



**Ayuntamiento
de Castellón**



PLAN DIRECTOR DE AGUAS REGENERADAS DE CASTELLÓN DE LA PLANA



Dirección
de Servicios Urbanos
Infraestructuras
y Medio Ambiente

2024

Equipo redactor:

Dr. Cristóbal Badenes Catalán	Dr. Ingeniero Industrial. Director de Servicios Urbanos, Infraestructura y Medio Ambiente del Excmo. Ayuntamiento de Castelló
Inés Beltrán Pitarch	Ingeniera Industrial. Asesora Técnica de la Dirección de Servicios Urbanos, Infraestructura y Medio Ambiente. Ayuntamiento de Castelló de la Plana
Paloma Barreda Juan	Ingeniera Industrial. Investigadora Universitat Jaume I
Dra. Emma Fernández Crespo	Dra. Ingeniera Agrónoma. Investigadora Universitat Jaume I
Dra. M. Vicenta Estelles Alberich	Dra. Hidrogeología. Investigadora visitante IUPA
Dra. Arianna Arnau Pruñonosa	Dra. Hidrogeología. Universitat de València
Dr. Fernando Martínez Alzamora	CU de la Universitat Politècnica de Valencia
Dr. Sergio Chiva Vicent	CU de la Universitat Jaume I

Aprobado por Acuerdo Plenario de 30 de mayo de 2024

Índice

1. ANTECEDENTES.....	1
1.1. Estado actual de la regeneración de aguas en el municipio de Castellón de la Plana.....	1
1.2. Legislación.....	2
1.2.1. Legislación europea.....	6
1.2.2. Legislación nacional.....	6
1.2.3. Legislación autonómica.....	7
1.3. Objeto.....	7
2. ESTUDIO DE LA DEMANDA.....	9
2.1. Recogida de información sobre las necesidades de agua en el municipio y la disponibilidad actual del recurso.....	9
2.1.1. Uso agrícola.....	12
2.1.2. Uso Industrial.....	12
2.1.3. Uso ambiental.....	12
2.1.4. Uso recreativo.....	12
2.1.5. Usos públicos y urbanos.....	13
2.1.5.1. Uso del agua por los servicios públicos: edificios y dependencias.....	13
2.1.5.2. Uso del agua por los servicios urbanos: riego de parques y jardines.....	16
2.2. Evaluación de la eventual sustitución de agua potable por agua regenerada.....	26
3. ESTUDIO DEL ACUÍFERO DE LA PLANA.....	29
3.1. Geología e hidrología.....	29
3.2. Climatología.....	32
3.3. Características fisicoquímicas de las aguas subterráneas.....	33
3.4. Evaluación del impacto del retorno de riego sobre las aguas subterráneas.....	36
4. SISTEMA DE REGENERACIÓN DE AGUA.....	39
4.1. Estudio del sistema de regeneración existente.....	39
4.1.1. Tratamiento terciario.....	40
4.1.1.1. Elevación del efluente secundario.....	40
4.1.1.2. Tratamiento físico-químico.....	40
4.1.1.3. Filtros de arena.....	40
4.1.1.4. Desinfección UV.....	40
4.1.1.5. Desinfección hipoclorito.....	41

4.1.1.6. Bombeo agua regenerada.....	41
4.1.1.7. Aljibes.....	41
4.1.2. Criterios de calidad.....	42
4.1.2.1. Análisis de los parámetros medidos en el agua regenerada.....	43
4.1.2.2. Control de volúmenes y caudales.....	45
4.1.2.3. Plan de seguridad ante contingencias.....	46
4.1.2.3.1. Control de la turbidez del influente terciario.....	46
4.1.2.3.2. Control de sólidos en suspensión del influente a desinfección UV.....	46
4.1.2.3.3. Control de transmitancia en la desinfección ultravioleta.....	46
4.1.2.3.4. Control del cloro residual libre en el canal de cloración.....	46
4.1.3. Evaluación de la calidad de las aguas regeneradas.....	47
4.1.3.1. Criterios de conformidad del sistema de explotación.....	47
4.1.4. Protocolo de actuación frente a incumplimientos o desviaciones.....	48
4.1.5. Conclusiones.....	50
4.2. Identificación de los tratamientos necesarios para conseguir los requerimientos de calidad del agua regenerada para los diferentes usos.....	51
4.2.1. Uso urbano.....	52
4.2.1.1. Descripción y criterios de calidad.....	52
4.2.1.2. Análisis de los resultados.....	53
4.2.1.3. Conclusiones.....	54
4.2.2. Uso agrícola.....	54
4.2.2.1. Descripción y criterios de calidad.....	54
4.2.2.2. Análisis de los resultados.....	56
4.2.2.3. Conclusiones.....	58
4.2.3. Uso industrial.....	59
4.2.3.1. Descripción y criterios de calidad.....	59
4.2.3.2. Análisis de los resultados.....	59
4.2.3.3. Conclusiones.....	61
4.2.4. Uso recreativo.....	61
4.2.4.1. Descripción y criterios de calidad.....	61
4.2.4.2. Análisis de los resultados.....	62
4.2.4.3. Conclusiones.....	63
4.2.5. Conclusión final.....	63
4.3. Proposiciones tecnológicas de regeneración para atender los requisitos de calidad exigida.....	65
4.3.1. Propuesta tecnológica nº1: Sistema filtrante, Ultrafiltración.....	67

4.3.2. Propuesta tecnológica nº2: Uso de carbón activo.....	68
4.3.3. Propuesta tecnológica nº3: Ultrafiltración + carbón activo.....	68
4.3.4. Propuesta tecnológica nº4: Sistema de mezcla.....	69
5. RED DE TRANSPORTE DE AGUA REGENERADA.....	71
5.1. Red de infraestructuras existente.....	71
5.2. Localización de las potenciales demandas priorizando volúmenes y agrupaciones de demandas.....	74
5.3. Red de infraestructuras necesarias para atender las posibles demandas.....	79
5.3.1. Red de infraestructuras desde EDAR al centro urbano de Castelló.....	82
5.3.2. Red de infraestructuras desde EDAR al Grao de Castellón.....	91
5.3.3. EB EDAR.....	92
5.3.4. Conclusiones.....	92
5.3.4.1. Características de las tuberías.....	93
5.3.4.2. Características de las válvulas.....	93
6. PROPUESTA DE INVERSIONES Y ACTUACIONES.....	95
6.1. Propuesta estratégica de inversiones incluyendo obra civil, equipos, red de transporte y propuesta de cronograma de actuaciones.....	95
6.1.1. Propuesta de Inversión y fases.....	95
7. CONCLUSIÓN.....	100
8. ANEXOS.....	102
8.1. ANEXO 1: Estudio del plan de gestión del riesgo de la estación de aguas regeneradas de la EDAR de Castellón.....	102
8.1.1. Descripción del sistema de reutilización en su conjunto.....	102
8.1.1.1. Origen del suministro.....	102
8.1.1.2. Caracterización de las aguas residuales.....	102
8.1.1.3. Descripción del sistema de tratamiento (EDAR).....	104
8.1.1.3.1. Llegada del agua bruta.....	106
8.1.1.3.2. Pretratamiento.....	107
8.1.1.3.3. Decantación primaria.....	107
8.1.1.3.4. Tratamiento biológico.....	107
8.1.1.3.5. Decantación secundaria.....	107
8.1.1.3.6. Línea de fangos.....	108
8.1.1.3.6.1. Deshidratación.....	108
8.1.1.4. Descripción del sistema de regeneración (ERA).....	108
8.1.1.4.1. Puntos de cumplimiento y puntos de entrega del agua regenerada.....	108

8.1.1.4.2. Calidad del agua regenerada.....	110
8.1.1.4.2.1. Instalaciones de distribución y almacenamiento.....	111
8.1.1.4.3. Tratamientos adicionales.....	112
8.1.1.4.4. Esquema resumen.....	112
8.1.2. Regadío.....	114
8.1.3. Descripción del entorno del sistema.....	117
8.1.3.1. Entorno y vías de comunicación.....	117
8.1.3.2. Hidrología.....	117
8.1.3.3. Zonas de protección y de interés.....	118
8.1.4. Partes responsables.....	118
8.1.5. Identificación de los agentes peligrosos, grupos y vías de exposición.....	118
8.1.5.1. Agentes peligrosos sanitarios.....	119
8.1.5.1.1. Identificación de agentes peligrosos sanitarios.....	119
8.1.5.1.2. Grupos y vías de exposición.....	120
8.1.5.2. Agentes peligrosos ambientales.....	121
8.1.5.2.1. Identificación de agentes peligrosos ambientales.....	121
8.1.5.2.2. Agua.....	122
8.1.5.2.3. Suelo y zona no saturada y cultivos.....	122
8.1.5.2.4. Fauna.....	122
8.1.5.3. Tabla resumen selección de agentes peligrosos.....	123
8.1.6. Requisitos del sistema.....	123
8.1.6.1. Requisitos mínimos.....	123
8.1.6.2. Requisitos adicionales.....	124
8.1.7. Evaluación del riesgo de los agentes peligrosos seleccionados y mecanismos de control.....	125
8.1.7.1. Justificación del riesgo y medidas preventivas.....	126
8.1.7.1.1. Agentes peligrosos riesgo sanitario.....	126
8.1.7.1.1.1. Control de Legionella.....	126
8.1.7.1.1.1.1. Criterios generales exigibles para el diseño para las redes de agua regenerada para la minimización de la presencia de Legionella:.....	128
8.1.7.1.1.1.2. Criterios para el riego de jardines.....	131
8.1.7.1.1.1.3. Criterios para el Baldeo.....	132
8.1.7.1.1.1.4. Mantenimiento y revisión de equipos e instalaciones.....	132
8.1.7.1.2. Agentes peligrosos riesgo ambiental.....	134
8.1.7.1.2.1. Efecto de los nitratos en los lixiviados del retorno del riego:.....	134
8.1.7.1.2.2. Efecto de los cloruros en los lixiviados del retorno del riego.....	134

8.1.8. Medidas a implementar.....	135
8.1.8.1. Recomendaciones generales.....	135
8.1.8.2. Recomendaciones para el control de agentes peligrosos sanitarios, Legionella; Control de la cloración: Utilización del Cloro como biocida.....	136
8.1.8.3. Recomendaciones para el control de agentes peligrosos medioambientales, Nitratos y Cloruros: evaluación del impacto del riego con agua regenerada sobre el agua subterránea.....	137
8.1.9. Resumen del plan analítico y agentes catalogados como peligrosos.....	138
8.2. ANEXO 2: Detalle del trazado de la propuesta de red de agua regenerada futura.....	141
8.2.1. Nueva tubería de acceso hasta el depósito de Pont de Ferro.....	141
8.2.2. Nueva tubería de impulsión del depósito de Pont de Ferro al nuevo depósito de la UJI.....	142
8.2.3. Tubería por gravedad por la Ronda Sur.....	143
8.2.4. Tuberías en torno al depósito de Pont de Ferro alimentadas por el rebombeo auxiliar.....	144
8.2.5. Prolongación de la tubería transporte por la ronda Este.....	145
8.2.6. Derivación del camí Fondo hacia la Avd. del Mar.....	146
8.2.7. Prolongación de la tubería por Avd. Ferrandis Salvador.....	147
8.3. ANEXO 3: Precios descompuestos.....	148
8.4. ANEXO 4: Coste tuberías por fases, tipo de redes, diámetros y longitudes.....	150
8.5. ANEXO 5: Detalle de inversiones por fase.....	154

