* (Lanao, 2012).

Podemos observar como en todos los muestreos se cumple que el número de UFC de Enterococos es menor que el de *E.coli*.

Tal y como se ha mencionado respecto a los coliformes totales, la variación en función a la hora y el día es despreciable, siendo esta prácticamente constante.

La legislación en materia de depuración y regeneración de aguas no establece valores límite respecto a Enterococos.

Los parámetros mencionados a continuación si que se encuentran regulados por alguna de las diferentes normativas mencionadas previamente.

4.3.1.7 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

- En materia de depuración (D 91/271CEE): La directiva establece un valor límite de 125 mg/L de O₂.

Con los resultados obtenidos en los muestreos podemos afirmar que, cumplen con la normativa de depuración en los muestreos nº 1,2,4 de la *Tabla 4*, siendo los valores obtenidos inferiores al V.M.A.

Sin embargo, en el muestreo 3, el valor de DQO es 276.00 ± 47.38 mg O₂ / L, presentando un valor que duplica el máximo admisible. Esto puede ser debido al incorrecto sistema de aireación de la depuradora de la escuela.

- En materia de reutilización de aguas:
 - RD 1620/2007 no establece valores máximos admisibles de DQO.
 - Reglamento 2020/741 UE establece un valor límite de 125 mg/L de O₂, mismo valor que en materia de depuración.

Los resultados obtenidos son por tanto los mismos, para asegurarnos de que podemos implantar el sistema de regeneración habría que dar cumplimiento en el 100% de los casos, por lo que el sistema de aireación debería ser revisado.

4.3.1.8 Sólidos en suspensión (SS)

- En materia de depuración (D 91/271CEE): La directiva establece un valor límite de 35 mg/L.

Respecto a los resultados de los muestreos cumplen con la normativa de depuración de aguas en el 100% de los casos.

- En materia de reutilización de aguas:
 - RD 1620/2007 establece un valor de 20 mg/L.

Ninguno de los muestreos presenta un valor inferior al VMA por lo que daríamos cumplimiento en el 0% de los casos. Por este motivo, el tratamiento de regeneración propuesto debe contemplar una disminución de SS del agua.

- Reglamento 2020/741 UE establece un valor límite de 35 mg/L de O₂. Igual que en materia de depuración.

En el caso de la legislación europea sí que cumpliríamos con el 100% de los casos. Sin embargo, todavía está en vigencia el RD 1620/2007 por ello habría que cumplir con el 20 mg/L que establece.

4.3.1.9 Turbidez

- En materia de depuración (D 91/271CEE): La directiva no establece valores límite de turbidez.
- En materia de reutilización de aguas:
 - RD 1620/2007 establece un valor límite de 10 UNT.
Respecto a los resultados obtenidos, solo se cumple el VMA en el muestreo número 2. Es decir, no cumple con el 90% establecido por ley. Por este motivo, el tratamiento de regeneración propuesto debe contemplar una disminución de turbidez del agua.
 - Reglamento 2020/741 UE no establece valor límite. Tomamos como referencia por lo tanto el establecido en el RD 1620/2007.

4.3.1.10 *Escherichia coli*

- En materia de depuración (D 91/271CEE): La Directiva no establece valores límite de *E.coli*.
- En materia de reutilización de aguas:
 - RD 1620/2007 establece un valor límite de 200 UFC/ 100 mL.
 - Reglamento 2020/741 UE sin embargo establece su máximo en 100 UFC/ 100 mL. Además, establece que se cumplirá la normativa cuando los valores indicados para *E. coli*, cumplan en un porcentaje igual o superior al 90 % de las muestras. Ninguno de los valores de las muestras supera el límite de desviación máxima de una unidad logarítmica con respecto al valor indicado en el caso de la *E. coli* (D.O.U.E, 2020).

Comparando estos valores con los resultados obtenidos podemos afirmar que la *E.coli* supera los valores máximos admisibles en todos los muestreos, por ello será necesario realizar un tratamiento de desinfección para eliminar estas bacterias patógenas.

En resumen, cómo se podía intuir los valores de *E.coli* no iban a cumplir con la normativa ya que es necesario un tratamiento de desinfección para poder acabar con estos microorganismos patógenos, respecto a la DQO y los sólidos suspendidos, podemos afirmar que la depuradora cumple en gran medida con la normativa reguladora respecto a depuración, exceptuando en algunos casos que puede ser debido al incorrecto sistema de la aireación de la depuradora que hace que en momentos puntuales del día no se realice adecuadamente la degradación aerobia de la M.O.

Capítulo 5. Zonas verdes y cultivadas de la EPS

La finalidad del agua regenerada en la escuela es utilizarla para el riego de las zonas verdes y cultivadas. Para poder dar un adecuado uso a este agua, es necesario conocer los diferentes cultivos que se encuentran en la misma así como sus necesidades hídricas. En el presente capítulo, se muestra la metodología seguida y los resultados obtenidos en cuando al inventario de cultivos y zonas verdes de la EPSH y sus necesidades hídricas.

5.1 Inventario de cultivos y zonas verdes

En este apartado se va a realizar un inventario de las zonas verdes de la escuela, describiendo las especies que las forman y la superficie que ocupan.

5.1.1 Metodología

Para conocer las zonas verdes y cultivadas de la EPS se ha realizado un previo inventario de los cultivos presentes en la escuela, mediante una visita a la misma donde se ha observado la distribución de las diferentes zonas.

Además de la visita se ha utilizado la página web de la escuela, que dispone de un inventario de todos los cultivos de la misma.

Posteriormente para calcular los m² de terreno, se ha utilizado la plataforma SIGPAC del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de España que se trata de un visor mediante el cual se ha perimetrado y medido la superficie (*Figura 27*).



Figura 27. Fotografía aérea EPSH. Fuente. Visor SIGPAC

5.1.2 Resultados

La escuela cuenta con una amplia zona exterior dividida en parcelas, con diferentes cultivos y zonas verdes que pueden ser usadas para ocio y otras actividades.

Podemos distinguir en los exteriores de la escuela los siguientes ambientes:

- Olivar: Aproximadamente 100 olivos repartidos por los jardines.
- Viñedo: Se han plantado 19 especies diferentes de vid, se han contabilizado un total de 224 cepas.
- Huertos ecológicos. Destinados al alumnado y personal para que puedan hacer uso propio de los mismos, plantando las especies que deseen.
- Sendero de especies ornamentales. Repartidas por los jardines.
- Zona césped. Incluye la zona de ocio, como los merenderos o las mesas de la cafetería.

Los ambientes mencionados anteriormente se encuentran divididos en diferentes parcelas, las cuales han sido medidas y perimetradas mediante el visor SIGPAC como se muestra en la *Figura 28*.



Figura 28. Parcelas EPSH. Fuente: elaboración propia

A continuación, se describen las especies que forman parte de cada parcela, así como la superficie de cada una de las mismas.

- Parcela A: 1289 m². La especie mayoritaria en esta parcela es la vid (*Vitis*).
- Parcela B, C y D: 2323 m², 2485 m², 3273 m² respectivamente. La especie que ocupa la mayor parte del terreno es el césped. En estas parcelas también podemos encontrar alguna especie arbustiva/ arbórea (olivos, especies ornamentales) de forma muy dispersa y espaciada, como se puede apreciar en la fotografía aérea de la *Figura 28*.

- Parcela E: 1000 m². La mayor parte formada por césped y diversas especies ornamentales arbustivas (*Cupressus arizonica*, *Buddleia davidii*, *Forsythia x intermedia*, *Photinia x fraseri* 'Red Robin', *Buxus sempervirens*, etc.).

El listado completo de especies ornamentales que podemos encontrar en toda la escuela, así como su caracterización y ubicación puede consultarse en la página web de la EPSH, mediante el siguiente link <https://eps.unizar.es/especies>.

Por lo tanto, la escuela cuenta con aproximadamente 11.300 m² de exteriores, de los cuales aproximadamente el 89% son césped y el 11% restante pertenece a las diferentes especies previamente mencionadas.

Es por ello, que podemos asumir como especie mayoritaria en la escuela el césped, y los cálculos de necesidades hídricas posteriormente realizados en el apartado 5.2.3 se han hecho teniendo ésto en cuenta.

5.2 Necesidades hídricas

5.2.1 Metodología

Posterior al inventario de cultivos se ha establecido las necesidades hídricas para las zonas verdes de la escuela (césped) mediante una recopilación bibliográfica en diferentes fuentes como la Confederación Hidrográfica del Ebro (<https://www.chebro.es/>) y la Oficina del Regante del Gobierno de Aragón (<https://aplicaciones.aragon.es/oresa/>).

Como se ha mencionado en el apartado anterior, casi el 90% de la superficie exterior de la escuela es césped, es por ello por lo que se considera como especie representativa y se calculan las necesidades hídricas totales considerando que todo el exterior está formado por esta especie. De esta manera, se calcula de forma teórica un valor estimado del agua que se necesita para riego en la escuela.

Para el césped no se encuentran calculados datos bibliográficos de dotaciones agrarias en la provincia de Huesca, a diferencia de otras especies donde bibliográficamente se recogen datos de sus necesidades hídricas anuales. Se han calculado sus necesidades hídricas a través de la información obtenida del siguiente libro “*Necesidades de agua de los cultivos en Aragón*” (Faci & Martínez, 1991). De éste se han tomado datos históricos de ciertos parámetros, que son mencionados posteriormente, mediante los cuales se pueden calcular las necesidades hídricas con una serie de fórmulas.

Además también se ha utilizado para el cálculo de las mismas, los datos de los contadores, en concreto del contador *Exterior* que proporciona los consumos de agua de riego en la escuela en el período 2017- 2019. Este dato numérico en m³ proporcionado por la lectura del contador, tiene en cuenta los 11300 m² de exterior de la escuela.

De esta manera, suponiendo que todo el exterior es césped, podemos comparar los datos que se van a calcular teóricamente, con los datos reales de consumos de las lecturas de contador, ya que ambos están calculados para los 11300 m² de exterior.

5.2.1.1 Procedimiento para el cálculo de las necesidades hídricas teóricas del césped

Para calcular las necesidades hídricas teóricas se utiliza el procedimiento de la La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

El cálculo de las necesidades de riego de los cultivos se realiza en 3 etapas:

a) Cálculo de la evapotranspiración de los cultivos (ET_c).

Las necesidades hídricas brutas de cultivos herbáceos o evapotranspiración de los cultivos (ET_c) se definen como la altura de agua necesaria para que desarrollo óptimo de un cultivo exento de enfermedades que crece en un campo extenso en condiciones óptimas de suelo y fertilidad con agua suficiente (Faci & Martinez, 1991). Vienen definidas teóricamente por la siguiente expresión:

$$ET_c = K_c \times ET_o$$

- Siendo ET_o la evapotranspiración de referencia, la tasa de evaporación de una superficie extensa de gramíneas, verde, de 8 a 15 cm de altura, uniforme, de crecimiento activo y sin falta de agua, calculada mediante el método Blaney- Criddle, para la provincia de Huesca a partir de datos meteorológicos.
- Siendo K_c el coeficiente de cultivo, proporcionados por la FAO y adaptados a las condiciones locales.

b) Cálculo de las necesidades hídricas netas de los cultivos (NH_n).

Para calcularlas es necesario conocer la fracción de agua de lluvia que contribuye a satisfacer la evapotranspiración de un cultivo, es lo que se denomina precipitación efectiva (PE). Su valor se resta al calculado de ET_c para determinar las necesidades hídricas netas, las cuales han de ser suministradas por el agua de riego (Faci & Martínez, 1998). Vienen definidas teóricamente por la siguiente expresión:

$$NH_n = ET_c - PE$$

c) Por último, se calculan las necesidades de agua de riego (NH_t).

Para ello se incluye la suma de las necesidades hídricas netas de los cultivos y las pérdidas de agua producidas en el sistema de riego. Las pérdidas vienen definidas por la eficiencia del sistema de riego. En el caso del riego por aspersión, como el de la escuela la eficiencia es del 75-85% (Oficina del Regante de Aragón, 2021).

$$NH_t = \frac{NH_n}{Eficiencia}$$

En la tabla adjunta a continuación se presentan las diferentes variables para realizar los cálculos así como las unidades correspondientes a cada una de ellas.

Tabla 8. Variables para el cálculo de las necesidades de agua de riego Fuente: Oficina del Regante de Aragón.

ET_o	Evapotranspiración de referencia, l/m ² .
K_c	Coeficiente de cultivo.
ET_c	Evapotranspiración de cultivo / Necesidades hídricas brutas, l/m ² .
PE	Precipitación efectiva, l/m ² .
NH_n	Necesidades hídricas netas, l/m ² .
NH_t	Necesidades de agua de riego, l/m ² .
<i>Eficiencia</i>	Eficiencia del sistema de riego (0-1).
<i>Factor de conversión</i>	1 l/m ² = 10 m ³ /ha

Los valores para realizar los cálculos que se muestran en la *Tabla 9* de ET_o y PE para el cultivo de césped han sido obtenidos del libro mencionado previamente, así como el K_c y la eficiencia del sistema de riego se han obtenido de la plataforma de la Oficina del Regante de Aragón.

Con esta serie de datos y las fórmulas mencionadas previamente, pueden calcularse las NH_t para cada uno de los meses del año, que se detallan en la *Tabla 9*. Para calcularlas hay que tener en cuenta el sistema de riego, en nuestro caso se trata de un sistema de aspersión, que tiene una eficiencia de 75-85 % (Oficina del Regante de Aragón, 2021) por lo que se ha considerado la media (80%) como valor de referencia.

5.2.2 Resultados

En este apartado se han calculado las necesidades hídricas teóricas del césped, mediante la serie de fórmulas mencionadas en el apartado anterior, además se comparan con los datos de las lecturas de contador, que son los datos reales de consumo de agua para riego. Los resultados obtenidos se muestran en la *Tabla 9*.

Tabla 9. Cálculo de las necesidades de agua de riego Fuente: Elaboración propia

	ET_0 (l/m ²)	K_c	ET_c (l/m ²)	PE (l/m ²)	NH_n (l/m ²)	NH_t (l/m ²)
Enero	16	0,8	12,8	43	0	0
Febrero	39	0,8	31,2	39	0	0
Marzo	78	0,8	62,4	38	24,4	29,28
Abril	106	0,8	84,8	56	28,8	34,56
Mayo	135	0,8	108	68	40	48
Junio	170	0,8	136	55	81	97,2
Julio	195	0,8	156	22	134	160,8
Agosto	164	0,8	131,2	42	89,2	107,04
Septiembre	124	0,8	99,2	48	51,2	61,44
Octubre	89	0,8	71,2	53	18,2	21,84
Noviembre	36	0,8	28,8	49	0	0
Diciembre	14	0,8	11,2	50	0	0

Se agrupan los resultados por trimestres para que la temporalidad de los resultados sea la misma en todo el presente documento y se obtiene lo siguiente:

Tabla 10. Necesidades hídricas trimestrales por superficie. Fuente: elaboración propia.

Enero- Marzo	Abril- Junio	Julio- Septiembre	Octubre- Diciembre
29,28 l/m ²	179,76 l /m ²	329,28 l/m ²	21,84l/m ²

Como se podía esperar las necesidades de riego son más elevadas en los meses de verano, debido a las altas temperaturas y bajas precipitaciones que hacen que el déficit hídrico sea mayor.

Posteriormente, se ha multiplicado los l/m² de agua requerida por trimestre reflejados en la *Tabla 10* por los 11.300 m² de exteriores de la escuela y se obtienen los valores de m³ de agua que se necesitarán teóricamente para cumplir con la demanda de agua de riego de todo el exterior de la escuela, que quedan reflejados en la *Tabla 11*.

Tabla 11. Agua de riego demandada por trimestre.

Enero- Marzo	Abril- Junio	Julio- Septiembre	Octubre- Diciembre
322,08 m³	1977,36 m ³	3622,08 m ³	240,24 m ³

La escuela, nos proporcionó datos de lecturas del contador situado en el exterior de la escuela de los años 2017-2019, que reflejan los m³ de agua que se destinaron a regar los exteriores en ese período.

Esos valores se han comparado con los calculados teóricamente, para ver si hay gran discordancia entre datos. Esto queda reflejado en la *Tabla 12*.

Tabla 12. N.H teóricas vs demanda de riego actual.

	Enero- Marzo	Abril- Junio	Julio- Septiembre	Octubre- Diciembre
N.H teóricas	322,08 m ³	1977,36 m ³	3622,08 m ³	240,24 m ³
Consumo agua riego	448 m ³	2032 m ³	4866 m ³	1236 m ³

Como podemos observar, el consumo de agua para riego de la escuela que queda reflejado en los contadores de esta es mayor que las necesidades hídricas teóricas en todos los trimestres. Esto puede ser interpretado como que se está utilizando más agua de la que en realidad es necesaria. También puede ser debido a que estos últimos años las precipitaciones hayan sido menores y por lo tanto la demanda de agua mayor, ya que los datos de N.H teóricas han sido calculados con medias históricas de años previos a los datos proporcionados por la escuela de las lecturas de contadores.

5.3 Destino del agua regenerada

5.3.1 Metodología

En este apartado se realiza una comparativa del agua residual generada por la escuela con el agua demandada por riego, para así poder establecer un destino a este agua y ver cuanto porcentaje del agua de demanda cubriríamos con la ERAR.

Se ha comparado el caudal de agua residual generada en la EPSH con:

- Las necesidades hídricas teóricas calculadas en el apartado 5.3.2.
- Las lecturas del contador “Exterior” que es el agua que se está destinando a riego en la escuela.

5.3.2 Resultados

1. Comparándolo con las N.H teóricas el porcentaje de agua de riego que cubriría el agua regenerada sería el siguiente:

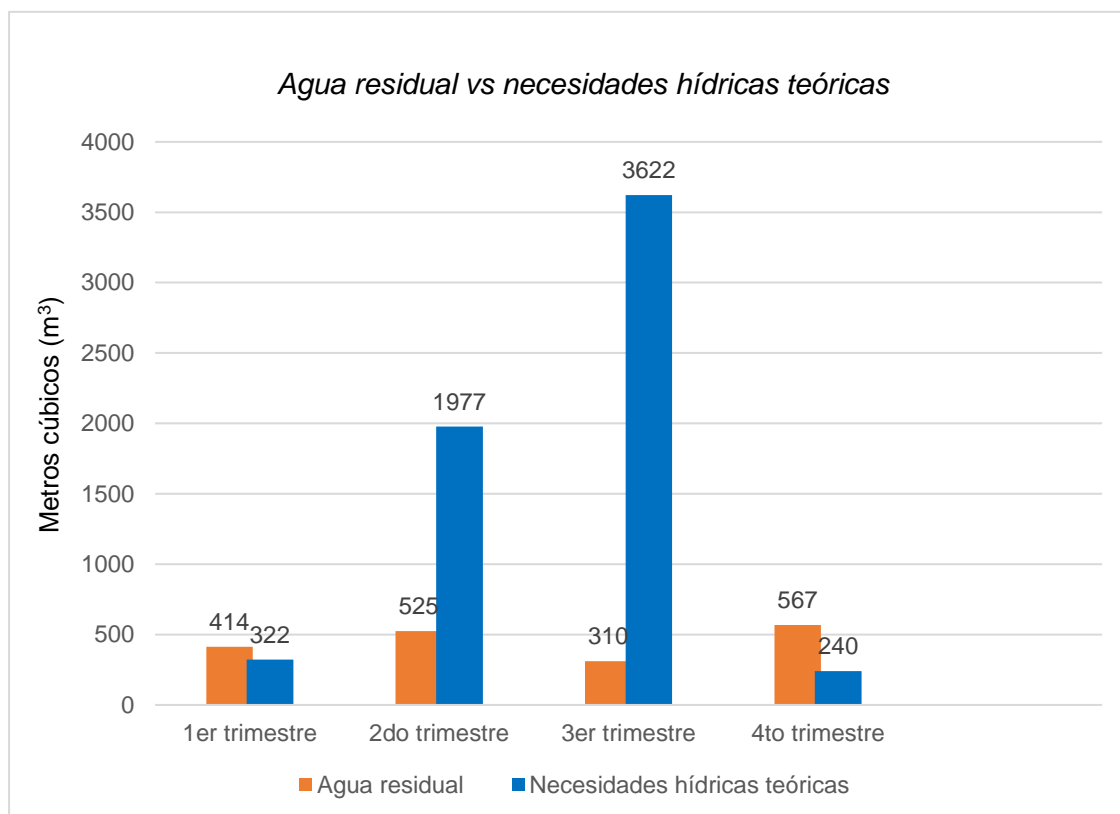


Figura 29. Agua residual generada vs necesidades hídricas teóricas. Fuente: elaboración propia.

Cómo puede apreciarse en la *Figura 29* la demanda que cubriríamos con el agua regenerada teniendo en cuenta como demanda de riego, el cálculo de las necesidades hídricas teóricas sería:

- En el primer trimestre (enero- marzo), cubriríamos un 100% de la demanda de agua.
- En el segundo trimestre (abril- junio) el porcentaje sería de un 26,55%.
- En el tercer trimestre (julio-septiembre) sólo cubriría un 8,6%, esto es debido a que, en verano, cuando mayor déficit hídrico hay y se requiere mayor aporte de agua de riego, menor es la afluencia en la escuela y en consecuencia es menor el agua residual generada.
- En el cuarto y último trimestre la demanda vuelve a ser cubierta en un 100 %.

Por lo que, tomando como referencia, las necesidades hídricas teóricas calculadas y si la tendencia de la escuela respecto a generación de agua depurada sigue igual que en 2017-2019, se podría cubrir el 100% de la demanda de agua de riego en 2/4 trimestres del año.

2. Tomando como referencia los valores anotados de las lecturas de los contadores en el período 2017-2019, se obtiene lo siguiente:

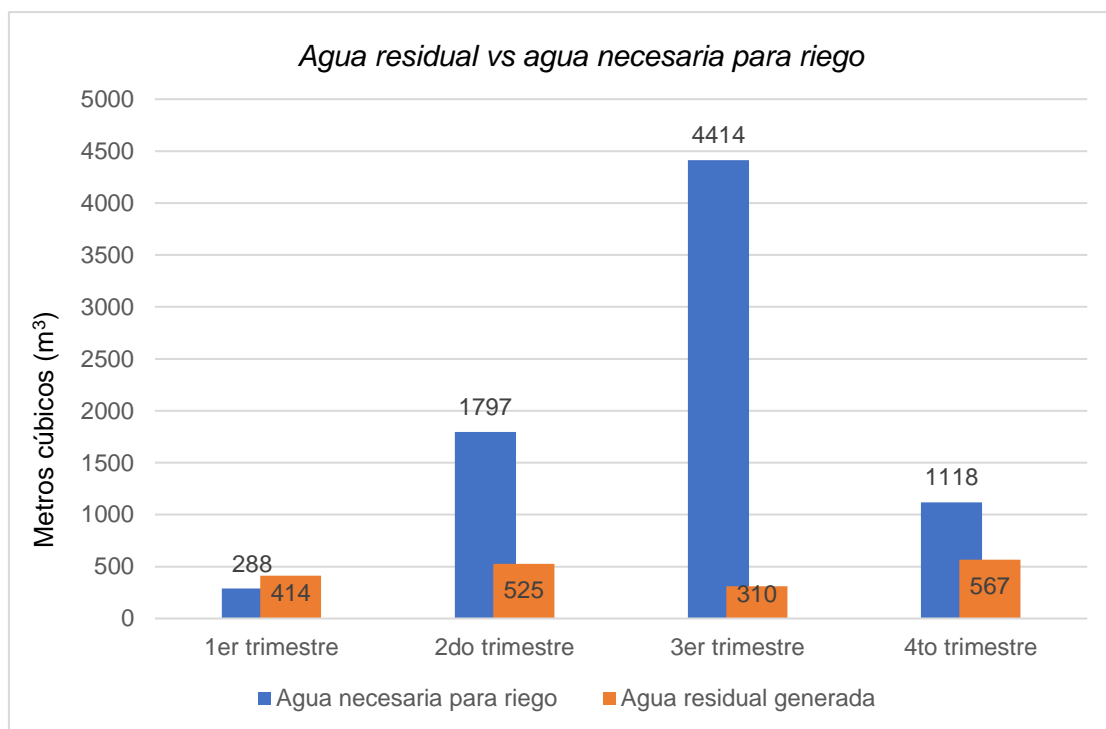


Figura 30. Agua residual vs agua necesaria para riego. Fuente: elaboración propia.