Índice de Figuras

Figura 1. Polígonos industriales del municipio de Castellón de la Plana.....	11
Figura 2. Evolución anual del consumo de agua de uso urbano según la tipología de edificios públicos.....	14
Figura 3. Distribución de los consumos de agua según el tipo de uso público en 2022.....	14
Figura 4. Listado de los parques de la ciudad de Castellón de la Plana. Fuente: Fichas de parques de la ciudad confeccionada por el AYTO.....	16
Figura 5. Localización de los catorce parques principales del municipio de Castellón de la Plana.	16
Figura 6. Localización de las zonas de parques y jardines en la ciudad de Castellón de la Plana.	20
Figura 7. Representación de las catorce zonas de riego en función del año de concesión: 2016, 2022 o escenario futuro.....	22
Figura 8. Representación del porcentaje de consumo de agua de cada una de las catorce zonas definidas por el AYTO respecto del consumo total anual.....	23
Figura 9. Distribución de los consumos de agua en 2022 según el tipo de uso público: edificios públicos y jardines.....	24
Figura 10. Ubicación de Castellón dentro del acuífero de la plana (MASub. 080.127).....	27
Figura 11. Mapa geológico de la Plana de Castellón (Boi, 2003) y ubicación de la ciudad de Castellón de la Plana.....	28
Figura 12. Mapa piezométrico del acuífero de la Plana de Castelló con datos obtenidos en noviembre del 2018 (Renau-Llorens, 2010).....	29
Figura 13. Datos de precipitación y temperatura Estación IVIA Castellón-Benadresa.....	30
Figura 14. Localización de pozos con información hidroquímica. Punto 57: Pozo Sensal, Punto 63 Pozo Lledó, Punto 65 Pozo TAU (Renau-Llorens, 2010).....	31
Figura 15. Localización de pozos con columnas litológicas.....	34
Figura 16. Esquema de los tratamientos de la EDAR de Castellón (fuente: EPSAR).....	37
Figura 17. Evaluación de la presencia de nemátodos intestinales en el agua regenerada durante el periodo evaluado (enero 2022-junio 2023). En rojo se indica el VMA según el Anexo I del RD 1620/2007.....	41
Figura 18. Unidades formadoras de colonias E. coli en el agua regenerada durante el periodo evaluado (enero 2022-junio 2023). En rojo se indica el VMA según el Anexo I del RD 1620/2007.....	41
Figura 19. Sólidos en suspensión (mg/L) en el agua regenerada en el periodo evaluado (enero 2022-junio 2023). En rojo se indica el VMA según el Anexo I del RD 1620/2007.....	42
Figura 20. Seguimiento de la turbidez del agua regenerada en el periodo evaluado (enero 2022-junio 2023). En rojo se indica el VMA según el Anexo I del RD 1620/2007.....	42
Figura 21. Cuantificación de unidades formadoras de colonias de Legionella spp en el agua regenerada durante el periodo evaluado (enero 2022-junio 2023). En rojo se indica el VMA según el Anexo I del RD 1620/2007.....	42
Figura 22. Variación del pH en el agua regenerada durante el periodo evaluado (enero 2022-junio 2023).....	43
Figura 23. Variación de la conductividad eléctrica (microS/cm) en el agua regenerada durante el periodo evaluado (enero 2022-junio 2023).....	43

Figura 24. Medidas de seguridad instaladas.....	45
Figura 25. Graficas de los parámetros de calidad, huevos/10L, UFC E.Coli/100 ml, UFC Legionella/1 L , SS (mg/L) y Turbidez (NTU) frente a VMA en uso Urbano Residencial 1.1.	51
Figura 26. Graficas de los parámetros de calidad, huevos/10L, UFC E.Coli/100 ml, UFC Legionella/1 L , SS (mg/L) y Turbidez (NTU) frente a VMA en uso Agrícola.....	55
Figura 27. Gráficas de los parámetros de calidad, huevos/10L, UFC E.Coli/100 ml, UFC Legionella/1 L , SS (mg/L) y Turbidez (NTU) frente a VMA en uso Recreativo.....	59
Figura 28. Ejemplo tratamiento propuesto en la Guía de aplicación RD 1622/2007.....	61
Figura 29. Propuesta tecnológica nº1: Ultrafiltración.....	63
Figura 30. Propuesta tecnológica nº2: Filtro de carbón activo.....	64
Figura 31. Propuesta tecnológica nº3: Ultrafiltración + Filtro de carbón activo.....	64
Figura 32. Propuesta tecnológica nº4: Sistema de mezcla.....	64
Figura 33. Red de infraestructuras existente en la actualidad para el riego de la zona de Auditorio y Juzgados y la zona Litoral.....	66
Figura 34. Tipología de los ramales que conforman la red de infraestructuras de agua regenerada actual del municipio en las inmediaciones del Bv. Bñlasco Ibáñez y la ronda Circunvalación.....	67
Figura 35. Ubicación de las dos válvulas PRV de la red de infraestructuras de agua regenerada actual existente.....	67
Figura 36. Representación de las demandas base unitarias existentes en la red de agua regenerada actual en m ³ /h.....	68
Figura 37. Demandas base de cada una de las catorce zonas de riego identificadas en el municipio en m ³ /h.....	69
Figura 38. Propuesta de red de agua regenerada futura planteada para el municipio de Castellón de la Plana.....	75
Figura 39. Mapa de contornos de elevación de la ciudad de Castellón de la Plana.....	78
Figura 40. Ubicación del nuevo depósito a cota 73 m, trazado de la tubería de impulsión por la margen derecha de Río Seco y de las tuberías de reparto por las Rondas periféricas: bombeo directo (flecha verde oscuro), impulsión (flecha roja) y gravedad (flecha azul)....	81
Figura 41. Jardines en torno al depósito de Pont de Ferro, cuyo riego exigirá un nuevo rebombeo auxiliar, independiente del rebombeo de elevación al nuevo depósito, y trazado de las tuberías alimentadas desde el mismo.....	82
Figura 42. Detalle de la EB intermedia del parque Pont de Ferro y rebombeo a Ribalta.....	83
Figura 43. Propuesta de red de agua regenerada futura planteada para el casco urbano de la ciudad de Castellón de la Plana.....	84
Figura 44. Propuesta de red de agua regenerada futura planteada para el casco urbano de la ciudad de Castellón de la Plana.....	85
Figura 45. Nueva propuesta de EB a la salida de la EDAR.....	86
Figura 46. Distribución de diámetros de la propuesta de red de agua regenerada futura.....	87
Figura 47. Tipología de válvulas con su diámetro nominal y su ubicación para la propuesta de red de agua regenerada futura.....	88
Figura 48. Redes de tuberías según las fases de ejecución de la propuesta de red de agua regenerada futura.....	90
Figura 49. Esquema de los tratamientos de la EDAR de Castellón (fuente: EPSAR).....	99

Figura 50. Vista aérea de las instalaciones de la EDAR de Castellón.....	99
Figura 51. Propuesta de red de agua regenerada futura planteada para el municipio de Castellón de la Plana.....	105
Figura 52. Esquema del sistema de reutilización.....	105
Figura 53. Ubicación de los diferentes elementos que componen el sistema de reutilización.....	106
Figura 54. Ubicación de los catorce parques principales del municipio de Castellón.....	107
Figura 55. Localización de las zonas de riego del municipio de Castellón.....	108
Figura 56. Esquema del sistema de reutilización con la identificación de los puntos de rectoración de la propuesta de red de infraestructuras futura.....	130
Figura 57. Nuevo tramo de aducción de 250 mm para conectar la ronda Norte a la altura de Caballos Solidarios con el depósito intermedio de Pont de Ferro.....	135
Figura 58. Nueva tubería de impulsión para alimentar el depósito de regulación a cota 73 m, desde el depósito de Pont de Ferro por bombeo.....	135
Figura 59. Tubería de servicio (en azul) paralela a la tubería de impulsión y puntos de conexión estratégicos.....	136
Figura 60. Trazado del tramo de tuberías de la ronda Sur alimentadas por gravedad desde el nuevo depósito UJI para abastecer las zonas industriales.....	137
Figura 61. Detalle del trazado de tuberías, depósitos y válvulas en las inmediaciones de la EB de Pont de Ferro.....	137
Figura 62. Trazado de la tubería de riego que abastece a la futura zona del Ribalta mediante el segundo rebombeo en el parque Pont de Ferro.....	138
Figura 63. Trazado de la prolongación de la red de transporte para el riego con agua regenerada de la zona Este y el parque en la Avd. Chatellerault.....	139
Figura 64. Derivación del trazado de la red de riego para las superficies ajardinadas a lo largo de la Avd. del Mar.....	140
Figura 65. Ampliación del trazado de la red de riego del Grao de Castellón por la Avd. Ferrandis Salvador.....	140

Índice de Tablas

Tabla 1. Concesión actual de aguas regenerada para su uso en riego de jardines y limpieza de viales.....	2
Tabla 2. Estimación de dotación y demanda para Castellón de la Plana según CHJ.....	10
Tabla 3. Histórico de consumos de agua según el tipo de uso urbano en el municipio.....	13
Tabla 4. Principales especies vegetales de los jardines y parques actualmente regados con aguas regeneradas.....	17
Tabla 5. Parques, jardines y zonas verdes que incluyen cada zona de riego definida.....	19
Tabla 6. Zonas de riego de parques y jardines, con datos de superficie y consumo estimado actualizados para el riego con agua regenerada anual.....	21
Tabla 7. Comparativa de superficies y consumo estimado total en las dotaciones concedidas respecto a los valores actualizados según la nueva dotación establecida por la CHJ para el período 2022-2027.....	23
Tabla 8. Disponibilidad restante de la dotación concedida para el riego de jardines con agua regenerada.....	24
Tabla 9. Demandas de agua regenerada riego actual y las demandas para la eventual sustitución en las zonas identificadas durante la ampliación de la dotación en 2022 así como para todas las zonas del municipio.....	25
Tabla 10. Características del tratamiento fisicoquímico del tratamiento terciario.....	38
Tabla 11. Características del equipo de desinfección con lámparas UV.....	39
Tabla 12. Criterios de calidad del sistema de control del agua regenerada.....	40
Tabla 13. Parámetro de control de la calidad del agua entrante al sistema de regeneración.....	40
Tabla 14. Valores DQO y nutrientes a la entrada y la salida de la estación de regeneración de aguas. Los datos son la media de los valores obtenidos en tres muestreos puntuales.....	43
Tabla 15. Números de muestras que no superan el 90% del VMA dentro de los criterios de conformidad del sistema de explotación.....	46
Tabla 16. LDM establecidos en el RD 1620/2007 para el uso 1.2.....	46
Tabla 17. Usos agua regenerada RD 1620/2007.....	49
Tabla 18. Criterios de calidad y frecuencia análisis. Uso Urbano.....	50
Tabla 19. Parámetros de calidad para usos urbano (RD 1620/2007).....	50
Tabla 20. Cumplimiento de los parámetros de calidad para Uso Urbano Residencial (1.1).....	51
Tabla 21. Criterios de calidad y frecuencia de las analíticas. Uso Agrícola.....	52
Tabla 22. Controles de validación de las aguas regeneradas para el riego agrícola.....	53
Tabla 23. Parámetros de calidad para usos Agrícolas (Reglamento (UE) 2020/741).....	54
Tabla 24. Cumplimiento de los parámetros de calidad para Uso Agrícola (Calidad A).....	54
Tabla 25. Criterios de calidad y frecuencia de los análisis. Uso Industrial.....	56
Tabla 26. Parámetros de calidad para usos Industrial (RD 1620/2007).....	56
Tabla 27. Cumplimiento de los parámetros de calidad para Uso Industrial (3.2).....	57
Tabla 28. Gráficas de los parámetros de calidad, huevos/10L, UFC E.Coli/100 ml, UFC Legionella/1 L, SS (mg/L) y Turbidez (NTU) frente a VMA en uso Industrial.....	57
Tabla 29. Criterios de calidad y frecuencia de los análisis. Uso recreativo.....	58
Tabla 30. Parámetros de calidad para usos Recreativo (RD 1620/2007).....	58
Tabla 31. Cumplimiento de los requisitos de calidad para uso recreativo (Calidad 3.2).....	59