En este caso, como puede apreciarse en la *Figura 30* la demanda cubierta para cada uno de los trimestres sería la siguiente:

- En el primer trimestre (enero- marzo), cubriríamos un 92.4 % de la demanda de agua.
- En el segundo trimestre (abril- junio) el porcentaje sería de un 25,83%.
- En el tercer trimestre (julio-septiembre) sólo cubriría un 6,37 %.
- En el cuarto y último trimestre la demanda es de un 46 %.

Los porcentajes de demanda cubiertos en los 3 primeros trimestres son muy similares en los dos casos de estudio, en el cuarto trimestre hay cierta discordancia, estimando la mitad de porcentaje cubierto tomando como referencia los datos de agua de riego en la escuela.

De todas formas, en el caso de la implantación del sistema de regeneración de aguas, se ahorraría aproximadamente un total de 1816 m³ anuales.

Capítulo 6. Propuesta de tratamientos de regeneración

Para adecuar los parámetros del agua depurada a los establecidos por ley respecto a reutilización, es necesario realizar un tratamiento adicional. Como se ha estudiado en el *Capítulo 4 “Agua depurada en la EPSH”*, es necesario adecuar algunos parámetros a lo exigido en la legislación en materia de regeneración de aguas; estos son principalmente sólidos suspendidos, turbidez y *E.coli*.

En este apartado se va a proponer un tratamiento de regeneración en función a la calidad requerida y a los recursos disponibles.

6.1 Metodología

Para evaluar cuáles son los posibles tratamientos de regeneración a implantar, se ha realizado un estudio bibliográfico mediante el cual se han determinado los posibles tratamientos a aplicar tras la depuración del agua residual de la EPSH para conseguir la calidad del agua regenerada requerida para riego y se ha realizado un análisis de ventajas e inconvenientes.

6.2 Resultados y discusión

El fin del sistema de reutilización es mejorar las aguas depuradas para cumplir con los requisitos de calidad de aguas regeneradas. Para ello es preciso completar el equipo de tratamiento instalado en la escuela y así poder eliminar los microorganismos patógenos y reducir los niveles de turbidez a su vez que los sólidos suspendidos.

Los tratamientos de aguas suelen constar de un pretratamiento, donde se eliminan los sólidos gruesos y los materiales que puedan dañar el equipo durante el tratamiento, en nuestro caso la depuradora de la escuela cuenta con unas rejillas que eliminan los gruesos. Posteriormente un tratamiento primario donde mediante medios físicos o mecánicos se elimina la materia sedimentable, seguido de un tratamiento biológico cuyo objetivo principal del tratamiento biológico es la reducción de la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual y también la eliminación de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo. Los tratamientos biológicos necesitan un tratamiento posterior para poder reutilizar el agua (Osorio et al., 2010).

Cuando es necesario cumplir con unos niveles exigidos de calidad, en función al uso que queramos darle al agua regenerada, se realiza un tratamiento terciario o de afino, para eliminar la contaminación que pueda quedar del tratamiento secundario (sólidos suspendidos y turbidez), así como eliminar microorganismos patógenos (Metcalf (s.f)).

Como se ha mencionado, el objetivo es eliminar la turbidez y los sólidos suspendidos que no se hayan eliminado con el tratamiento de depuración y además eliminar los microorganismos patógenos mediante un tratamiento de desinfección. Por ello, se van a mencionar algunos de los posibles tratamientos a realizar en el agua residual de estudio.

Las tecnologías para la regeneración de agua residual más empleadas son las siguientes:

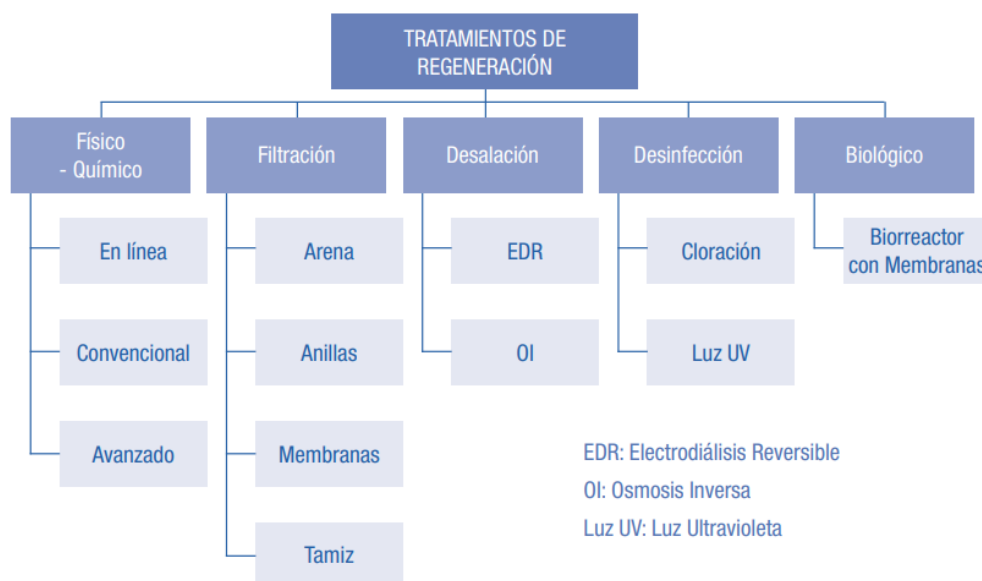


Figura 31. Tratamientos de regeneración más comunes. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

De todos estos tipos de procesos, nos vamos a centrar en los 2 procesos principales que lograrían la reducción de los parámetros necesarios en este estudio: filtración y desinfección, para así obtener la calidad que deseamos. Mediante la filtración podremos obtener un efluente totalmente clarificado ya que eliminaremos la materia sólida fina, que es la que causa la turbidez. A su vez, con la desinfección nos aseguraremos de que no quedan microorganismos patógenos.

Se han clasificado los posibles tratamientos en función del parámetro que queremos reducir:

6.3.1 Sólidos suspendidos y turbidez

Con el objetivo de reducir los sólidos suspendidos y a su vez la turbidez se proponen una serie de tratamientos que se detallan a continuación.

Filtración

Los principales métodos de filtración son los filtros de arena, los filtros de anillas y las membranas de filtración.

1. Filtros de arena o filtración rápida

Los filtros de arena son lechos o camas de material granular, o arena que purifican el agua. Son utilizados para filtración de aguas con una carga de sólidos media- baja (Lesikar, 2000). Los sólidos en suspensión son retenidos al paso del lecho, en su interior presentan un sistema de

bombeo que asegura que el afluente se reparta por todo el lecho. Los filtros de arena pueden ser de acceso libre o enterrados en el suelo. Una vez colmatado puede ser regenerado por lavado.

Ventajas

- Elevada capacidad de retención y separación de partículas
- Costes no muy elevados

Inconvenientes

- Necesidad de mantenimiento

2. Filtros de anillas

En este caso las anillas realizan la filtración reteniendo la materia no disuelta en el agua.

El agua bruta pasa a presión de un conjunto de anillas que se encuentran unas comprimidas contra otras formando un cilindro. En las ranuras que presentan las anillas es dónde quedan atrapados los sólidos.

Ventajas

- Muy resistentes
- Facilidad en el mantenimiento

Inconvenientes

- Rendimientos de retención de S.S bajos

3. Membranas

Se trata de una película fina que permite separar 2 fases y que actúa de barrera, es decir de filtro, dejando pasar unos componentes y reteniendo otros.

Según su naturaleza las membranas pueden clasificarse como orgánicas (polímeros) o inorgánicas (cerámicas) y también en función del tamaño del poro.

Según su funcionamiento y aplicación se pueden clasificar de la siguiente manera.

- Ósmosis Directa
- Ósmosis Inversa
- Microfiltración
- Ultrafiltración
- Nanofiltración

Ventajas

- Elevada eficiencia
- Trabajan de forma continua
- Requieren poco espacio

Inconvenientes

- Concentran el contaminante
- Elevados costes de mantenimiento y operación

6.3.2 *E.coli* y otros microorganismos patógenos

Desinfección

El objetivo es la eliminación de gérmenes patógenos que causan enfermedades. Además, sirve para reducir la D.B.O, y eliminar colores y olores.

Para elegir el desinfectante es importante conocer el tipo de organismo patógeno, así como las características del agua a desinfectar.

Las principales técnicas de desinfección en ERAR de pequeño tamaño son:

- Cloración
- Luz UV
- Ozono

1. Cloración

La cloración es el procedimiento más extendido en la desinfección de aguas. Destruye los microorganismos gracias a la acción germicida del cloro, además de eliminar sustancias que producen olor y sabor (Jhordan et al., 2020).

Los principales componentes a base de Cloro son:

- Cloro gas (Cl_2)
- Hipoclorito sódico (NaCl)
- Hipoclorito cálcico (ClO_2)
- Dióxido de cloro (ClO_2)

Los factores que influyen en la acción del cloro son: el pH del agua, la temperatura, el tipo de organismos, el tiempo de contacto, la forma química del mismo y la concentración. Las partículas que dan lugar a la turbidez pueden proteger a los microorganismos de la acción de desinfectantes, por ello es necesario una previa filtración.

Ventajas

- Simplicidad
- Coste reducido
- Muy eficiente en la reducción de bacterias
- Proporciona residuo persistente

Inconvenientes

- Uno de los problemas más importantes que plantea la cloración es la formación de subproductos de desinfección, como los trihalometanos (THMs), que son subproductos halogenados que se forman durante la desinfección del agua al reaccionar el cloro con la materia orgánica. Se ha relacionado la exposición prolongada a THM con el riesgo de padecer cáncer (Lahora et al., 2019).
- Riesgos de manipulación, fugas.

2. Radiación UV

La radiación ultravioleta es esa porción del espectro electromagnético que se encuentra entre los rayos X y la luz visible. Los ultravioletas eficaces en la desinfección se encuentran entre 200 nm y 400 nm.

La radiación UV desinfecta el agua sin la necesidad de almacenar o manejar reactivos químicos peligrosos. El efecto desinfectante de la radiación UV va asociado a la longitud de onda, produciendo daños en los ácidos nucleicos de los microorganismos (Osorio et al, 2011). Penetra en la membrana celular provocando inactivación en el desarrollo y actividad de la célula.

Ventajas (Porta, 2005).

- Sencillez
- Reducido tiempo de contacto
- No requiere productos químicos al tratarse de un proceso físico

Inconvenientes:

- Poca penetración, en el caso de las aguas residuales debido a la gran interferencia de los SS y turbidez.
- No hay acción residual.
- Elevados costos iniciales en la instalación, y costos operativos.
- Requiere gran mantenimiento.

3. El ozono

El ozono es uno de los desinfectantes más efectivos, debido al amplio espectro en el que es capaz de actuar.

Ventajas

- Muy eficaz.
- No produce subproductos clorados.
- Gran rapidez de actuación.
- Bajo costo de operación.

Inconvenientes

- No proporciona residuo persistente.
- Inversión de capital. Tecnología muy costosa, alto nivel de mantenimiento y capacitación de operadores.

Biorreactores de membrana

Además de la filtración y desinfección, otra opción son los biorreactores de membrana, MBRs, que realizan los dos tratamientos a la vez.

Es decir, combinan los procesos biológicos de degradación de materia orgánica, con un sistema físico de separación por membranas. El uso de membranas permite que prácticamente todos los microorganismos queden confinados dentro del sistema, facilitando el control de su tiempo de permanencia en el reactor y con el beneficio añadido de proporcionar un efluente libre de material particulado y, en algunos casos (dependiendo del tamaño de poro), de virus y patógenos (Giménez, 2014).

Ventajas

- Efluente de calidad, libre de SS.
- Capacidad de desinfección, sin productos químicos
- Se puede llegar a la eliminación total de coliformes (Poyatos, 2007).

Inconvenientes

- Elevados costes
- Dificil mantenimiento

6.3.3. Propuesta de tratamiento de regeneración de aguas en la EPSH

Tras estudiar los posibles tratamientos de generación más adecuados para la regeneración de aguas residuales, se procede a realizar una propuesta para la posible implantación de este sistema en la escuela.

Como se ha mencionado anteriormente la depuradora de la escuela ya cuenta con los siguientes tratamientos:

- Pretratamiento: mediante rejillas que separan los sólidos gruesos del efluente.
- Tratamiento primario: mediante una decantación de los sólidos sedimentables.

Además, la EDAR cuenta con un sistema de aireación en continuo y con un tanque de cloración en desuso.

En el *Decreto 1620/2007* se establecen 6 tipos de calidad en función a la calidad bacteriológica exigida.

En nuestro caso nos situamos en una calidad tipo B que es la que engloba:

- Servicios urbanos (1.2)
- Riego agrícola sin restricciones (2.1)
- Riego de campos de golf (4.1)

Según este tipo de “calidad B” la *Guía de aplicación del Decreto* recomienda el tratamiento tipo 2 (para aquellos usos que requieren un valor máximo admisible de *E. coli* inferior o igual a 200 UFC/100 mL pero que no requieren una eliminación total).

Este tratamiento propuesto por la guía del Ministerio constaría de un tratamiento físico- químico con decantación, una filtración, luz UV y desinfección., como se muestra en la *Figura 32*.

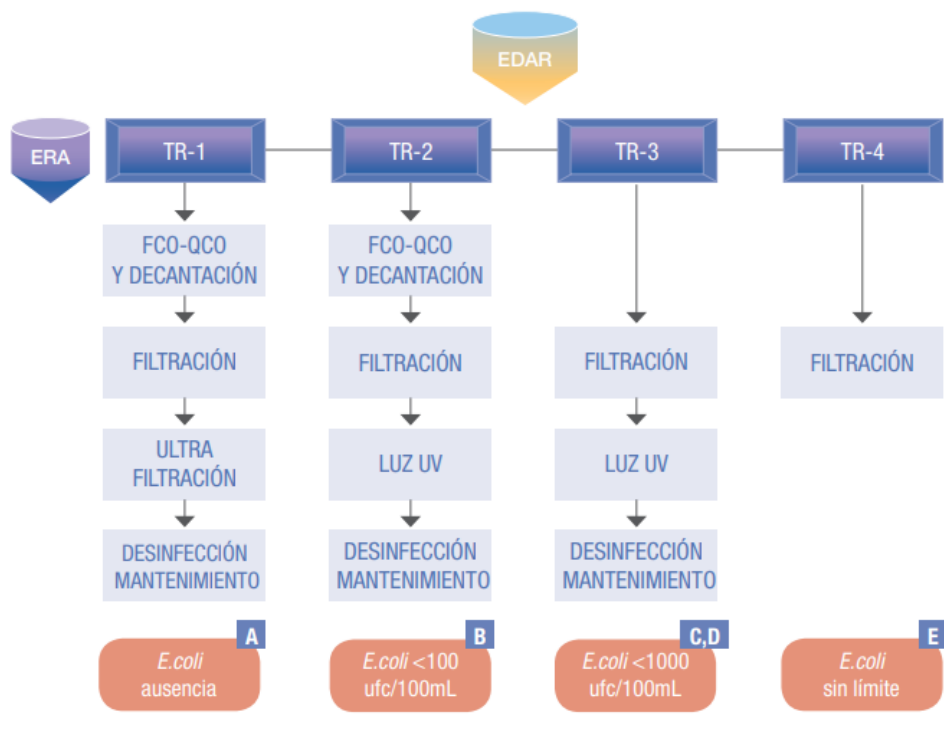


Figura 32. Tratamiento propuesto. Fuente: Guía RD 1620/2007.

El tratamiento propuesto por la guía del Ministerio es de carácter general, para cada caso en concreto, el tratamiento puede realizarse de forma distinta. Por ello y estudiando el caso de la EDAR de la escuela en profundidad se decide lo siguiente:

Debido a que el número de sólidos suspendidos a la salida de la EDAR no es muy elevado, no se considera necesario realizar un tratamiento de coagulación- floculación con posterior decantación secundaria, se considera que mediante la filtración se va a conseguir reducir este parámetro.

Por lo tanto, el tratamiento adicional seleccionado es una filtración con posterior desinfección con cloro. De esta manera se reducirán los sólidos suspendidos y por lo tanto la turbidez y los gérmenes patógenos.

La filtración sería el tratamiento previo a la desinfección y se realizaría mediante un filtro de arena, debido a su fácil mantenimiento y sus bajos costes, así como a la gran eficacia que presenta. Se considera importante que la arena no sobrepase el mm de diámetro ya que hay grandes diferencias respecto a las prestaciones de los filtros al variar los mm de la arena (Ortega et al, 2010)). También es necesario diseñar adecuadamente el sistema de limpieza del filtro para asegurarnos del correcto funcionamiento.

- Los filtros de anillas se descartan ya que presentan rendimientos de eliminación de S.S bajos. (Ortega et al, 2010).
- Las membranas también se descartan debido a que estas están más orientadas al tratamiento de aguas en grandes ERAR. Además son sensibles a variaciones bruscas de S.S

y turbidez y su eficiencia disminuye con la presencia de sólidos suspendidos $> 25 \text{ mg/l}$. Por lo tanto, no se considera que sea el tratamiento óptimo para una posible ERAR en la escuela.

- Los MBRs, a pesar de su elevada eficacia, el coste es elevado y el mantenimiento de gran dificultad, por lo que no se cree que sea la opción más factible para la escuela.

Respecto a la desinfección, debido a que la escuela tiene un tanque apto para cloración se considera que puede ser usado en la posible futura ERAR. Actualmente, la ubicación del tanque no es la adecuada, debido a que se encuentra al principio del tratamiento de la EDAR y esto causa que los microorganismos aerobios que actualmente realizan todo el proceso de eliminación de la M.O no sobrevivan y por lo tanto, el tratamiento de depuración no se efectúa. Sin embargo, si este tanque es colocado al final del proceso, se puede utilizar para el tratamiento final de desinfección.

Durante este tratamiento hay que asegurarse de cumplir un percentil 90 en *E.coli*. (B.O.E, 2017).

Para ello los tratamientos a seguir pueden ser los siguientes:

- Combinación de luz UV con posterior dosificación de hipoclorito sódico. De esta manera se amplía el espectro microbiológico y se consigue un mejor control de la desinfección.
- Para ERAR pequeñas donde instalar lámparas de UV es más complicado se puede optar directamente a la cloración. Además, esta opción es mucho más económica.

Por lo tanto, se opta por la cloración como tratamiento de desinfección.

La ERAR se instalaría seguida de la actual EDAR y se tendrían que realizar controles rutinarios, establecidos en el RD 1620/2007 de la presencia de patógenos y otros parámetros para así asegurarnos que no se está utilizando agua no apta para riego. Además, para poder aprovechar el agua generada habría que almacenarla por lo que se propone la instalación de un depósito.

En la *Figura 33* se muestra el ciclo propuesto para la escuela.

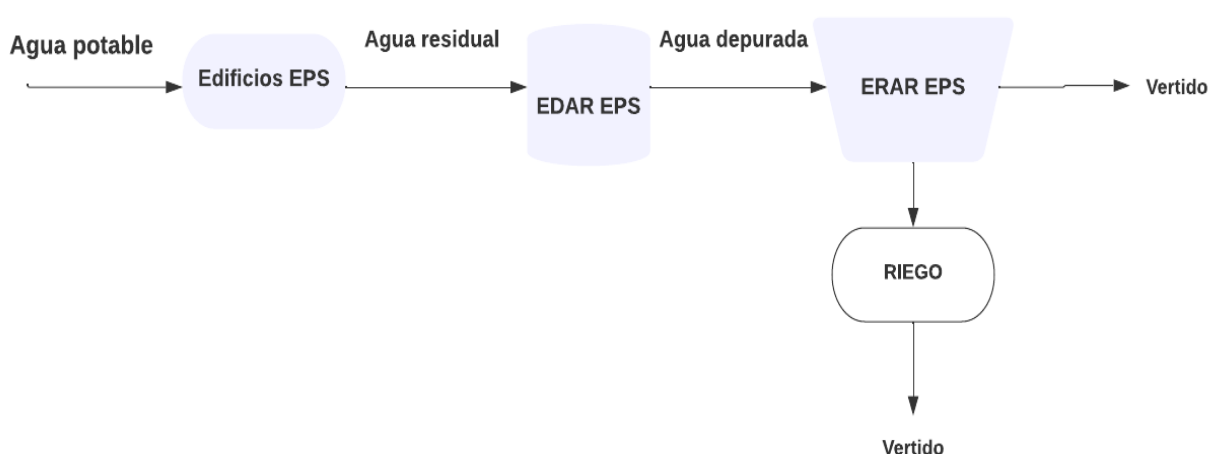


Figura 33. Ciclo propuesto en la EPS. Fuente: elaboración propia

Capítulo 7. Conclusiones

En base al estudio realizado y los resultados obtenidos se puede concluir lo siguiente:

Respecto al sistema de depuración de la escuela:

- Tras las consecutivas visitas a la depuradora de la escuela se pudo observar como el funcionamiento no es óptimo ya que en varios casos no había movimiento de agua en la misma. La depuradora cuenta con una boya que es la que regula el nivel del agua, cuando llega a el nivel establecido el agua empieza a moverse. Se propone optimizar el nivel de esta boya para que coincida con la entrada de aire a la depuradora. Se pudo observar como el mecanismo de aireación estaba en continuo funcionamiento mientras el agua aún no había alcanzado el nivel.

Realizando los muestreos también se observó como el tanque de sedimentación estaba colmatado, lo que puede reducir la eficiencia de la depuración, por lo que se propone realizar vaciados del tanque temporalmente.

- La mayor parte de los análisis en laboratorio dieron valores de los diferentes parámetros más elevados que los exigidos por el RD 1620/2007 por lo que el agua depurada de la EPS no es apta para ser reutilizada sin tratamiento adicional.
- En el muestreo del 16 de diciembre se obtuvo unos valores de DQO muy elevados, esto puede ser debido al incorrecto funcionamiento del sistema de aireación que hace que los microorganismos aerobios no realicen su función de manera óptima.
- Comparando los resultados de los muestreos se pudo ver que los valores en la mayoría de los parámetros son constantes y presentan unos valores menores que los del agua residual doméstica, lo que pude afirmar que la depuradora cumple su función en gran parte.