Tabla 32. Cumplimiento de los requisitos de calidad en función de los usos de agua regenerada con el sistema de regeneración actual.....	60
Tabla 33. Criterios de priorización definidos para la optimización de la dotación concedida con el mayor número de zonas de riego posible.....	71
Tabla 34. Consumo anual y porcentaje acumulado respecto al consumo de riego de la superficie total de parques y jardines para las zonas definidas como prioritarias en la propuesta futura de red de transporte.....	72
Tabla 35. Recopilatorio de las doce zonas finales de riego incluidas en la propuesta de red de agua regenerada futura.....	76
Tabla 36. Recopilatorio de las diez zonas de riego del centro urbano de Castellón incluidas en la propuesta de red de agua regenerada futura.....	77
Tabla 37. Recopilatorio de las dos zonas de riego del Grao de Castellón incluidas en la propuesta de red de agua regenerada futura.....	85
Tabla 38. Tabla resumen de los requisitos mínimos de las bombas hidráulicas incluidas en la propuesta de red futura.....	87
Tabla 39. Tabla resumen de la inversión total de la ejecución de cada una de las ocho fases definidas para la propuesta de red futura.....	91
Tabla 40. Descomposición de la inversión total a realizar para la ejecución de las ocho fases..	91
Tabla 41. Tabla resumen de la inversión total por metros lineales de tubería y por la demanda de las ocho fases.....	91
Tabla 42. Descomposición de la inversión tanto para la ejecución de la red como para la implementación de los procesos de mejora de la calidad de agua según la opción definida como Tratamiento 1.....	92
Tabla 43. Descomposición de la inversión tanto para la ejecución de la red como para la implementación de los procesos de mejora de la calidad de agua según la opción definida como Tratamiento 2.....	92
Tabla 44. Descomposición de la inversión tanto para la ejecución de la red como para la implementación de los procesos de mejora de la calidad de agua según la opción definida como Tratamiento 3.....	93
Tabla 45. Tabla resumen de las tres propuestas tecnológicas identificadas, así como la calidad de agua regenerada alcanzada y la inversión total junto con la ejecución de la red.....	93
Tabla 46. Promedio de los parámetros caudal, turbidez, pH, conductividad y sólidos en suspensión a la entrada de la EDAR de Castellón y a la salida de la ERA en el período comprendido entre enero de 2022 y junio de 2023.....	96
Tabla 47. Tabla resumen del rendimiento del tratamiento en las instalaciones.....	96
Tabla 48. Promedio de los parámetros DQO, DBO, nitrato y fósforo total en el efluente de la EDAR en el período comprendido entre enero de 2022 y junio de 2023.....	97
Tabla 49. Resultados obtenidos para el recuento de E.coli entre enero 2022 a junio 2023.....	97
Tabla 50 Descripción de los puntos de interés: puntos de cumplimiento (Pcum), puntos de entrega (PEAR) y puntos de control adicional (PCad).....	102
Tabla 51 Parámetros de calidad para usos urbano, uso industrial y recreativo (RD 1620/2007) y cumplimiento de los requisitos con el sistema de regeneración actual.....	103
Tabla 52 Tipo de calidad a la que se podría llegar si se tuviera en cuenta los criterios establecidos para uso agrícola en el Reglamento (UE) 2020/741.....	103
Tabla 53. Parques, jardines y zonas verdes que incluyen cada zona de riego definida.....	109

Tabla 54. Caracterización de las doce zonas de riego incluidas en la propuesta de red de infraestructuras futura para el municipio.....	110
Tabla 55. Resumen características masa de agua subterránea sobre la que se asienta la ciudad de Castellón de la Plana.....	110
Tabla 56. Definición de las partes responsables del sistema de reutilización de agua y su responsabilidad.....	111
Tabla 57. Listado de agentes peligrosos sanitarios de origen microbiológico detectados de forma habitual en las aguas residuales sin tratar y los efectos que pueden causar sobre los seres humanos.....	113
Tabla 58. Listado de agentes peligrosos sanitarios de origen químico detectados de forma habitual en las aguas residuales sin tratar y los efectos que pueden causar sobre los seres humanos.....	113
Tabla 59. Listado de agentes peligrosos ambientales y los efectos que pueden causar sobre los diferentes receptores.....	115
Tabla 60. Resumen de los agentes peligrosos seleccionados.....	116
Tabla 61. Requisitos mínimos de los puntos de cumplimiento (Pcum) y los puntos de entrega del agua regenerada (PEAR), VMA y frecuencia de los análisis.....	117
Tabla 62. Requisitos de calidad adicionales en los Pcum y los PCad, frecuencia de las analíticas y VMA.....	118
Tabla 63. Parámetros de control, requisitos de calidad exigidos y frecuencia de las analíticas para el control de legionella en las instalaciones de riego por aspersión.....	120
Tabla 64. Acciones a ejecutar en función del recuento de Legionella en los puntos de control según RD 487/2022.....	121
Tabla 65. Acciones a ejecutar para la revisión del funcionamiento general de la instalación...	127
Tabla 66. Descripción del PCad, localización y columna litográfica (Fuente FACSA).....	131
Tabla 67. Resumen del Plan analítico de seguimiento con los puntos de control, parámetros, VMA y periodicidad de las muestras.....	133
Tabla 68. Medidas de control para los agentes identificados como peligrosos a nivel sanitario y medioambiental.....	133

Listado de acrónimos

AYTO	Ayuntamiento de Castellón de la Plana
BI	Beneficio Industrial
CA	Carbón activado
CE	Conductividad eléctrica
CHJ	Confederación Hidrográfica del Júcar
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
EB	Estación de Bombeo
E.Coli	Escherichia coli
EDAR	Estación Depuradora de Aguas Residuales
ERA	Estación de Regeneración de Aguas
ETAP	Estación de Tratamiento de Agua Potable
GAC	Carbón activado granular
GG	Gasto General
IVA	Impuesto del Valor Añadido
LDM	Límites de Desviación Máxima
NCA	Normas de Calidad Ambiental
ODS	Objetivo de Desarrollo Sostenible
PCad	Puntos de Control adicionales
PCum	Punto de cumplimiento
PDAR	Plan Director de Aguas Regeneradas
PEAR	Punto de Entrega del Agua Regenerada
PHJ	Plan Hidrológico de la demarcación hidrográfica del Júcar
PPCL	Plan de Prevención y Control de Legionella
PRV	Válvula Reductora de Presión del agua
RD	Real Decreto
SS	Sólidos en suspensión
TRLA	Texto Refundido de la Ley de Aguas
TU	Turbidez
UF	Ultrafiltración
UJI	Universitat Jaume I de Castellón de la Plana
UV	Ultravioleta
VMA	Valor Máximo Admisible

1. ANTECEDENTES

1.1. Estado actual de la regeneración de aguas en el municipio de Castellón de la Plana

Ante la actual escasez hídrica y la necesidad de un desarrollo sostenible (ODS), se plantea la imperiosa necesidad de optimizar y reutilizar los recursos acuíferos disponibles. La regeneración del agua proveniente de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) y su aplicación diversificada emergen como medidas que podrían mitigar la competencia por estos recursos, previniendo posibles conflictos en situaciones de escasez futura. En efecto, durante episodios de sequía, el agua regenerada se percibe como una fuente altamente segura, ya que las restricciones hídricas afectarían a la población urbana en última instancia, manteniendo así una regularidad en el caudal de agua regenerada proveniente de las EDAR. No obstante, aunque la obtención de agua regenerada se considera un recurso sumamente valioso, su uso recurrente plantea diversas consideraciones, en consonancia con otros recursos hídricos no convencionales. La presencia de patógenos microbianos en las aguas regeneradas, como E. coli y otras bacterias, virus o parásitos, destinadas al riego agrícola, podría generar brotes de enfermedades de transmisión hídrica, como la gastroenteritis, y otros efectos agudos.

Debido a las demandas de agua del municipio, las consecuencias del medio ambiente sobre los recursos hídricos y el origen de la fuente de agua (acuíferos) de la provincia, el Ayuntamiento de Castellón de la Plana (AYTO) lleva años trabajando en el estudio de fuentes alternativas para reducir la demanda de agua potable en el uso municipal, en concreto para el riego de jardines y zonas verdes. Es decir, emprender una transición que conduzca de un modelo lineal a uno basado en la economía circular, optimizando la eficiencia en el uso de recursos y minimizando la generación de residuos. El ejemplo de otras regiones, como Murcia o Alicante, ha puesto de manifiesto la necesidad de buscar fuentes alternativas y cambiar la perspectiva sobre el agua regenerada de residuo a recurso.

Uso de agua regenerada para riego de zonas verdes

El Ayuntamiento de Castellón de la Plana utiliza el agua regenerada para el riego de zonas verdes municipales desde el año 2008 tras la obtención de la concesión de la CHJ.

La EDAR de Castellón actualmente trata un volumen de 13,25 hm³ de agua al año¹. Esta EDAR es de carácter urbano, es decir las aguas residuales que llegan a la depuradora proceden de las aglomeraciones humanas, y de aguas de lluvia. Por tanto, teniendo en cuenta que la composición del agua de la EDAR apenas tiene trazas industriales, y el tratamiento terciario utilizado permite cumplir los requisitos de calidad a la salida de la planta, desde el AYTO, ya en el 2008 se obtuvo de la Confederación

¹ EPSAR. <https://www.epsar.gva.es/castello-de-la-plana>

Hidrográfica del Júcar (CHJ) autorización para el uso de agua regenerada de la EDAR en riego del parque del Litoral en el Grao de la ciudad de Castellón, solicitando inicialmente una concesión de 101.895 m³/año para una superficie total de 16,08 ha. Tras la ampliación de la red de distribución por parte del AYTO, en 2016 se amplió la concesión anterior con el objetivo de incrementar el número de parques y jardines del municipio que podían regarse con agua regenerada.

	Uso	Descripción	Superficie (ha)	Volumen Concesión (m ³ /año)
Concesión 2008	Riego de Jardines	<ul style="list-style-type: none"> Parque Litoral de la Playa del Pinar 	16,08	101.895
Concesión 2016	Riego de Jardines	<ul style="list-style-type: none"> Bulevar Blasco Ibáñez Parque Auditorio Parque Rafalafena PAU Lledó Ronda Norte I – II 	19,76	118.574
Concesión 2022	Riego de Jardines	<ul style="list-style-type: none"> Avenida del Mar Ronda Este y futuro Parque Avd. Chatellerault Ronda Norte III – IV, Bulevar Río Seco y Parque Pont de Ferro Avenida Ferrandis Salvador 	23,78	318.590
	Baldeo de viales	<ul style="list-style-type: none"> Todo el viario de titularidad municipal 	-	59.139
TOTAL			59,63	598.198

Tabla 1. Concesión actual de aguas regenerada para su uso en riego de jardines y limpieza de viales.

Con la concesión obtenida en 2022 se obtiene un incremento considerable de las zonas verdes autorizadas por el organismo de cuenca para ser regadas con agua regenerada. Esto implica la necesidad de definir y calcular la infraestructura de transporte y distribución necesarias para llegar a los puntos de consumo en condiciones óptimas de eficiencia y calidad.

Por lo expuesto, el presente documento tiene el fin de realizar un diagnóstico de la situación actual de la reutilización en el municipio de Castellón de la Plana y de sus potenciales usos, al objeto de definir y evaluar técnica y económicamente las actuaciones a implementar para fomentar el agua regenerada como alternativa de uso, garantizando las condiciones de calidad y seguridad.

1.2. Legislación

La reutilización de las aguas residuales se ha convertido en una pieza clave de la gestión integral de los recursos hídricos, mejorando la disponibilidad de recursos en época de escasez, pero también impulsando la circularidad. Pero no sólo eso, la reutilización tiene aparejado un incremento sustancial de la calidad del vertido, y un mayor control sobre el mismo, lo que sin duda beneficia la protección del dominio hidráulico y la calidad de las aguas como marca el artículo 92 de la Ley de Aguas RD 1/2001. Pero fue a partir de la aprobación de la ley 11/2005 en el que se modificaba el

artículo 109 de la ley de aguas cuando se le dio un empuje jurídico necesario para fomentar la reutilización. A través de la modificación del apartado primero de este artículo 109, el gobierno adquiere la responsabilidad de desarrollar las condiciones fundamentales para la reutilización del agua y definir la calidad requerida para las aguas regeneradas de acuerdo con los usos previstos. Además, establece que el titular de la concesión debe asumir los costos necesarios para el tratamiento del agua y alcanzar el nivel de calidad especificado. Adicionalmente, se establece la obligación de obtener una concesión administrativa para la reutilización de aguas regeneradas, a menos que dicha concesión sea solicitada por el titular de una autorización de vertido de aguas ya depuradas.

A partir de esas modificaciones legislativas se desarrolla el Real Decreto 1620/2007 el cual establece el marco jurídico para la reutilización de aguas depuradas en España. Este reglamento aborda definiciones clave, establece la necesidad de obtener concesiones administrativas para la reutilización de aguas depuradas y prohíbe ciertos usos, como el consumo humano directo. También establece valores máximos admisibles para diferentes parámetros según el tipo de uso del agua regenerada. El decreto destaca la importancia del control microbiológico y fisicoquímico, especificando parámetros como Nematodos intestinales, *Escherichia coli*, sólidos en suspensión y turbidez. Además, se detallan medidas para gestionar incumplimientos y se fomenta la reutilización mediante la posibilidad de desarrollar planes y programas a nivel estatal, autonómico o local, con infraestructuras definidas y análisis económico-financiero correspondiente. Este reglamento de reutilización, a través de una serie de definiciones, contribuye a la clarificación del texto, destacándose las definiciones clave, como las de reutilización y agua regenerada, y la definición clara de los tipos de usos a los que va destinada el agua regenerada: usos urbanos, agrícolas, industriales, recreativos y ambientales. En el artículo 3 del capítulo I se estipula la obligación de obtener una concesión administrativa para llevar a cabo la reutilización de aguas regeneradas. En su capítulo II, aborda los usos prohibidos, incluyendo el consumo humano en situaciones no catastróficas, usos específicos de la industria alimentaria (excepto para aguas de proceso y limpieza), aplicación en instalaciones hospitalarias, cultivo de moluscos filtradores en acuicultura, uso recreativo como aguas de baño, aplicación en torres de refrigeración y condensadores evaporativos, uso en fuentes y láminas ornamentales en espacios públicos o edificios públicos, y cualquier otro uso considerado riesgoso para la salud o perjudicial para el medio ambiente según las autoridades competentes. El Anexo I del reglamento establece los valores máximos permitidos para diversos parámetros en función de los distintos usos del agua regenerada, clasificándolos en cinco categorías principales: urbano, agrícola, industrial, recreativo y ambiental. Además, especifica la frecuencia y método de análisis de estos parámetros y define criterios de conformidad junto con medidas de gestión para abordar incumplimientos. El reglamento introduce parámetros microbiológicos como Nematodos intestinales y *E. coli*, así como parámetros fisicoquímicos como sólidos en suspensión y turbidez, son de control obligatorio. Además, dependiendo del uso específico del agua regenerada, se exige la vigilancia de otros parámetros, como *Legionella* spp. en caso de aerosolización, o nitrógeno y fósforo total en situaciones que puedan provocar eutrofización. En el marco del estímulo a la reutilización del agua y la eficiencia en el uso de los recursos hídricos, las

Administraciones Públicas a nivel estatal, autonómico o local, dentro de sus competencias respectivas, pueden desarrollar planes y programas de reutilización de aguas, según lo dispuesto en el artículo 7 del Capítulo IV del reglamento. Estos planes deben definir las infraestructuras necesarias para llevar a cabo la reutilización de los recursos hídricos, especificando el análisis económico-financiero realizado y el sistema tarifario aplicable en cada caso.

En 2020 se publica el 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, centrado en el uso agrícola y muy alineado con la estrategia y metodología del RD 1620/2007. Este reglamento, que entró en vigor en junio de 2023, establece requisitos mínimos de calidad y control del agua, junto con disposiciones sobre gestión del riesgo, en el marco de la utilización segura de aguas regeneradas en un contexto de gestión integrada del agua destinada al uso exclusivamente agrario. Con el objetivo primordial de proteger eficazmente el medio ambiente, la salud humana y la sanidad animal, se dispone que los operadores de las estaciones regeneradoras de aguas asuman la responsabilidad principal de garantizar la calidad de las aguas regeneradas en el punto de cumplimiento, junto a los actores que participan en el transporte, distribución y uso. El reglamento enfatiza la necesidad de obtener permisos para la reutilización de aguas regeneradas, los cuales deben ser elaborados conforme a los planes de gestión y deben cumplir con los requisitos establecidos para el consumo y control de calidad. Además, subraya la importancia de llevar a cabo un seguimiento o comprobación del cumplimiento de dichos requisitos. En su Anexo II, el reglamento resalta los elementos fundamentales de la gestión del riesgo asociado a las aguas regeneradas, con el propósito de asegurar una gestión segura y prevenir riesgos tanto para el medio ambiente como para la salud humana y la sanidad animal. En 2022, la Comisión publica la Comunicación de la Comisión las Directrices para apoyar la aplicación del Reglamento 2020/741 relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua (2022/C 298/01), en el que desarrolla el reglamento, y entre otras cosas introduce un desarrollo que da pie a la creación de los planes de riesgo, y clarifica las responsabilidades. Pero hay que notar que el Reglamento (UE) 2020/741 no sólo busca asegurar la seguridad de las aguas regeneradas para el riego agrícola, con el propósito de proteger el medio ambiente, la salud humana y animal, sino que además incide en promover la economía circular y cumplir con los objetivos de la Directiva Marco del Agua.

Con el Real Decreto-ley 4/2023 se establece un nuevo marco legal de la reutilización de las aguas, con los cambios necesarios en el régimen jurídico español de la reutilización de aguas al reglamento europeo, definiendo un marco adecuado para impulsar recursos alternativos provenientes de la reutilización. Este RD ley destaca la importancia de promover la reutilización del agua en demarcaciones hidrográficas, abarcando diversas aplicaciones más allá del uso agrícola. Y ante la sequía existente, se enfatiza la necesidad de ajustes normativos en España para cumplir con la normativa europea. Se introduce un nuevo capítulo en la Ley de Aguas enfocado en la reutilización de aguas regeneradas, con el objetivo de garantizar coherencia con el Reglamento y mejorar la seguridad de suministro y los objetivos ambientales. De hecho, en el preámbulo enfatiza que la reutilización de aguas regeneradas se presenta

como un medio para impulsar la economía circular, recursos hídricos no convencionales, seguridad hídrica y adaptación al cambio climático y propone considerar el agua regenerada como un recurso, establecer asignaciones en los planes hidrológicos y requerir concesiones administrativas o modificaciones para su uso. Y para favorecer la reutilización, se imponen condiciones de vertido más estrictas y la posibilidad de que los costos adicionales sean asumidos por las entidades beneficiadas, plantea incentivar económicamente la reutilización mediante la reducción del canon de control de vertido. Además, se destaca la opción de que las administraciones públicas otorguen ayudas a concesionarios de aguas regeneradas para sustituir recursos y contribuir a objetivos medioambientales y gestión eficiente de los recursos hídricos. El RD 4/2023 introduce cambios necesarios en la Ley de Aguas, RD 1/2001. En el capítulo III “De la reutilización de las aguas” con modificaciones del artículo 109 y 109 bis que clarifican su régimen jurídico. Se añade el artículo 109 ter dedicado al régimen jurídico de la producción y suministro de aguas regeneradas en el cual se introduce la obligación de redactar un plan de gestión del riesgo en el que se *“definirá el sistema de reutilización e identificará los riesgos asociados a las funciones relacionadas con la producción, suministro y uso de las aguas regeneradas, los elementos clave para la gestión de tales riesgos y las medidas y actuaciones necesarias para mantenerlo en niveles aceptables para el medio ambiente, la salud humana y la sanidad animal. Igualmente, identificará las partes responsables y delimitará la responsabilidad que incumbe a cada una de ellas y al usuario final en el sistema de reutilización de aguas, en relación con el cumplimiento de dicho Plan”*. En el nuevo 109 quarter indica que son los participantes en el sistema de regeneración y los usuarios finales los que deben asegurar el cumplimiento del plan, y será el organismo de cuenda y las autoridades sanitarias las encargadas de realizar el control y vigilancia.

Fomento de la reutilización en usos urbanos

El **RD 4/2023**, modifica el **art. 109 del TRLA**, en el que se insta a las Administraciones públicas competentes en materia de abastecimiento, saneamiento y depuración de **aglomeraciones urbanas de más de 50.000 habitantes a elaborar planes que fomenten la reutilización de aguas asociados a los usos urbanos.**

A nivel autonómico el Plan hidrológico de la demarcación hidrográfica del Júcar, Ciclo de planificación hidrológica 2022 – 2027, aprobado por el Real Decreto 35/2023, de 24 de enero, presenta diversas aplicaciones fundamentales en relación con el aprovechamiento de aguas reutilizadas. En primer lugar, se destaca la necesidad de gestionar la escasez hídrica mediante la regeneración de agua proveniente de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR), promoviendo así la reutilización sostenible de estos recursos. Esta iniciativa contribuye a reducir la competencia por los recursos hídricos, mitigando potenciales conflictos en periodos de escasez. En situaciones de sequía, el agua regenerada emerge como una fuente segura, garantizando la disponibilidad para la población urbana y manteniendo una oferta regular desde las EDAR.

Pero a pesar de ser considerada una alternativa valiosa, el uso de agua regenerada plantea desafíos, especialmente en cuanto a la presencia de patógenos microbianos. Estos patógenos, como E. coli, bacterias, virus y parásitos, pueden generar riesgos para la salud al utilizarse en actividades como el riego agrícola, dando lugar a brotes de enfermedades de transmisión hídrica, como la gastroenteritis. Por lo tanto, el Plan Hidrológico de la Cuenca del Júcar subraya la importancia de abordar estos aspectos y gestionar de manera efectiva la calidad del agua regenerada para garantizar su utilización segura y beneficios ambientales y sociales.

1.2.1. Legislación europea

- Directiva 91/271/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas.
- Directiva Marco del Agua (2000/60/CEE).
- 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.
- Technical Guidance - Water Reuse Risk Management for Agricultural Irrigation Schemes in Europe, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2022, Maffettone R., Gawlik B.M.
- Directrices para apoyar la aplicación del Reglamento 2020/741 relativo a los requisitos para la reutilización del agua. (2022/C 298/01) Comisión europea, 2022.
- ISO 16075 Guidelines for treated wastewater use for irrigation projects.
 - Part 1: The basis of a reuse Project for irrigation.
 - Part 2: Development of the Project.
 - Part 3: Components of reuse Project for irrigation.

1.2.2. Legislación nacional

- Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas.
- Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico.
- Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental.
- Real Decreto 1620/2007 por el que se regula el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.
- Real Decreto-ley 4/2023, de 11 de mayo, por el que se adoptan medidas urgentes en materia agraria y de aguas en respuesta a la sequía y al agravamiento de las condiciones del sector primario derivado del conflicto bélico en Ucrania y de las condiciones climatológicas, así como de promoción del uso del transporte público colectivo terrestre por parte de los jóvenes y prevención de riesgos laborales en episodios de elevadas temperaturas.
- Instrucción del 20-06-2023 del Secretario de Estado de Medio Ambiente para la aplicación del régimen transitorio en relación con la normativa sobre reutilización de aguas residuales tratadas para el uso agrícola.

- Real Decreto 665/2023, de 18 de julio, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, aprobado por Real Decreto 849/1986, de 11 de abril; el Reglamento de la Administración Pública del Agua, aprobado por Real Decreto 927/1988, de 29 de julio; y el Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.
- Real Decreto 1514/2009, de 2 de octubre, por el que se regula la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro.