Respecto al consumo de agua y al caudal de agua residual los caudales de agua:

- Los caudales de agua residual generada en la escuela son constantes en el periodo 2017-2019. Presentan gran linealidad temporal exceptuando el periodo estival donde se ven reducidos debido a la menor presencia de usuarios en la escuela.
- Sin embargo, los datos de caudal de agua de riego presentan discordancias en diferentes años, y comparándolas con las obtenidas teóricamente, esto puede ser debido a la posible avería de los contadores o bien a las diferentes necesidades hídricas de cada año.
- El mayor consumo viene dado por el riego, seguido del edificio Tozal de Guara.
- Las necesidades hídricas cumplen con el patrón esperado. Son menores durante el otoño e invierno y hay mucha más demanda de agua en verano y primavera, coincidiendo con las altas temperaturas y bajas precipitaciones.

- Hay una discordancia entre el caudal de agua residual aportado con la demanda de agua de riego. Los meses que más agua se demanda, son los meses de menor afluencia en la escuela.

Respecto al sistema de regeneración:

- Con la implantación del sistema de regeneración se podría cubrir un 90% de la demanda en algunos meses. Sin embargo, en el trimestre que coincide con la temporada de verano cubriríamos aproximadamente un 6% por lo que la cantidad de agua regenerada sería insuficiente con respecto a la demanda de riego.
- El sistema de regeneración debe consistir en tratamientos enfocados a reducir SS, turbidez y E.coli para cumplir con la legislación vigente de reutilización de aguas para riego.
- Sería necesario instalar un sistema de filtración para la reducción de SS y turbidez, preferentemente un filtro de arena por su fácil instalación y mantenimiento además de su precio.
- A continuación, sería necesario instalar un sistema de desinfección. Se cree que una cloración sería el tratamiento más adecuado por su facilidad en la instalación y sus reducidos costes en instalación y mantenimiento, así como por aprovechamiento del tanque de cloración de la escuela.
- Habría que instalar un depósito para almacenar el agua generada en la escuela.
- Habría que prestar especial atención o utilizar agua de red en los huertos ecológicos y otros cultivos de la escuela que puedan estar destinados a consumo humano, ya que los límites establecidos por legislación son diferentes para este uso y podría implicar un riesgo sanitario.

Este estudio siembra la base sobre la posible implantación de un sistema de regeneración de aguas en la EPS, indicando los problemas existentes en el sistema de depuración de aguas actual y las necesidades para poder regenerar el agua con el objetivo de usarla en el riego de instalaciones propias. Dada la gestión actual del ciclo del agua y la existencia de una balsa que recoge tanto las aguas depuradas de la EPS como del I.E.S. Pirámide, resultaría de interés analizar las características del agua conjunta y proponer un sistema de regeneración adecuado para reutilizar las aguas tanto en la EPS como en el IES Pirámide.

Capítulo 7. Bibliografía

- A. D. Eaton, L. S. Clesceri, E. W. Rice, A. E. Greenberg and M. A. H. Franson, "Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater," 21st Edition, American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) & Water Environment Federation (WEF), Washington, 2005.
- Carballeira, T., Cagiao, J., & Soto, M. (2011). Evaluación de recursos hídricos y tratamiento de aguas residuales en el Campus de la Universidad de A Coruña. *Revista Internacional de Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo*, 6, 79-100.
- Directiva 91/271/CEE, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas, define los sistemas de recogida, tratamiento y vertido de las aguas residuales urbanas.
- Directiva 2000/60/CE de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. DOCE L 327 de 22-12-2000.
- Faci, J.M., Martínez-Cob, A., (1991). Necesidades de agua de riego de los cultivos en Aragón. *Surcos de Aragón*, 27, 13-23.
- Fernández, M. (2015). Propuesta de implantación de un sistema de regeneración de aguas en la Escuela Politécnica Superior de Huesca. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de Zaragoza.
- Giménez, J.B. (2014). Estudio del tratamiento anaerobio de aguas residuales urbanas en biorreactores de membranas. Tesis doctoral. Universidad de Valencia.
- Gómez, E. (2011) Control analítico de los parámetros de una EDAR. Trabajo fin de grado. Universidad de Zaragoza.
- Instituto Aragonés de Estadística. (2018). *Estadística sobre el suministro y saneamiento del agua. Año 2018*.
https://www.aragon.es/documents/20127/1909615/20201125_Comunicado_Agua_2018.pdf/9282e44c-0073-9d66-f421-8480146db708?t=1606312819330

- Jhordan, L., & Pompeyo, F. (2020). Radiación ultravioleta-c para desinfección bacteriana (coliformes totales y termotolerantes) en el tratamiento de agua potable. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 22(1), 68–77.
<https://doi.org/10.18271/ria.2020.537>
- Lahora, A., Ayuso, L., & Martínez, S. (2019). Subproductos de la desinfección de aguas residuales con hipoclorito: cloratos y trihalometanos. *Tecnoagua*, 35.
- Lanao, M. (2012). *Investigación de la inactivación de Clostridium perfringens y Enterococcus sp. en aguas mediante procesos convencionales y avanzados de oxidación*. Tesis doctoral. Universidad de Zaragoza.
- Lesikar, B., & Enciso, J. (2000). Sistemas individuales para el tratamiento de aguas negras Filtro de arena. *Agricultural Engineering*.
- Martínez-Cob, A., Bercero, A., & Faci, J. M. (1998). *Evapotranspiración y necesidades de riego de los principales cultivos en las comarcas de Aragón*. Diputación de Zaragoza, Institución «Fernando el Católico».
- Melgarejo, J. (2009). Efectos ambientales y económicos de la reutilización del agua en España. *Revista Económica de Castilla-La Mancha*, 15.
- Metcalf & Eddy. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales* (3.^a ed., Vol. 1). McGraw-Hill.
- Ministerio del Medio Ambiente, Medio Rural y Marino. (2010). Guía para la aplicación del R.D 1620/2007 por el que se establece el Régimen Jurídico de la Reutilización de las Aguas Depuradas.
https://www.miteco.gob.es/es/agua/publicaciones/GUIA%20RD%201620_2007__tcm30-213764.pdf
- Norma UNE-ISO 5667-5:2021 “Calidad del agua . Muestreo Parte 5: Orientación para el muestreo de agua potable procedente de instalaciones de tratamiento y redes canalizadas de distribución.”

Norma UNE-ISO 9308-1:2014/A1:2017 “Calidad del agua. Recuento de *Escherichia coli* y de bacterias coliformes. Parte 1: Método de filtración por membrana para aguas con bajo contenido de microbiota”.

Norma UNE-EN ISO 7899-2:2001: “Calidad del agua. Detección y recuento de enterococos intestinales. Parte 2: método de filtración de membrana”.

Gobierno de Aragón. (2022). Cálculo de las necesidades hídricas de los cultivos. Oficina del Regante.<https://aplicaciones.aragon.es/oresa/necesidadHidrica.inicioPublico.do?javascrypt=true&sm=5&cpath=S>

Organización de las Naciones Unidas. (2019). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible*. ONU.<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>.

Ortega, E., Ferrer, Y., Salas, J.J., Aragón, C., Real, A. (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino).(2010). Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones.<https://www.aragon.es/documents/20127/24009052/Manual+CEDEX2.pdf/32188fba-b20f-ecac-fb01-49a15e0e3cd9?t=1578648844927>

Osorio, F., Torres, J. C., & Sanchez, Mercedes. (2010). *Tratamiento de aguas para la eliminación de microorganismos y agentes contaminantes*. Ediciones Diaz de Santos.

Porta, A. (2005). *Regeneración y reutilización de aguas residuales depuradas*. Trabajo Fin de Grado. Universidad Politécnica de Cataluña.
<https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/5209>

Poyatos, J.M. (2007). Biorreactores de membrana aplicados al tratamiento de aguas residuales urbanas y su influencia en la calidad del agua tratada. Tesis doctoral. Universidad de Granada.

Real Decreto Legislativo 1/2001 de 20 de Julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas. BOE nº 176 de 24 de julio de 2001.

RD 1620/2007de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. BOE 294 de 8 de diciembre de 2007.

Reglamento (UE) 2020/741 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de mayo de 2020, relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua. DOUE. nº 177, de 5 de junio de 2020.

Rexachs J.A. (2006). *Eficiencia y tecnologías de oxidación avanzada como métodos de desinfección complementarios de un sistema de depuración natural, y aprovechamiento de subproductos*. Tesis doctoral. Universidad de las Palmas de Gran Canaria.

Reyero, J. (2010). *Regeneración, Reuso Y Reutilización de Aguas Residuales*. Rosalibros.

Soto, M. (2018). *Reutilización de aguas depuradas para riego*. Iagua. <https://www.iagua.es/blogs/mariano-soto-garcia/reutilizacion-aguas-depuradas-riego>.

Tortora G.J., Funke B.R., Case C.L (9). (2007). *Introducción a la microbiología*. Ed. Médica Paramericana.

Trapote Forné, M. C., & Martínez López, B. (2012). *Regeneración y reutilización de las aguas residuales. Técnica Industrial (Madrid)*, 298.

Universidad de Barcelona. (31 de enero de 2019). La UB inaugura una planta piloto de tratamiento ecológico de aguas residuales en Senegal. https://www.ub.edu/web/ub/es/menu_eines/noticies/2019/01/040.html

ANEXO I. DATOS DESGLOSADOS AGUA DE RIEGO

En la Tabla A.1 se muestran los resultados de la lectura diaria de contadores en el año 2017, los resultados se expresan en metros cúbicos (m³).

Tabla A.1 Datos diarios agua de riego 2017. Fuente: EPSH

ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO	
01/01/2017		01/02/2017	50733	01/03/2017	50785	01/04/2017		01/05/2017		01/06/2017	51994
02/01/2017		02/02/2017	50734	02/03/2017	50786	02/04/2017		02/05/2017	51115	02/06/2017	52089
03/01/2017	50691	03/02/2017	50734	03/03/2017	50796	03/04/2017	50931	03/05/2017	51119	03/06/2017	
04/01/2017	50692	04/02/2017		04/03/2017		04/04/2017	50931	04/05/2017	51121	04/06/2017	
05/01/2017	50692	05/02/2017		05/03/2017		05/04/2017	50936	05/05/2017	51130	05/06/2017	52402
06/01/2017		06/02/2017	50735	06/03/2017	50810	06/04/2017	50943	06/05/2017		06/06/2017	52500
07/01/2017		07/02/2017	50735	07/03/2017	50812	07/04/2017		07/05/2017		07/06/2017	52601
08/01/2017		08/02/2017	50736	08/03/2017	50813	08/04/2017		08/05/2017	51171	08/06/2017	52700
09/01/2017	50694	09/02/2017	50737	09/03/2017	50815	09/04/2017		09/05/2017	51178	09/06/2017	52716
10/01/2017	50696	10/02/2017	50740	10/03/2017	50825	10/04/2017		10/05/2017	51182	10/06/2017	
11/01/2017	50705	11/02/2017		11/03/2017		11/04/2017		11/05/2017	51201	11/06/2017	
12/01/2017	50706	12/02/2017		12/03/2017		12/04/2017		12/05/2017	51208	12/06/2017	52751
13/01/2017	50707	13/02/2017	50749	13/03/2017	50834	13/04/2017		13/05/2017		13/06/2017	52784
14/01/2017		14/02/2017	50750	14/03/2017	50842	14/04/2017		14/05/2017		14/06/2017	52809
15/01/2017		15/02/2017	50750	15/03/2017	50845	15/04/2017		15/05/2017	51232	15/06/2017	52836
16/01/2017	50709	16/02/2017	50751	16/03/2017	50847	16/04/2017		16/05/2017	51260	16/06/2017	52859
17/01/2017	50710	17/02/2017	50753	17/03/2017	50852	17/04/2017		17/05/2017	51262	17/06/2017	
18/01/2017	50711	18/02/2017		18/03/2017		18/04/2017	51007	18/05/2017	51265	18/06/2017	
19/01/2017	50712	19/02/2017		19/03/2017		19/04/2017	51015	19/05/2017	51267	19/06/2017	52928
20/01/2017	50713	20/02/2017	50760	20/03/2017	50878	20/04/2017	51026	20/05/2017		20/06/2017	52977
21/01/2017		21/02/2017	50762	21/03/2017	50883	21/04/2017	51040	21/05/2017		21/06/2017	52989
22/01/2017		22/02/2017	50763	22/03/2017	50887	22/04/2017		22/05/2017	51296	22/06/2017	53052
23/01/2017		23/02/2017	50764	23/03/2017	50891	23/04/2017		23/05/2017	51298	23/06/2017	53101
24/01/2017	50719	24/02/2017	50769	24/03/2017	50896	24/04/2017		24/05/2017	51302	24/06/2017	
25/01/2017	50720	25/02/2017		25/03/2017		25/04/2017	51065	25/05/2017	51311	25/06/2017	
26/01/2017	50721	26/02/2017		26/03/2017		26/04/2017	51077	26/05/2017	51326	26/06/2017	53165
27/01/2017	50723	27/02/2017	50777	27/03/2017	50904	27/04/2017	51084	27/05/2017		27/06/2017	53180
28/01/2017		28/02/2017	50780	28/03/2017	50908	28/04/2017	51092	28/05/2017		28/06/2017	53194
29/01/2017				29/03/2017	50909	29/04/2017		29/05/2017	51670	29/06/2017	53232
30/01/2017	50731			30/03/2017	50910	30/04/2017		30/05/2017	51774	30/06/2017	53236
31/01/2017	50732			31/03/2017	50913			31/05/2017	51884		