1.2.3. Legislación autonómica

- Plan hidrológico de la demarcación hidrográfica del Júcar, Confederación Hidrográfica del Júcar. Real Decreto 35/2023, de 24 de enero.
- Plan Especial de Sequía de 2023. Confederación Hidrográfica del Júcar, (documento sometido a consulta 30/03/2023).

1.3. Objeto

La reutilización de las aguas residuales se ha convertido en una pieza clave de la gestión integral de los recursos hídricos, mejorando la disponibilidad de recursos en época de escasez, pero también impulsando la circularidad. Pero no sólo eso, la reutilización tiene aparejado un incremento sustancial de la calidad del vertido, y un mayor control sobre el mismo, lo que sin duda beneficia la protección del dominio hidráulico y la calidad de las aguas como marca el artículo 92 de la Ley de Aguas RD 1/2001. Desde 2006 el AYTO ha adoptado el uso de agua regenerada procedente de EDAR para riego de jardines y zonas verdes, buscando optimizar el uso de los recursos hídricos de la zona. Esta medida no solo previene el estrés hídrico durante sequías, sino que también contribuye a la adaptación a las más que probables consecuencias del cambio climático. En la actualidad el AYTO posee ya la concesión, por parte de la CHJ, para el uso de agua regenerada que cubriría las necesidades de los jardines actuales y la práctica totalidad de los jardines proyectados. Pero, aunque este recurso es muy valioso, también se reconoce el riesgo potencial de patógenos en las aguas regeneradas, por lo que se ha de ser muy estricto en el cumplimiento de las normas sanitarias, y en el desarrollo de procedimientos para su generación, transporte, distribución y uso. Por tanto, se hace necesario ordenar su uso mediante la adopción de un plan director de usos del agua regenerada en jardines y baldeo de calles que contemple el futuro trazado de la red de distribución del agua regenerada, las instalaciones de generación y almacenamiento, los parámetros exigibles de calidad del agua y las

Desarrollo Sostenible

De los **Objetivos de Desarrollo Sostenible**, el ODS 6 se formula en aras a **garantizar la disponibilidad del agua y su gestión sostenible**. Una estrategia clave para alcanzar este objetivo consiste en **promover el uso eficiente de los recursos hídricos, aumentar el reciclado y la reutilización sin riesgos**.

recomendaciones para su uso, gestión y protección sanitaria y ambiental. Todo ello basado en los principios de desarrollo sostenible para lograr fortalecer la sostenibilidad urbana aprovechando de manera eficiente los recursos naturales disponibles y fomentando prácticas alineadas con la economía circular.

2. ESTUDIO DE LA DEMANDA

La metodología seguida para analizar la demanda de la ciudad se ha estructurado en una primera fase en la que se analiza la disponibilidad de recursos, tanto en términos de dotación como de retornos. En una segunda fase se hará uso de las categorías definidas en el RD 1620/2007² para analizar las demandas de la ciudad. Aunque el RD 1620/2007 hace referencia al uso del agua regenerada, y no al de agua potable, esta categorización nos ayudará a definir mejor los potenciales usos del agua regenerada para cubrir estas demandas.

La concesión actual que posee el AYTO por parte de la CHJ se circunscribe a usos en baldeos de calles y riego de zonas verdes urbanas, lo que encuadra su uso dentro de la categoría de “demandas urbanas”. Aun así, se ha analizado el consumo de agua por parte de los edificios e instalaciones municipales con el fin de determinar futuros posibles usos de agua regenerada.

Se ha hecho un análisis detallado del uso en zonas verdes urbanas, analizando la demanda de las zonas verdes dotadas con la concesión otorgada en 2008 y 2016, las zonas que podrán ser dotadas con la ampliación de la concesión de 2022, y las zonas verdes que podrían ser dotadas con futuras modificaciones de la concesión. Este estudio resulta fundamental pues permitirá afrontar la fase diseño de la red de transporte para el agua regenerada, localizando los consumos y los puntos de demanda para definir los trazados y características de las conducciones, bombas y válvulas de regulación.

2.1. Recogida de información sobre las necesidades de agua en el municipio y la disponibilidad actual del recurso

El sistema de abastecimiento de agua de Castellón de la Plana suministra agua a la capital de la provincia, que cuenta con una población de 177.230 habitantes equivalentes, en un área territorial de 111 km² ubicada en el curso bajo del río Mijares. Este sistema se abastece principalmente de aguas subterráneas provenientes de la masa de agua Plana de Castelló, utilizando varias tomas. En situaciones de emergencia, el sistema tiene conexiones adicionales a Almassora y Benicàssim³.

Un pequeño porcentaje de la demanda de agua se cubre mediante la reutilización de recursos provenientes de la Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) del municipio. Además, se contempla la posibilidad de acceder a recursos de desalinización provenientes de la Planta de Tratamiento de Agua de Mar (IDAM) de Moncofa. En el plan de emergencia del sistema se incluyen también captaciones subterráneas destinadas a usos no esenciales, como el baldeo de calles.

² Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas.

³ Propuesta de proyecto de revisión del Plan Especial de Sequía. Anejos (versión sometida a consulta pública 30 de marzo 2023). CHJ.

CHJ lo aumenta a 21,48 hm³ anuales⁴ añadiendo 0,22 hm³ anuales con otros derechos, sobre todo por el agua regenerada. En el RD 35/2023⁵ se reconoce una asignación anual de 16,0 hm³ de agua subterránea y 0,2 hm³ de origen regenerado, con un suministro total de 16,4 hm³. La CHJ en su plan hidrológico de cuenca divide el consumo con un 52,50% dedicado al uso doméstico y el 47,50% al industrial/comercial, y asigna la evolución de la dotación y demanda para el municipio de Castellón de la Plana según la Tabla 2, indicándose un retorno después de tratamiento de 38,863 m³/día, es decir 14,10 hm³ proveniente de la EDAR. Es previsible que las demandas se mantengan bastante estables los próximos años, y los datos actuales sean suficientemente significativos para la toma de decisiones.

Dotación				
	Actual	2027	2033	2039
Dotación de agua suministrada (l/hab/día)	251	251	251	251
Dotación de consumo doméstico (l/hab/día)	128	128	128	128
Demanda				
Volumen anual de agua Suministrada (hm ³)	16,23	15,86	15,68	15,23
Volumen anual de agua registrada (hm ³)	15,71	15,36	15,19	14,75
Volumen anual de agua para uso doméstico (hm ³)	8,25	8,06	7,97	7,74

Tabla 2. Estimación de dotación y demanda para Castellón de la Plana según CHJ.

En el RD 35/2023 se promoverá el uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas y de recursos regenerados y desalinizados mejorando así la gestión del sistema con el objetivo de incrementar la garantía de los distintos usos, alcanzar el buen estado de las masas de agua y establecer un adecuado régimen de caudales ecológicos, especialmente en el bajo Mijares. En este RD, en el artículo 14 con el propósito de incrementar el volumen circulante en las masas de agua superficial del Mijares aguas abajo del azud de Santa Quiteria, tendrá consideración de restricción ambiental y no podrá ser objeto de concesión un volumen regenerado mínimo de 9,5 hm³/año procedente de la EDAR de Castellón de la Plana, en el artículo 18 dedicado al sistema Mijares-Plana de Castellón, en el apartado C, subapartado d, punto 3, que con el objetivo de mejorar la garantía de los Regadíos tradicionales del Mijares, se

Dotación y reservas de la UD de Castellón de la plana

El municipio de Castellón de la Plana tiene asignada una dotación anual 16 hm³ de agua subterránea y 0,2 hm³ de agua proveniente de la regeneración.

La EDAR de Castellón depuró en el 2022 14 hm³, y sobre ellos se fija una restricción ambiental mínima de 9,5 hm³ para incrementar el agua circulante del Mijares. Y en caso de escasez esa reserva se puede incrementar a 12 hm³ para uso en riegos tradicionales del Mijares.

⁴ Plan hidrológico de la demarcación hidrográfica del Júcar. Memoria - anejo 3 Usos y demandas de agua <https://www.chj.es/es-es/medioambiente/planificacionhidrologica/Paginas/PHC-2022-2027-Plan-Hidrologico-cuenca.aspx>

⁵ Real Decreto 35/2023, de 24 de enero, por el que se aprueba la revisión de los planes hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Occidental, Guadalquivir, Ceuta, Melilla, Segura y Júcar, y de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Oriental, Miño- Sil, Duero, Tajo, Guadiana y Ebro

reserva un volumen anual regenerado máximo de 12 hm³, procedente de la EDAR de Castellón de la Plana. Pero también indica que estos recursos se utilizarán en situaciones de escasez, de acuerdo a lo que se estipule en las normas de explotación del sistema y su desarrollo se encuentra condicionado a la aducción de volúmenes regenerados en la EDAR de Castellón de la Plana al bajo Mijares según lo indicado en el artículo 14.

2.1.1. Uso agrícola.

En el municipio no es significativa la demanda agrícola servido con la dotación asignada a la U2045 por la CHJ.

2.1.2. Uso Industrial

La demanda de uso industrial/comercial de Castellón de la Plana se cifra según la CHJ en 7,46 hm³ suministrado con agua potable. En la Figura 1 se muestran los principales polígonos industriales de la ciudad de Castellón de la Plana.

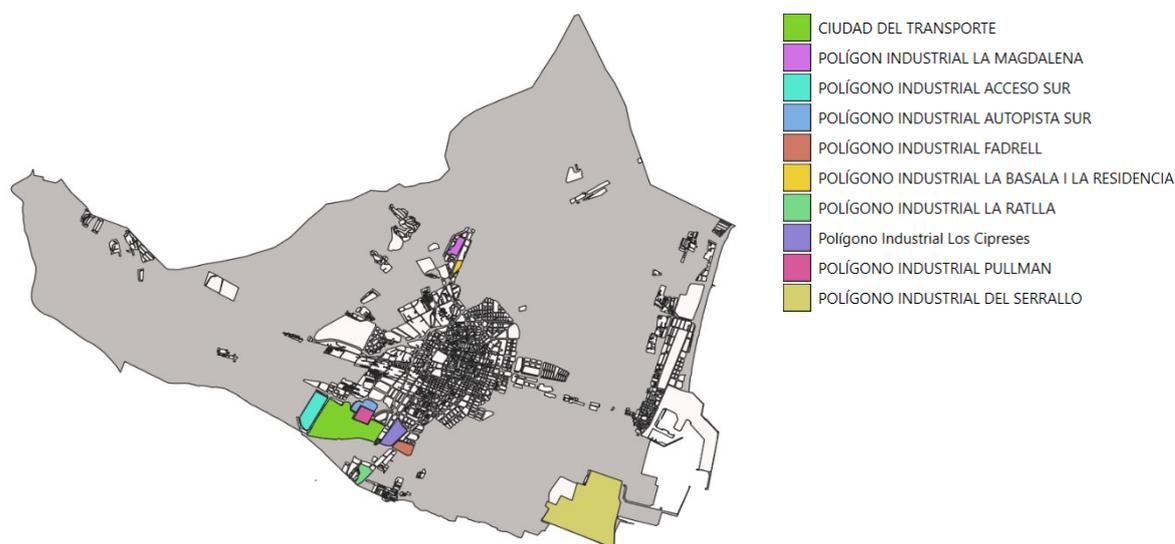


Figura 1. Polígonos industriales del municipio de Castellón de la Plana.

En la actualidad el uso de agua potable aplicado a suministros industriales/comerciales es elevado, y en un futuro debería abordarse como potenciales usuarios del agua regenerada, liberando así el uso de agua potable, pero que en la actualidad queda fuera del estudio por carecer de concesión administrativa para su uso.

2.1.3. Uso ambiental

Se trata del uso dedicado a la recuperación de espacios naturales, o la mejora del estado ambiental de espacios naturales. También abarca el uso en la recarga artificial de acuíferos o la creación de barreras contra al a intrusión salina. En el municipio no es significativa la demanda para uso ambientales.

2.1.4. Uso recreativo.

En el municipio no es significativa la demanda para usos recreativos servidos con la dotación asignada a la U2045 por la CHJ.

2.1.5. Usos públicos y urbanos.

La ciudad de Castellón de la Plana posee una población de 177.230 habitantes equivalentes. Tal como se ha visto en la Tabla 2, la CHJ ha asignado un volumen anual de agua suministrada de 16,23 hm³; sin embargo, teniendo en cuenta factores como agua no registrada, el volumen registrado se cifra en 15,71 hm³ de los cuales 8,25 hm³ anuales se destinan al uso público con agua potable. A continuación, vamos a analizar el uso que se hace del agua tanto en edificios y dependencias de índole pública como en el uso urbano para riego de zonas verdes.

2.1.5.1. Uso del agua por los servicios públicos: edificios y dependencias

Dentro del uso urbano, cabe hacer una mención especial al uso del agua en servicios públicos. Estos se pueden dividir en diferentes tipologías según el tipo de edificio y su uso:

- Centros hospitalarios: edificios públicos donde se proporcionan servicios de atención médica, diagnóstico, tratamiento y cuidado a pacientes; por ejemplo, Hospital General, Hospital Provincial, centros de salud, etc.
- Colegios públicos: edificios públicos de educación a alumnado de primaria; por ejemplo, CEIP El Pinar, CEIP Isabel Ferrer, etc.
- Centros de enseñanza oficial: edificios públicos de instituciones destinadas a brindar educación secundaria y superior al estudiantado; por ejemplo, Universitat Jaume I, IES Francesc Ribalta, etc.
- Organismos oficiales: edificios públicos que albergan oficinas y departamentos gubernamentales responsables de administrar y ejecutar políticas públicas; por ejemplo, subdelegación del gobierno en Castellón, consorcio provincial de bomberos, etc.
- Instalaciones deportivas: espacios públicos para la práctica de actividades deportivas se incluyen piscinas municipales, pabellones deportivos y campos de fútbol; por ejemplo, campo de fútbol Rafalafena, pabellón Ciutat de Castelló, instalaciones Gaetà Huguet, etc.
- Dependencias: por ejemplo, oficina de atención ciudadana, centro municipal de servicios sociales, etc.
- Mercados: mercado central, mercado de San Antonio, etc.
- Asociaciones: por ejemplo, centro de 3ª edad del Ayuntamiento de Castellón, centro cívico Cremor, etc.
- Cultura: por ejemplo, biblioteca municipal, Palau de la Festa, etc.
- Arte y oficios: por ejemplo, Escola d'Art I Superior de Disseny y Espacio de Arte Contemporáneo de Castelló (EACC)
- Almacenes: por ejemplo, almacenes del Estadio Castalia, almacenes de la Cuadra Cuartel, etc.

Uso urbano: edificios y dependencias

El uso de agua en edificios y dependencias municipales se cifra de promedio en 0,56 hm³.

Destaca el uso de agua en instalaciones hospitalarias, seguido de centros de enseñanzas y colegios, e instalaciones deportivas.

- Recreativos – teatro: el Teatro Principal
- Asilo: Centro Especializado de Atención a Mayores El Grao de Castellón (CEAM).

Para caracterizar la demanda de uso público se ha tenido en cuenta el histórico municipal registrado por el AYTO. En la Tabla 3 se presenta los datos de consumo según su tipología de los últimos cinco años.

Tipos de uso urbano	Consumo (m ³ /año)						Promedio	%
	2018	2019	2020	2021	2022			
C. hospitalarios	202.549	182.972	155.637	149.657	140.597	166.282	29,4%	
Colegios públicos	93.198	90.354	77.467	107.155	106.921	95.019	16,8%	
Centros enseñanza oficial	91.145	97.377	89.385	93.377	105.481	95.353	16,9%	
Organismos oficiales	72.873	71.959	70.619	84.199	90.457	78.021	13,8%	
Inst. deportivas	91.563	89.229	56.786	69.543	68.876	75.199	13,3%	
Dependencias	14.669	28.616	20.001	32.826	34.616	26.146	4,6%	
Mercados	21.154	11.436	9.535	21.648	22.589	17.272	3,1%	
Asociaciones	5.096	6.984	3.691	3.256	5.896	4.985	0,9%	
Cultura	3.794	2.778	2.032	3.484	3.770	3.172	0,6%	
Arte y oficios	3.008	2.869	1.857	1.700	1.952	2.277	0,4%	
Almacenes	758	605	494	730	780	673	0,1%	
Recreativos – Teatro	392	455	295	204	376	344	0,1%	
Asilo	418	445	151	59	204	255	0,1%	
Total	600.617	586.079	487.950	567.838	582.515	565.000		

Tabla 3. Histórico de consumos de agua según el tipo de uso urbano en el municipio.

Como se puede observar en la Tabla 3, existen notables diferencias en el consumo de agua potable en los edificios públicos, siendo los centros hospitalarios los edificios más demandantes de agua por las necesidades propias del oficio (higiene personal, urinarios, cocina, procedimientos médicos, limpieza, etc.), mientras que en centros como teatros y asilos se obtiene un menor consumo centrado principalmente en uso de los aseos.

En la Figura 2 se representa el consumo de agua según la tipología de edificio público para analizar la evolución de la demanda en los últimos cinco años.

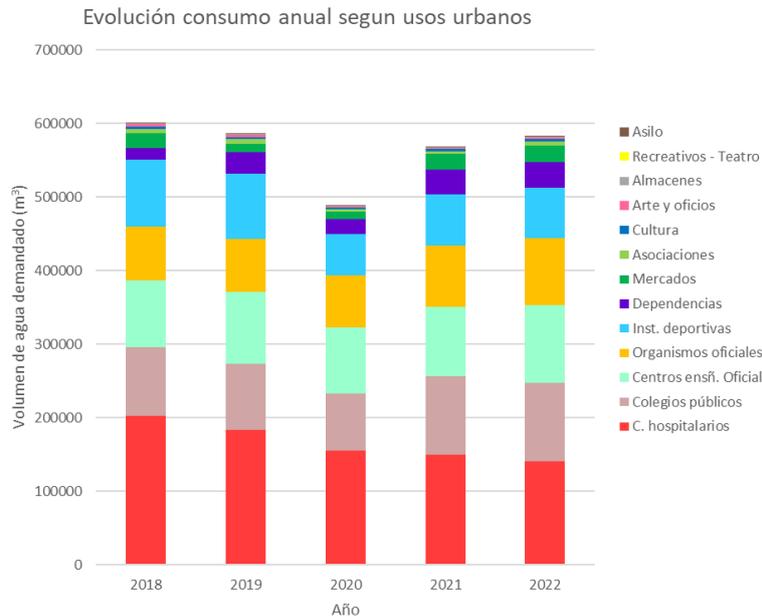


Figura 2. Evolución anual del consumo de agua de uso urbano según la tipología de edificios públicos.

En las anualidades del 2020 y 2021 se aprecia una disminución del consumo de agua total en los edificios públicos, en especial en los edificios de índole más social como son centros dedicados a asociaciones, cultura, arte y oficios o recreativos. También se puede advertir como, a partir de 2021, los colegios, centros de enseñanza oficial, organismos oficiales y dependencias registran consumos más elevados que en anualidades anteriores. Estas tendencias representan la situación real de la crisis sanitaria de la Covid-19 en el municipio. Las edificaciones de carácter social y cultural tuvieron una menor afluencia de público debido a las restricciones para el cumplimiento de la distancia social consiguiendo disminuir el uso de agua en los edificios, mientras que los centros educativos y edificios institucionales fueron poco a poco volviendo a la normalidad, pero con un aumento significativo de las medidas de higiene personal incrementando el uso de agua en el lavado de manos, limpieza, etc.

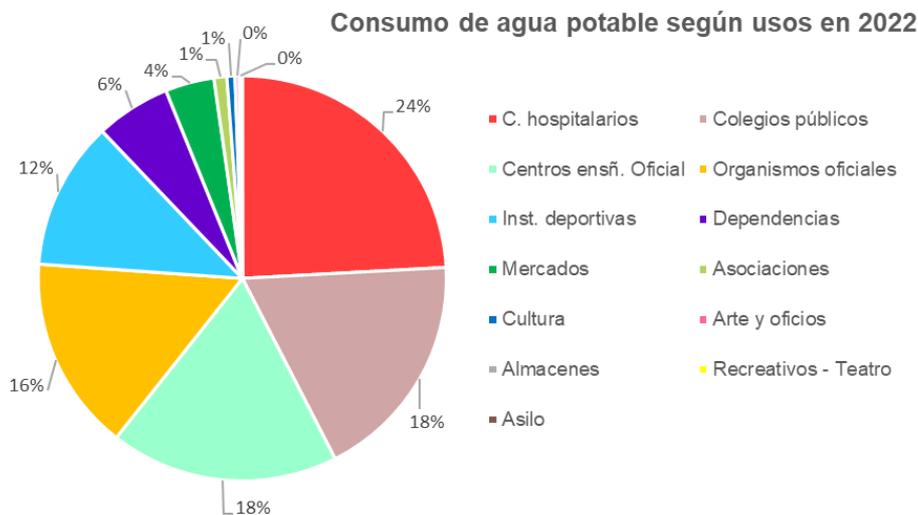


Figura 3. Distribución de los consumos de agua según el tipo de uso público en 2022.

En la actualidad, la tendencia del consumo de agua en edificios públicos vuelve a asimilarse a valores de antes de la pandemia, con un consumo anual de 582.515 m³ de agua. En la Figura 3 se presenta la distribución de consumos por tipología de edificio para la anualidad de 2022.

Como se ha señalado anteriormente, la tipología de edificios públicos que más agua demandan son los centros hospitalarios con un 24% del consumo total anual, mientras que los centros de educación primaria y los centros de enseñanza oficial (secundaria, superior, etc.) consumen cada uno otros 18% del total. Por el contrario, los consumos de agua en edificios destinados a arte y oficios, almacenes, recreativos-teatro y asilo cuentan cada uno con un porcentaje menor al 1% del consumo total anual.

2.1.5.2. Uso del agua por los servicios urbanos: riego de parques y jardines

La ciudad de Castellón de la Plana cuenta con catorce parques principales destinados al recreo y al esparcimiento de la ciudadanía ⁶, Figura 4 Así como multitud de jardines y otras zonas verdes distribuidos por todo el municipio, Figura 6.

Estos parques están distribuidos entre el casco urbano de la ciudad (parque Auditorio, parque de la Botánica Carmen Albert, parque Censal, parque Geólogo Royo, parque de los Juegos Tradicionales, parque Mérida, parque de la Plaza de las Comunicaciones, parque Pont de Ferro, parque Rafalafena y parque Ribalta) y del Grao (parque Litoral, parque de la Plaza de la Panderola y parque del Pinar); quedando el parque del Meridiano en la zona de la marjalería con motivo del cruce del meridiano de Greenwich y el paralelo 40. En la Figura se representan las localizaciones de cada uno de los catorce parques en el municipio de Castellón de la Plana.



Figura . Localización de los catorce parques principales del municipio de Castellón de la Plana.



Parque Geólogo Royo



Parque Litoral



Parque Mérida



Parque del Meridiano



Parque de la Plaza de la
Panderola



Parque del Pinar



Parque Pont de Ferro



Parque Rafalafena



Parque del Ribalta



Parque Censal



Parque Auditorio



Parque Plaza de las
Comunicaciones



Parque de la Botànica Carmen
Albert



Parque de los Juegos
Tradicionales

Figura 4. Listado de los parques de la ciudad de Castellón de la Plana. Fuente: Fichas de parques de la ciudad confeccionada por el AYT0.

Con el ánimo de analizar el efecto del uso del agua regenerada en las especies vegetales de los jardines municipales, se elaboró un “*Estudio botánico para la implantación del riego con agua regenerada en los parques y jardines de Castellón de la Plana*” en el que se analiza las especies vegetales de los principales parques del municipio, y se realiza una catalogación de las zonas que actualmente están regadas con agua regenerada. En la Tabla 4 se muestran las principales especies de estos jardines.