Tabla A.1. Datos diarios agua de riego 2017. Fuente: EPSH (continuación)

JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE	
01/07/2017		01/08/2017		01/09/2017	56815	01/10/2017		01/11/2017		01/12/2017	59744
02/07/2017		02/08/2017		02/09/2017		02/10/2017	58654	02/11/2017	59321	02/12/2017	
03/07/2017	53295	03/08/2017		03/09/2017		03/10/2017	58682	03/11/2017	59340	03/12/2017	
04/07/2017	53335	04/08/2017		04/09/2017	57061	04/10/2017	58710	04/11/2017		04/12/2017	59746
05/07/2017	53354	05/08/2017		05/09/2017	57151	05/10/2017	58728	05/11/2017		05/12/2017	59749
06/07/2017	53389	06/08/2017		06/09/2017	57238	06/10/2017	58750	06/11/2017	59411	06/12/2017	
07/07/2017	53392	07/08/2017		07/09/2017	57314	07/10/2017		07/11/2017	59428	07/12/2017	59765
08/07/2017		08/08/2017		08/09/2017	57402	08/10/2017		08/11/2017	59444	08/12/2017	
09/07/2017		09/08/2017		09/09/2017		09/10/2017	58846	09/11/2017	59460	09/12/2017	
10/07/2017	53474	10/08/2017		10/09/2017		10/10/2017	58874	10/11/2017	59476	10/12/2017	
11/07/2017	53498	11/08/2017		11/09/2017	57655	11/10/2017	58901	11/11/2017		11/12/2017	59765
12/07/2017	53552	12/08/2017		12/09/2017	57720	12/10/2017		12/11/2017		12/12/2017	59766
13/07/2017	53571	13/08/2017		13/09/2017	57802	13/10/2017	58948	13/11/2017		13/12/2017	59767
14/07/2017	53607	14/08/2017		14/09/2017	57890	14/10/2017		14/11/2017		14/12/2017	59768
15/07/2017		15/08/2017		15/09/2017	57956	15/10/2017		15/11/2017		15/12/2017	59769
16/07/2017		16/08/2017	55426	16/09/2017		16/10/2017	59030	16/11/2017		16/12/2017	
17/07/2017	53678	17/08/2017	55575	17/09/2017		17/10/2017	59056	17/11/2017		17/12/2017	
18/07/2017	53727	18/08/2017	55655	18/09/2017	58038	18/10/2017	59072	18/11/2017		18/12/2017	59770
19/07/2017	53771	19/08/2017		19/09/2017	58077	19/10/2017	59087	19/11/2017		19/12/2017	59771
20/07/2017	53834	20/08/2017		20/09/2017	58099	20/10/2017	59106	20/11/2017	59643	20/12/2017	59772
21/07/2017	53858	21/08/2017	55903	21/09/2017	58138	21/10/2017		21/11/2017	59659	21/12/2017	59774
22/07/2017		22/08/2017	55999	22/09/2017	58217	22/10/2017		22/11/2017	59672	22/12/2017	59777
23/07/2017	53959	23/08/2017	56107	23/09/2017		23/10/2017	59153	23/11/2017	59691	23/12/2017	
24/07/2017	53987	24/08/2017	56193	24/09/2017		24/10/2017	59171	24/11/2017	59721	24/12/2017	
25/07/2017	54011	25/08/2017	56265	25/09/2017	58330	25/10/2017	59186	25/11/2017		25/12/2017	
26/07/2017	54017	26/08/2017		26/09/2017	58391	26/10/2017	59205	26/11/2017		26/12/2017	
27/07/2017	54050	27/08/2017		27/09/2017	58467	27/10/2017	59228	27/11/2017	59727	27/12/2017	
28/07/2017		28/08/2017	56507	28/09/2017	58503	28/10/2017		28/11/2017	59739	28/12/2017	
29/07/2017		29/08/2017	56590	29/09/2017	58549	29/10/2017		29/11/2017	59740	29/12/2017	
30/07/2017		30/08/2017	56670	30/09/2017		30/10/2017	59276	30/11/2017	59743	30/12/2017	
31/07/2017		31/08/2017	56744			31/10/2017	59292			31/12/2017	

En la Tabla A.2 se muestran los resultados de la lectura diaria de contadores en el año 2018, los resultados se expresan en metros cúbicos (m³).

Tabla A.2 Datos diarios agua de riego 2018. Fuente: EPSH

ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO	
01/01/2018		01/02/2018	59837	01/03/2018	59884	01/04/2018		01/05/2017		01/06/2018	60268
02/01/2018	59796	02/02/2018	59839	02/03/2018	59884	02/04/2018		02/05/2017	60096	02/06/2018	
03/01/2018	59796	03/02/2018		03/03/2018		03/04/2018		03/05/2017	60103	03/06/2018	
04/01/2018	59797	04/02/2018		04/03/2018		04/04/2018		04/05/2017	60108	04/06/2018	60300
05/01/2018	59797	05/02/2018	59844	05/03/2018	59895	05/04/2018	59990	05/05/2017		05/06/2018	60321
06/01/2018		06/02/2018	59845	06/03/2018	59898	06/04/2018	59991	06/05/2017		06/06/2018	60338
07/01/2018		07/02/2018	59845	07/03/2018	59902	07/04/2018		07/05/2017	60130	07/06/2018	60361
08/01/2018	59797	08/02/2018	59846	08/03/2018	59903	08/04/2018		08/05/2017	60133	08/06/2018	60384
09/01/2018	59798	09/02/2018	59846	09/03/2018	59904	09/04/2018	60003	09/05/2017	60143	09/06/2018	
10/01/2018	59812	10/02/2018		10/03/2018		10/04/2018	60003	10/05/2017	60145	10/06/2018	
11/01/2018	59813	11/02/2018		11/03/2018		11/04/2018	60004	11/05/2017	60156	11/06/2018	60417
12/01/2018	59813	12/02/2018	59851	12/03/2018	59917	12/04/2018	60004	12/05/2017		12/06/2018	60439
13/01/2018		13/02/2018	59855	13/03/2018	59918	13/04/2018	60005	13/05/2017		13/06/2018	60447
14/01/2018		14/02/2018	59856	14/03/2018	59918	14/04/2018		14/05/2017	60174	14/06/2018	60484
15/01/2018	59814	15/02/2018	59859	15/03/2018	59918	15/04/2018		15/05/2017	60185	15/06/2018	60514
16/01/2018	59814	16/02/2018	59865	16/03/2018	59920	16/04/2018	60017	16/05/2017	60191	16/06/2018	
17/01/2018	59815	17/02/2018		17/03/2018		17/04/2018	60017	17/05/2017	60194	17/06/2018	
18/01/2018	59815	18/02/2018		18/03/2018		18/04/2018	60021	18/05/2017	60200	18/06/2018	60565
19/01/2018	59816	19/02/2018	59867	19/03/2018	59930	19/04/2018	60028	19/05/2017		19/06/2018	60594
20/01/2018		20/02/2018	59868	20/03/2018	59932	20/04/2018	60034	20/05/2017		20/06/2018	60615
21/01/2018		21/02/2018	59868	21/03/2018	59932	21/04/2018		21/05/2017	60225	21/06/2018	60665
22/01/2018		22/02/2018	59869	22/03/2018	59933	22/04/2018		22/05/2017	60232	22/06/2018	60685
23/01/2018	59824	23/02/2018	59869	23/03/2018	59934	23/04/2018		23/05/2017	60233	23/06/2018	
24/01/2018	59824	24/02/2018		24/03/2018		24/04/2018	60052	24/05/2017	60238	24/06/2018	
25/01/2018	59825	25/02/2018		25/03/2018		25/04/2018	60057	25/05/2017	60244	25/06/2018	61014
26/01/2018	59825	26/02/2018	59882	26/03/2018	59952	26/04/2018	60063	26/05/2017		26/06/2018	61091
27/01/2018		27/02/2018	59882	27/03/2018	59954	27/04/2018	60073	27/05/2017		27/06/2018	61130
28/01/2018		28/02/2018	59884	28/03/2018		28/04/2018		28/05/2017	60263	28/06/2018	61162
29/01/2018	59835			29/03/2018		29/04/2018		29/05/2017	60264	29/06/2018	61187
30/01/2018	59836			30/03/2018		30/04/2018	60094	30/05/2017	60264	30/06/2018	
31/01/2018	59837			31/03/2018				31/05/2017	60265		

Tabla A.2 Datos diarios agua de riego 2018. Fuente: EPSH (continuación)

JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE	
01/07/2018		01/08/2018		01/09/2018		01/10/2018	67780	01/11/2018		01/12/2018	
02/07/2018	61247	02/08/2018		02/09/2018		02/10/2018	67933	02/11/2018	69321	02/12/2018	
03/07/2018	61276	03/08/2018		03/09/2018	66513	03/10/2018	68077	03/11/2018	69340	03/12/2018	70164
04/07/2018	61299	04/08/2018		04/09/2018	66549	04/10/2018	68134	04/11/2018		04/12/2018	70180
05/07/2018	61319	05/08/2018		05/09/2018	66625	05/10/2018	68177	05/11/2018	69325	05/12/2018	70198
06/07/2018	61335	06/08/2018		06/09/2018	66634	06/10/2018		06/11/2018	69650	06/12/2018	
07/07/2018		07/08/2018		07/09/2018	66648	07/10/2018		07/11/2018	69700	07/12/2018	70200
08/07/2018		08/08/2018		08/09/2018		08/10/2018	68328	08/11/2018	69737	08/12/2018	
09/07/2018	61468	09/08/2018		09/09/2018		09/10/2018	68388	09/11/2018	69758	09/12/2018	
10/07/2018	61505	10/08/2018		10/09/2018	66701	10/10/2018	68443	10/11/2018		10/12/2018	70208
11/07/2018	61551	11/08/2018		11/09/2018	66722	11/10/2018	68481	11/11/2018		11/12/2018	70212
12/07/2018	61592	12/08/2018		12/09/2018	66751	12/10/2018		12/11/2018	69811	12/12/2018	70213
13/07/2018	61635	13/08/2018		13/09/2018	66782	13/10/2018		13/11/2018	69828	13/12/2018	70214
14/07/2018		14/08/2018		14/09/2018	66806	14/10/2018		14/11/2018	69846	14/12/2018	70216
15/07/2018		15/08/2018		15/09/2018		15/10/2018	68645	15/11/2018	69851	15/12/2018	
16/07/2018	61791	16/08/2018	65248	16/09/2018		16/10/2018	68695	16/11/2018		16/12/2018	
17/07/2018	61853	17/08/2018	65339	17/09/2018	66908	17/10/2018	68745	17/11/2018		17/12/2018	70223
18/07/2018	61903	18/08/2018		18/09/2018	66976	18/10/2018	68781	18/11/2018		18/12/2018	70224
19/07/2018	62037	19/08/2018		19/09/2018	67050	19/10/2018	68830	19/11/2018	69902	19/12/2018	70225
20/07/2018	62114	20/08/2018	65568	20/09/2018	67096	20/10/2018		20/11/2018	69954	20/12/2018	70226
21/07/2018		21/08/2018	65662	21/09/2018	67145	21/10/2018		21/11/2018	69975	21/12/2018	70227
22/07/2018		22/08/2018	65765	22/09/2018		22/10/2018	68977	22/11/2018	69979	22/12/2018	
23/07/2018	62413	23/08/2018	65843	23/09/2018		23/10/2018	69027	23/11/2018	70003	23/12/2018	
24/07/2018	62478	24/08/2018	65927	24/09/2018	67525	24/10/2018	69074	24/11/2018		24/12/2018	
25/07/2018	62567	25/08/2018		25/09/2018	67588	25/10/2018	69110	25/11/2018		25/12/2018	
26/07/2018	62661	26/08/2018		26/09/2018	67639	26/10/2018	69158	26/11/2018	70057	26/12/2018	
27/07/2018		27/08/2018	66187	27/09/2018	67679	27/10/2018		27/11/2018	70075	27/12/2018	
28/07/2018		28/08/2018	66272	28/09/2018	67723	28/10/2018		28/11/2018	70094	28/12/2018	
29/07/2018		29/08/2018	66316	29/09/2018		29/10/2018		29/11/2018	70096	29/12/2018	
30/07/2018		30/08/2018	66331	30/09/2018		30/10/2018		30/11/2018	70112	30/12/2018	
31/07/2018		31/08/2018	66375			31/10/2018				31/12/2018	

En la Tabla A.3 se muestran los resultados de la lectura diaria de contadores en el año 2019, los resultados se expresan en metros cúbicos (m³).

Tabla A.3 Datos diarios agua de riego 2019. Fuente: EPSH

ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO	
01/01/2019		01/02/2019	70268	01/03/2019	70336	01/04/2019	71325	01/05/2019	72228	01/06/2019	
02/01/2019	70240	02/02/2019		02/03/2019		02/04/2019	71359	02/05/2019	72233	02/06/2019	
03/01/2019	70241	03/02/2019		03/03/2019		03/04/2019	71397	03/05/2019		03/06/2019	72985
04/01/2019	70241	04/02/2019	70272	04/03/2019	70345	04/04/2019	71430	04/05/2019		04/06/2019	73072
05/01/2019		05/02/2019	70274	05/03/2019	70397	05/04/2019	71466	05/05/2019		05/06/2019	73127
06/01/2019		06/02/2019	70274	06/03/2019	70431	06/04/2019		06/05/2019	72253	06/06/2019	73169
07/01/2019		07/02/2019	70275	07/03/2019	70465	07/04/2019		07/05/2019	72262	07/06/2019	73211
08/01/2019	70241	08/02/2019	70275	08/03/2019	70498	08/04/2019	71850	08/05/2019	72266	08/06/2019	
09/01/2019	70242	09/02/2019		09/03/2019		09/04/2019	71619	09/05/2019	72271	09/06/2019	
10/01/2019	70245	10/02/2019		10/03/2019		10/04/2019	71654	10/05/2019	72281	10/06/2019	73320
11/01/2019	70245	11/02/2019	70283	11/03/2019	70615	11/04/2019	71689	11/05/2019		11/06/2019	73394
12/01/2019		12/02/2019	70284	12/03/2019	70644	12/04/2019	71731	12/05/2019		12/06/2019	73438
13/01/2019		13/02/2019	70286	13/03/2019	70681	13/04/2019		13/05/2019	72298	13/06/2019	73488
14/01/2019	70248	14/02/2019	70288	14/03/2019	70714	14/04/2019		14/05/2019	72305	14/06/2019	73518
15/01/2019	70248	15/02/2019	70289	15/03/2019	70750	15/04/2019	71850	15/05/2019	72345	15/06/2019	
16/01/2019	70249	16/02/2019		16/03/2019		16/04/2019	71619	16/05/2019	72388	16/06/2019	
17/01/2019	70250	17/02/2019		17/03/2019		17/04/2019	71654	17/05/2019	72427	17/06/2019	73646
18/01/2019	70250	18/02/2019	70300	18/03/2019	70860	18/04/2019	71689	18/05/2019		18/06/2019	73714
19/01/2019		19/02/2019	70310	19/03/2019	70894	19/04/2019	71731	19/05/2019		19/06/2019	73771
20/01/2019		20/02/2019	70311	20/03/2019	70904	20/04/2019		20/05/2019	72517	20/06/2019	73817
21/01/2019	70255	21/02/2019	70312	21/03/2019	70908	21/04/2019		21/05/2019	72535	21/06/2019	73866
22/01/2019		22/02/2019	70315	22/03/2019	70938	22/04/2019	72083	22/05/2019	72553	22/06/2019	
23/01/2019	70258	23/02/2019		23/03/2019		23/04/2019		23/05/2019	72574	23/06/2019	
24/01/2019	70258	24/02/2019		24/03/2019		24/04/2019	72155	24/05/2019	72579	24/06/2019	73975
25/01/2019	70265	25/02/2019	70327	25/03/2019		25/04/2019	72159	25/05/2019		25/06/2019	74038
26/01/2019		26/02/2019	70331	26/03/2019	71108	26/04/2019	72197	26/05/2019		26/06/2019	74121
27/01/2019		27/02/2019	70333	27/03/2019	71144	27/04/2019		27/05/2019	72648	27/06/2019	74168
28/01/2019	70266	28/02/2019	70335	28/03/2019	71180	28/04/2019		28/05/2019	72687	28/06/2019	74224
29/01/2019	70266			29/03/2019	71215	29/04/2019	72214	29/05/2019	72726	29/06/2019	
30/01/2019	70267			30/03/2019		30/04/2019		30/05/2019	72788	30/06/2019	
31/01/2019	70267			31/03/2019				31/05/2019	72834		

Tabla A.3 Datos diarios agua de riego 2019. Fuente: EPSH (continuación)

JULIO		AGOSTO		SEPTIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE	
01/07/2019	74522	01/08/2019	75995	01/09/2019		01/10/2019		01/11/2019		01/12/2019	
02/07/2019	74625	02/08/2019	76008	02/09/2019		02/10/2019		02/11/2019		02/12/2019	
03/07/2019	74733	03/08/2019		03/09/2019		03/10/2019		03/11/2019		03/12/2019	
04/07/2019	74899	04/08/2019		04/09/2019		04/10/2019		04/11/2019	78348	04/12/2019	
05/07/2019	75032	05/08/2019		05/09/2019		05/10/2019		05/11/2019	78351	05/12/2019	
06/07/2019		06/08/2019		06/09/2019		06/10/2019		06/11/2019	78354	06/12/2019	
07/07/2019		07/08/2019		07/09/2019		07/10/2019	77989	07/11/2019	78358	07/12/2019	
08/07/2019		08/08/2019		08/09/2019		08/10/2019	78010	08/11/2019	78359	08/12/2019	
09/07/2019		09/08/2019		09/09/2019	77018	09/10/2019	78028	09/11/2019		09/12/2019	
10/07/2019		10/08/2019		10/09/2019	77367	10/10/2019	78041	10/11/2019		10/12/2019	78401
11/07/2019		11/08/2019		11/09/2019	77395	11/10/2019	78083	11/11/2019	78361	11/12/2019	78403
12/07/2019		12/08/2019		12/09/2019	77410	12/10/2019		12/11/2019	78364	12/12/2019	78404
13/07/2019		13/08/2019		13/09/2019	77434	13/10/2019		13/11/2019	78368	13/12/2019	78405
14/07/2019		14/08/2019		14/09/2019		14/10/2019		14/11/2019	78371	14/12/2019	78406
15/07/2019	75413	15/08/2019		15/09/2019		15/10/2019		15/11/2019		15/12/2019	78407
16/07/2019	75424	16/08/2019		16/09/2019	77801	16/10/2019		16/11/2019		16/12/2019	78408
17/07/2019	75438	17/08/2019		17/09/2019	77520	17/10/2019		17/11/2019		17/12/2019	78409
18/07/2019	75456	18/08/2019		18/09/2019	77526	18/10/2019		18/11/2019	78373	18/12/2019	78410
19/07/2019	75469	19/08/2019	76717	19/09/2019	77572	19/10/2019		19/11/2019	78377	19/12/2019	78411
20/07/2019		20/08/2019	76730	20/09/2019	77608	20/10/2019		20/11/2019	78378	20/12/2019	78412
21/07/2019		21/08/2019	76749	21/09/2019		21/10/2019	78299	21/11/2019	78380	21/12/2019	78413
22/07/2019	75478	22/08/2019	76758	22/09/2019		22/10/2019	78326	22/11/2019	78384	22/12/2019	78414
23/07/2019	75495	23/08/2019	76772	23/09/2019	77667	23/10/2019	78327	23/11/2019		23/12/2019	78415
24/07/2019	75509	24/08/2019		24/09/2019	77679	24/10/2019	78328	24/11/2019		24/12/2019	78416
25/07/2019	75519	25/08/2019		25/09/2019	77703	25/10/2019	78332	25/11/2019	78394	25/12/2019	78417
26/07/2019	75535	26/08/2019		26/09/2019	77716	26/10/2019		26/11/2019	78396	26/12/2019	78418
27/07/2019		27/08/2019		27/09/2019	77734	27/10/2019		27/11/2019	78397	27/12/2019	78419
28/07/2019		28/08/2019		28/09/2019		28/10/2019		28/11/2019	78398	28/12/2019	78420
29/07/2019	75674	29/08/2019		29/09/2019		29/10/2019		29/11/2019		29/12/2019	78421
30/07/2019	75755	30/08/2019		30/09/2019		30/10/2019		30/11/2019		30/12/2019	78422
31/07/2019	75863	31/08/2019				31/10/2019				31/12/2019	78423

Por último en la Tabla A.4 se muestran los resultados de cada uno de los años para lo que disponemos datos, de manera mensual. Todos estos se expresan en m³.

Tabla A4. Datos mensuales agua de riego años 2017-2019. Fuente: EPSH

	2017 (m³)	2018 (m³)	2019 (m³)	Promedio (m³)	Desviación Estándar (m³)
Enero	41	41	27	36,33	8,08
Febrero	47	47	67	53,67	11,55
Marzo	128	70	879	359,00	451,27
Abril	161	104	889	384,67	437,69
Mayo	769	169	606	514,67	310,25
Junio	1242	919	1239	1133,33	185,62
Julio	755	1414	1341	1170,00	361,25
Agosto	2694	3714	1097	2501,67	1319,06
Septiembre	1734	1210	838	1260,67	450,14
Octubre	638	1378	598	871,33	439,24
Noviembre	422	491	58	323,67	232,65
Diciembre	33	63	36	44,00	16,52

**ANEXO II. AGUA RESIDUAL GENERADA POR EDIFICIO,
AÑO Y TRIMESTRE.**

En la presente tabla (A5) se ve reflejado el agua residual que genera cada edificio en cada uno de los trimestres del período 2017-2019.