Áreas	Especies
Boulevard Blasco Ibáñez	Palmeras datileras (6 uds), Washingtonia robusta (130 uds), tipuanas (118 uds). También praderas de cespitosas, plantaciones de arbustivas con laureles (9 Uds) y setos de lantanas y mirtos.
Parque del Auditorio	Praderas de cespitosas (20.179 m ²); plantaciones de arbolado con almeces (53 uds), naranjos amargos (251 uds), fresnos (42 uds), moreras (300 uds), pinos (235 uds), sóforas (105 uds) y olmos 10 (uds). Además, arbustivas como bambús, teucrios, bojs, hiedras y ficus benjamina.
Parque Rafalafena	Plantaciones de arbolado con cipreses (183 uds), grevilleas (15 uds), <i>Ficus rubiginosa</i> (11 uds), jacarandas (4 uds), palmeras datileras (100 uds), pinos canarios (8 uds), chopos negros (29 uds), falsas pimienta (7 uds), olivos (6 uds) y laureles de indias (15 uds). Entre las arbustivas se distinguen aromáticas, durillos, adelfas, hibiscus, evonimus y cotoneaster. Praderas de cespitosas, madroños, granados, palmitos y palmeras de Nepal.
Pau Gumbau	Pradera de especies cespitosas (7.558 m ²) y especies de arbolado con arces (10 uds), brachychitons (8 uds), broussonetias (7 uds), cercis (14 uds), choricias (34 uds), cipres de Arizona (10 uds), ginkgo (14 uds), calocedrus (2 uds), eritrinas (4 uds), tipuanas (1 uds) y alcanfores (4 uds). Entre las especies arbustivas diferenciamos eugenias, bojs y laureles entre otras. Se incluyen ejemplares de Washingtonia robusta, strelitzias y moreras.
Lledó	Praderas de césped (13.500 m ²) y plantaciones de arbolado con almeces (40 uds), cipreses (5 uds), moreras (129 uds), olivos (6 uds), pinos carrascos (28 uds) y pinos piñoneros (11 uds), ciruelos rojos (30 uds), encinas (53 uds), gleditsias (15 uds), grevilleas (39 uds), jacarandas (12 uds), magnolios (5 uds), plátanos (53 uds), syagrus (9 uds), sóforas (4 uds), falsa acacia (3 Uds), Washingtonia robusta (8 uds.) Las arbustivas más representativas son durillos, lantanas y abelias. Cuneta con ejemplares de tipuanas, laurel de indias y naranjos amargos.
Piscina Provincial	Pradera de cespitosas (2.847 m ²); plantaciones de arbolado de grevilleas (6 uds), jacarandas (13 uds), olivos (1 Uds) palmeras datileras (1 ud), tipuanas (10 uds) y encinas (6 uds). Especies arbustivas como evonimus, lantanas, adelfas, pitósporos y bojs entre otras.

Tabla 4. Principales especies vegetales de los jardines y parques actualmente regados con aguas regeneradas.

Este informe concluye que “tras varios años usándose esta agua para riego en algunas zonas verdes de la ciudad de Castellón de la Plana, no se detectan patologías de estrés salino en las especies ornamentales existentes en dichas zonas verdes. Por lo tanto, se puede extender el uso de esta agua para regar otros espacios verdes de la ciudad siempre que se mantenga la calidad actual.”

En el ámbito de este estudio, el AYTO ha dividido las zonas ajardinadas del municipio en catorce zonas de riego diferenciadas para poder agrupar necesidades y dotaciones y facilitar su gestión. En la Tabla 5 se presentan cada una de las catorce zonas, así como los parques, jardines y zonas verdes a los que abastecerán cada una de las zonas. En la misma tabla también se ha señalado la concesión de agua regenerada que afecta a cada zona ajardinada.

Zonas	Parques, jardines y zonas verdes	Concesión			
		2008	2016	2022	Futura
Zona Auditorio y Juzgados	Ronda Norte Bv. Blasco Ibáñez Auditorio Parque Rafalafena Parque Tombatossals C/ Calderón de la Barca Parc dels Jocs Tradicionals Av. Mare de Deu del Lledó				
Zona Avd. Ferrandis Salvador	Avd. Ferrandis Salvador				
Zona Avd. del Mar	Avd. del Mar				
Zona Avd. Valencia	Parque Santa Rosa Parque de la Dolçaina y el Tabalet Plaza del Mar de Barents				
Zona Censal	Río Nalón Pau Censal I (Centro) Pau Censal I (Sur) Parque Geólogo José Royo Pau Censal I (Norte)				
Zona Ciudad del Transporte	Jardines Ciudad del transporte Jardines Polígono San Lorenzo				
Zona Litoral	Parque Litoral				
Zona Pequeños jardines verdes centro	Parques y jardines alejados de las otras zonas del municipio.				
Zona Rafalafena	Jardines alrededor parque Rafalafena				
Zona Ribalta	Donoso Cortés Av. Barcelona Alcalde Vicente Meliá Parque Ribalta Paseo Morella Campsa				
Zona Río Seco	Pont de Ferro Río Sec Av. Barcelona Antiga Corona d'Aragó Bv. Río Seco y Ronda Oeste				
Zona Ronda Este y futuro parque Avd. Chatellerault	Jardines ronda este Parque Avd. Chatellerault				
Zona Salera	Boera Estepark				
Zona UJI	Roser UJI Raval Universitari Parque Carmen Albert Cementerio San José Corredor Río Seco				

Tabla 5. Parques, jardines y zonas verdes que incluyen cada zona de riego definida.



En la Figura6 de la página siguiente se muestra un mapa con la localización de las zonas ajardinadas en el municipio.

En total, teniendo en cuenta la superficie del área ajardinada de cada una de las zonas definidas se estima su consumo anual. Para realizar el cálculo se tiene en cuenta la dotación para riego de plantas ornamentales tal como se estipula en la Normativa extraída del Real Decreto 35/2023, de 24 de enero⁷, a través del cual se aprobó la revisión de Plan Hidrológico de Cuenca de la Confederación Hidrográfica del Júcar 2022-2027, en el que se establece una dotación neta para el cultivo de flores y plantas ornamentales de 5.100 m³/ha/año”.

Uso urbano: riego de zonas verdes

En la actualidad se tiene autorización para regar 472.667 m² de zonas verdes con agua regenerada. Este plan analiza las previsiones para alcanzar en un futuro el riego de 1.206.278 m² de zonas verdes utilizando aguas regeneradas.

Así pues, teniendo en cuenta que para el período de 2022-2027 se ha modificado la dotación máxima de riego para zonas verdes, se ha aprovechado para actualizar el cálculo de la superficie total de cada una de las catorce zonas del municipio, así como su consumo estimado. En la Tabla 6 se muestran las superficies actualizadas de cada una de las zonas, divididas a su vez por la concesión de agua regenerada de la que son partícipe, así como el consumo estimado anual en m³ a partir de la dotación establecida de 0,510 m³/m²/año. En la penúltima fila se muestra el total de cada partida, y en la última fila se indica el total acumulado sumando las fases previas. En la Tabla 6, y en lo que resta de documento, al objeto de su simplificación, se integra la dotación dedicada al parque Litoral, cuya concesión se obtuvo en 2008, en la dotación concedida en el 2016.

⁷ Normativa extracto BOE del Plan Hidrológico de Cuenca de la Confederación Hidrológica del Júcar 2022-2027.



Figura 5. Localización de las zonas de parques y jardines en la ciudad de Castellón de la Plana.



Zonas	Superficie (m ²)			Consumo Estimado (m ³ /año)		
	Concesión 2016	Concesión 2022	Concesión Futura	Concesión 2016	Concesión 2022	Concesión Futura
Zona Auditorio y Juzgados	179.729			91.661,79		
Zona Avd. Ferrandis Salvador		2.131			1.086,81	
Zona Avd. del Mar		41.257			21.041,29	
Zona Avd. Valencia			29.867			15.232,35
Zona Censal			65.798			33.556,98
Zona Ciudad del Transporte			120.202			61.303,18
Zona Litoral	63.780			32.527,80		
Zona Pequeñas jardines verdes centro			160.224			81.714,24
Zona Rafalafena			19.386			9.886,86
Zona Ribalta			76.536			39.033,36
Zona Río Seco		28.034			14.297,34	
Zona Ronda Este y futuro Parque Avd. Chatelleraut		157.736			80.445,20	
Zona Salera			74.941			38.219,91
Zona UJI			186.657			95.195,07
Total	243.509	227.027	733.611	124.189,59	116.870,64	374.141,95
Total Acumulado	243.509	472.667	1.206.278	124.189,59	241.060,23	615.202,18

Tabla 6. Zonas de riego de parques y jardines, con datos de superficie y consumo estimado actualizados para el riego con agua regenerada anual.

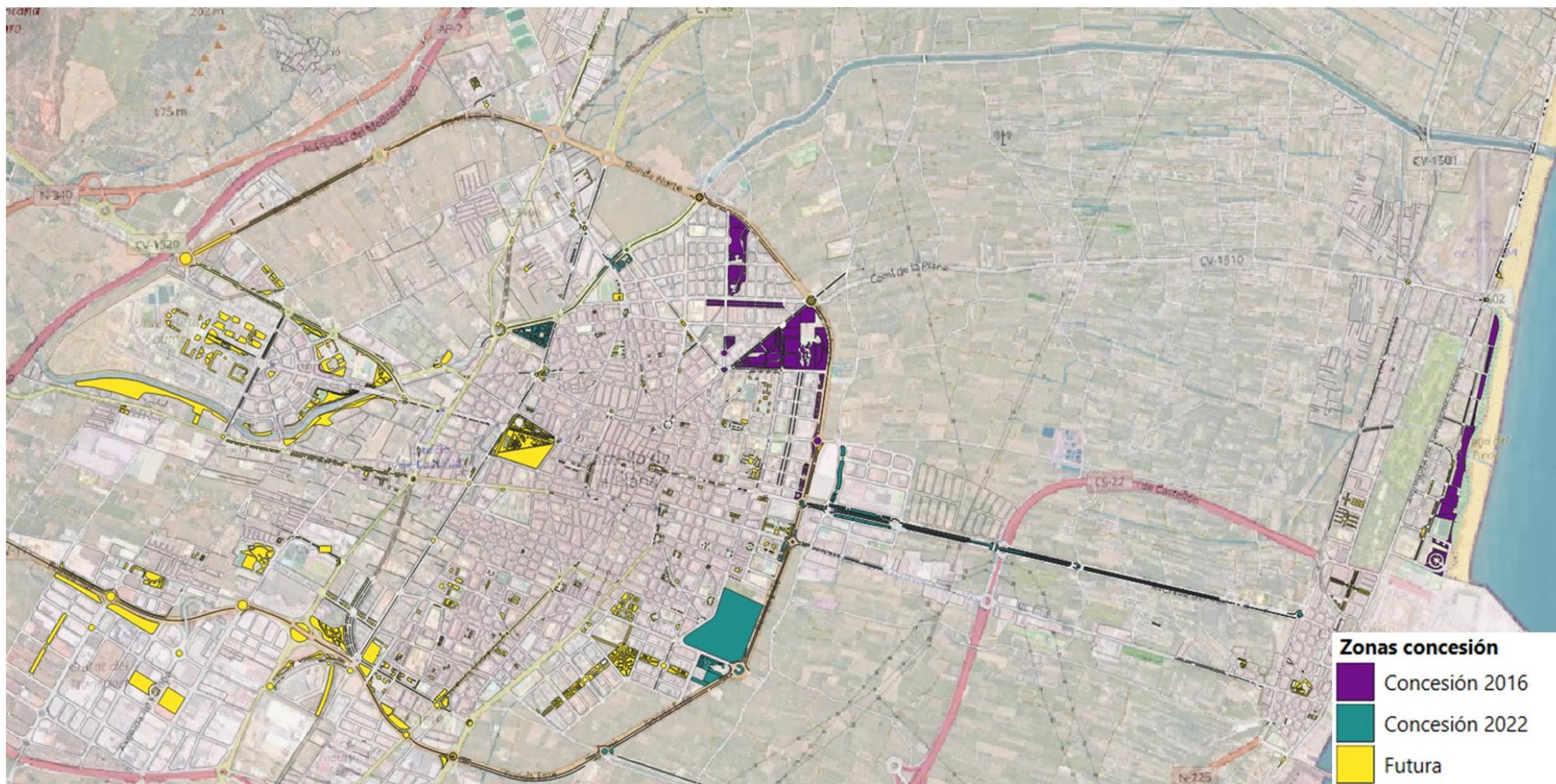


Figura 6. Representación de las catorce zonas de riego en función del año de concesión: 2016, 2022 o escenario futuro.