Tabla A.5. Agua residual generada por edificio y año

Año 2017	1^{er} trimestre	2^{do} trimestre	3^{er} trimestre	4^{to} trimestre
Loreto (m ³)	32	37	26	34
Exterior (m ³)	216	2172	5183	1093
Guara (m ³)	276	298	177	355
Gratal (m ³)	17	18	21	14
Año 2018	1^{er} trimestre	2^{do} trimestre	3^{er} trimestre	4^{to} trimestre
Loreto (m ³)	17	26	21	35
Exterior (m ³)	158	1192	6338	1932
Guara (m ³)	336	286	200	337
Gratal (m ³)	21	11	15	26
Año 2019	1^{er} trimestre	2^{do} trimestre	3^{er} trimestre	4^{to} trimestre
Loreto (m ³)	28	16	30	36
Exterior (m ³)	973	2734	3276	692
Guara (m ³)	475	853	421	843
Gratal (m ³)	39	30	19	21

También se representan gráficamente, en las Figuras A.1, A.2, A.3, los promedios, para cada uno de los contadores, por trimestre.

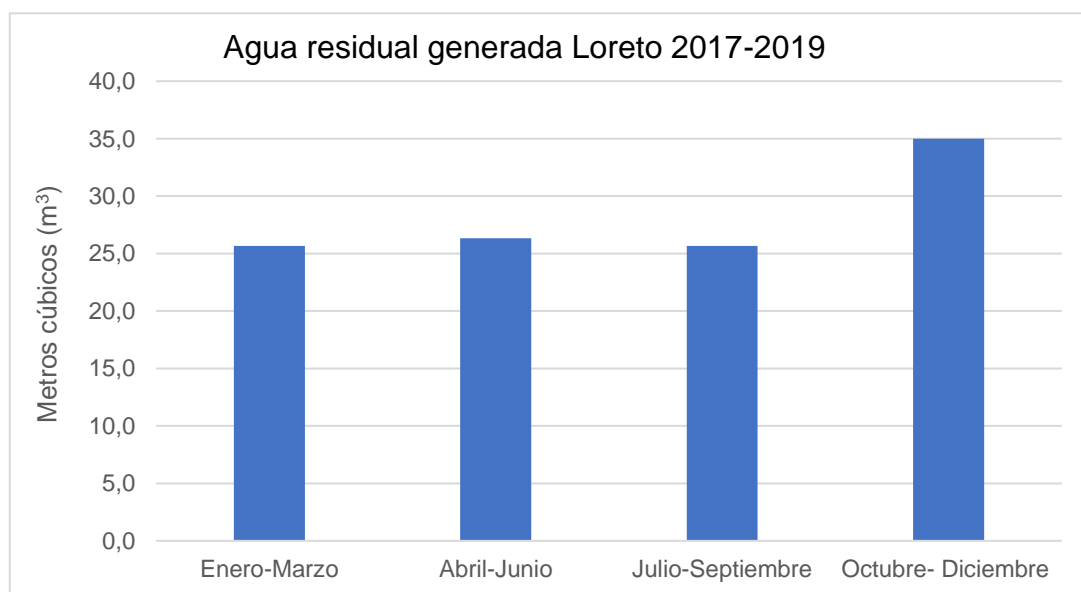


Figura A.1. Agua residual generada en edificio Loreto Fuente: elaboración propia

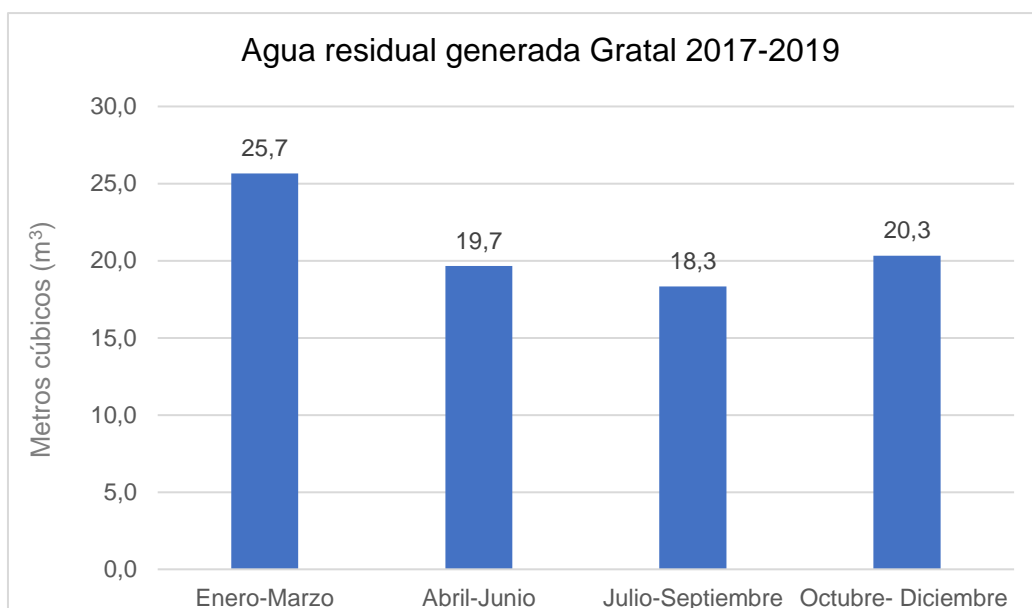


Figura A.2. Agua residual generada en edificio Gratal. Fuente: elaboración propia

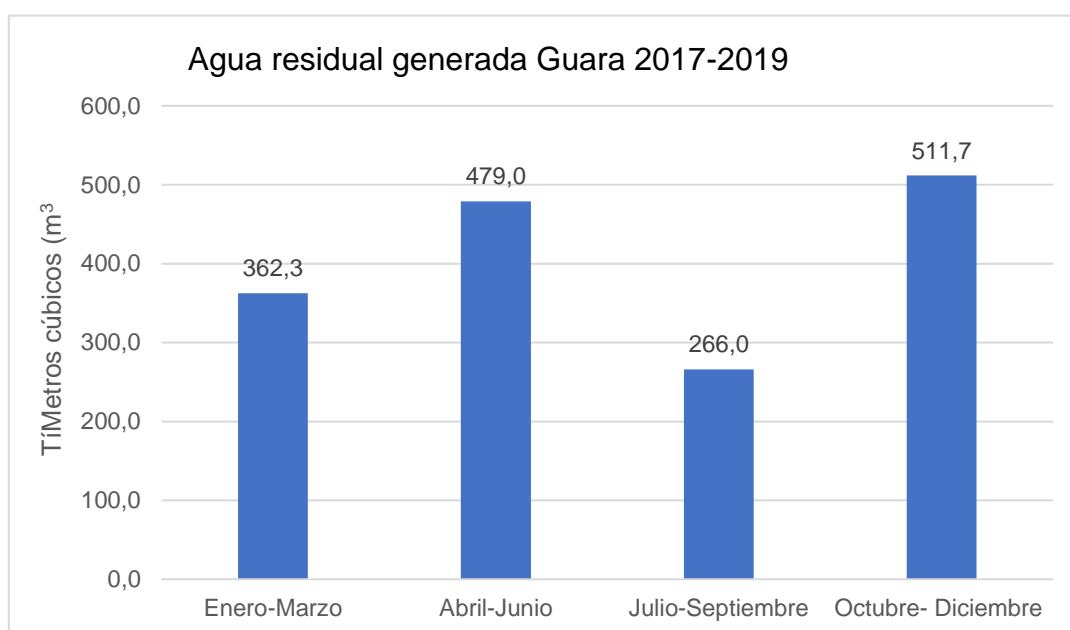


Figura A.3 Agua residual generada en edificio Guara. Fuente: elaboración propia

ANEXO III. RESULTADOS DE LOS MUESTREOS Y ANÁLISIS EN LABORATORIO

A continuación se presentan los resultados obtenidos en los 4 muestreos realizados, con sus pertinentes réplicas.

Tabla A.6. Muestreos. Resultados desglosados. Fuente: elaboración propia

Parámetro	Muestreo 1	30/11/2021 11.00 AM			Muestreo 2	30/11/2021 15.00 PM		
	Réplica 1	Réplica 2	Promedio	σ	Réplica 1	Réplica 2	Promedio	σ
OD (mg/L)	2,10	2,50	2,30	0,28	2,00	2,30	2,150	0,21
pH	7,38	7,42	7,40	0,03	7,44	7,46	7,450	0,01
CD (mS)	1,02	0,96	0,99	0,04	0,96	0,93	0,94	0,02
Temperatura (°C)	15,50	14,90	15,20	0,42	15,80	15,70	15,75	0,07
Sólidos suspendidos (mg/L)								
Filtro seco (g)	0,075	0,075	0,075		0,075	0,075	0,075	
Filtro con muestra (g)	0,077	0,077	0,077		0,077	0,078	0,078	
CC (mg/L)	23,00	21,00	22,00	1,41	25,00	24,00	24,50	0,71
DQO (mg O ₂ /l)	100,00	98,00	99,00	1,41	95,00	100,00	97,50	3,54
Turbidez (UNT)								
Blanco (UNT)	0,81		0,81		0,88		0,88	
Muestra (UNT)	9,08	23,16			8,94	8,25	7,23	
	14,85	7,16	12,75	7,18	6,00	5,74	6,35	1,60
Coliformes totales (UFC/100 mL)	5.6E+05		5,60E+05	1,14E+05	3.0E+05		3.0E+05	1.17E+05
E.coli (UFC/100 mL)	3.8E+04		3,80E+04	2,82E+04	3.7E+04		3.70E+04	1.91E+04
Enterococos (UFC/100 mL)	2.1E+04		2.10E+04	4,24E+03	2.8E+04		2.80E+04	1.50E+04

Tabla A.6. Muestreos. Resultados desglosados. Fuente: elaboración propia (continuación)

Parámetro	Muestreo 3	16/12/21 11.00 AM			Muestreo 4	16/12/21 15.00 PM		
	Réplica 1	Réplica 2	Promedio	σ	Réplica 1	Réplica 2	Promedio	σ
OD (mg/L)	2,50	2,40	2,45	0,07	2,30	2,40	2,35	0,07
pH	7,75	7,76	7,76	0,01	7,74	7,72	7,73	0,01
CD (mS)	1,09	1,10	1,10	0,01	1,05	1,03	1,04	0,01
Temperatura (°C)	13,30	13,00	13,15	0,21	13,50	13,80	13,65	0,22
Sólidos suspendidos (mg/L)								
Filtro seco (g)	0,075 g	0,08		0,05	0,075	0,075	0,075	
Filtro con muestra (g)	0,0784 g	0,08		0,06	0,077	0,078	0,077	
CC (mg/L)	28,00	22,00	25,00	4,24	22,00	25,00	23,50	2,12
DQO (mg O ₂ /l)	310,00	243,00	276,50	47,38	110,00	115,00	112,50	3,54
Turbidez (UNT)								
Blanco (UNT)	0,31		0,31		0,31		0,31	
Muestra (UNT)	9,71	9,62	16,49	7,92	9,12	21,40	14,12	3,510
	22,44	24,20	16,18		9,85	16,12	13,81	
Coliformes totales (UFC/100 mL)	4.7E+05		4.70E+05	2.94E+05	4.7E+05		4.30E+05	1.93E+05
<i>E.coli</i> (UFC/100 mL)	3.4E+04		3.40E+04	9.52E+03	3.4E+04		3.60E+04	4.53E+04
<i>Enterococcus sp.</i> (UFC/100 mL)	1.9E+04		1.90E+04	1.91E+03	1.9E+04		2.20E+04	3.21E+03