En la Tabla 7 se muestran las superficies y consumos totales definidos en las dotaciones concedidas en 2016 y 2022, y la estimación de los metros cuadrados reales a través de una medición más exacta de las parcelas, así como una estimación del consumo corregido con la dotación de 5.100 m³/ha/año. Estos valores corregidos y actualizados son los que se tomarán como estimación para los cálculos del plan director.

	Concesión CHJ 2016 + 2022	Valores utilizados en el PDAR
Superficie (ha)	59,63	47,26
Dotación (m³/año)	539.059	241.060

Tabla 7. Comparativa de superficies y consumo estimado total en las dotaciones concedidas respecto a los valores actualizados según la nueva dotación establecida por la CHJ para el período 2022-2027.

Así pues, a partir de las cifras de consumo de agua anual de la Tabla 6 se conforma un gráfico circular para representar los porcentajes del consumo total anual que necesita cada zona, Figura 7.

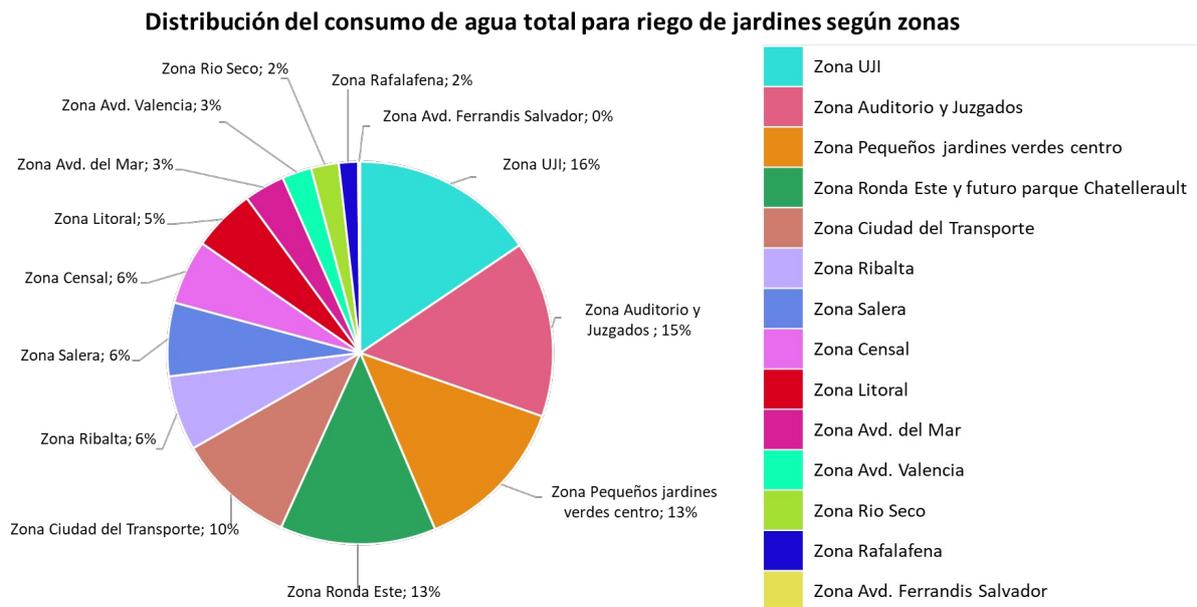


Figura 7. Representación del porcentaje de consumo de agua de cada una de las catorce zonas definidas por el AYTO respecto del consumo total anual.

La mayoría de las zonas anteriormente definidas se riegan con agua potable. Sin embargo, para fomentar la transición del uso de fuentes tradicionales (agua subterránea del acuífero) por fuentes alternativas, tras obtener la concesión del permiso de riego por parte de la CHJ en 2016 se emplea el agua regenerada procedente de la EDAR para el riego de la zona definida como Zona Auditorio y Juzgados y Zona Litoral. Como se puede comprobar, a partir de la Figura 7, la zona más demandante de agua para el riego es la que actualmente se riega con agua regenerada, por lo que con la transición del uso de fuentes alternativas se ha conseguido ahorrar un 20% de agua potable, lo que constituye unos 124.189,59 m³ anuales.

Finalmente, en la Figura 8 se presenta la distribución porcentual de cada uno de los consumos de agua en edificios públicos y riego de parques y jardines respecto del consumo total anual para el uso urbano en la anualidad de 2022. Así pues, el riego de parques y jardines supone el uso del 51% del consumo total de uso público, siendo el 41% para riego con agua potable y 10% para riego con agua regenerada. Por el contrario, el consumo de agua en los edificios públicos supone el 49% restante del total.

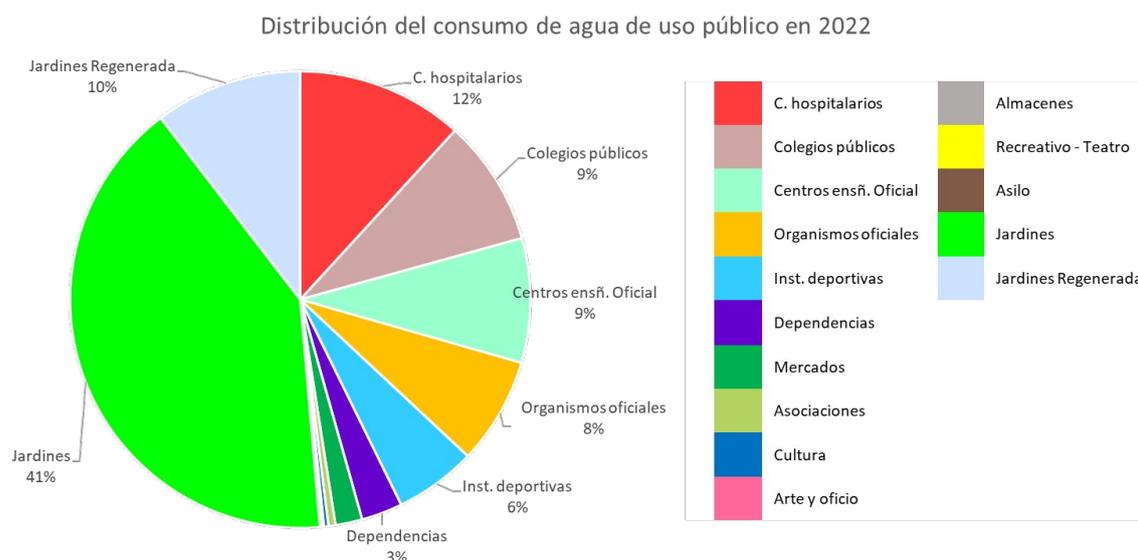


Figura 8. Distribución de los consumos de agua en 2022 según el tipo de uso público: edificios públicos y jardines.

2.2. Evaluación de la eventual sustitución de agua potable por agua regenerada

Tal como se indica en la Tabla 1 la dotación actual concedida por la CHJ para el riego conjunto de jardines y limpieza de viales con agua regenerada en la ciudad de Castellón es de 598.198 m³/año. De este volumen demandado, el riego de jardines tiene una dotación de 539.059 m³/año con una superficie autorizada para el riego de 59,63 hectáreas. En la actualidad, solamente se riega con agua regenerada las zonas identificadas como Zoma Litoral y Zona Auditorio y Juzgados. Por tanto, teniendo en cuenta la superficie actualizada, así como su correspondiente consumo estimado a partir de la nueva dotación para riego de zonas verdes establecida por la CHJ para el período de 2022-2027, se dispone de un volumen de agua regenerada restante de 414.869,41 m³/año de la dotación exsistente para su utilización en el riego de otras zonas, Tabla 8.

	Concesión CHJ 2016 + 2022	Situación actual	Disponibilidad restante de la Concesión actual
Superficie (ha)	59,63	24,35	
Volumen Agua regenerada (m³/año)	539.059	124.189	414.869

Tabla 8. Disponibilidad restante de la dotación concedida para el riego de jardines con agua regenerada.

Hay que notar que la EDAR de Castellón de la Plana trata un volumen de 13,25 hm³/año, y que la concesión para riego de zonas verdes con agua regenerada, 0,53 hm³ sólo representa el 4 % del volumen depurado, así, aún con las reservas medioambientales para riegos tradicionales de 12 hm³ para épocas de sequía severa, estamos todavía lejos de agotar sus capacidades, por lo que se puede prever sostenibilidad en el aporte de esta fuente no convencional.

El uso de agua regenerada para el riego de todas las zonas ajardinadas de Castellón

Actualmente, la zonas más demandante de riego (Litoral, Auditorio y Juzgados), ya se riegan con agua regenerada, con lo que se ha conseguido ahorrar un 20% de agua potable.

Así pues, al contar con un gran margen tanto en la dotación disponible en la concesión actual de riego de jardines como en el porcentaje de explotación de agua regenerada tratada por la EDAR, existe la posibilidad de aumentar el número de zonas del municipio en las que se realice el riego con agua regenerada.

En la propuesta para la dotación de 2022, el AYTO planteó la ampliación de riego con agua regenerada a las zonas de la Avd. del Mar, Ronda Este, Río Seco y Avd. Ferrandis Salvador, lo que añade una superficie 227.027 m², lo que con la nueva dotación de 5.100 m³/ha/año añade un volumen de riego de 116.870,64 m³/año, Tabla 6. El volumen acumulado de riego añadiendo esta nueva zona, ya prevista en la concesión, se situará en 241.060,23 m³/año. Por lo que como se puede deducir de la Tabla 9, se generaría un excedente de agua regenerada 297.999 m³/año.

Este remanente de la dotación puede ser utilizado para ampliar las zonas de riego, las cuales se pueden ver en Tabla 5. El detalle del consumo de cada una de estas zonas verdes, y el total se detalla en la Tabla 6. En la Tabla 9 se presentan las superficies y consumos resultantes que reflejan la situación actual y las posibles demandas futuras para una eventual sustitución del riego con agua regenerada.

	Concesión CHJ 2016 + 2022	Zonas concesión 2016 + 2022	Futuras zonas verdes	Total Zonas verdes municipales
Superficie (ha)	59,63	47,26	73,36	120,62
Volumen Agua regenerada (m³/año)	539.059	241.060	374.141	615.202

Tabla 9. Demandas de agua regenerada riego actual y las demandas para la eventual sustitución en las zonas identificadas durante la ampliación de la dotación en 2022 así como para todas las zonas del municipio.

Después del análisis detallado de dotaciones y consumos, tanto actuales como futuras, se concluye que, con la dotación concedida, después de actualizar superficies y necesidades de riego, se cubre las necesidades que actualmente se tiene previstas en la concesión realizada por la CHJ, generando un excedente cercano a los 300.000 m³/año. Este excedente puede ir a cubrir la práctica totalidad de las zonas verdes planteadas en la ciudad de Castellón, tanto actuales como en previsión dentro del plan general de Castellón. La dotación de 5.100 m³/ha/año está sobredimensionado en algunos jardines, por lo que es de prever que con la dotación actual se pueda plantear el riego de la totalidad de las zonas ajardinadas, salvo las muy dispersas o las zonas muy reducidas que quedarían fuera de la red de riego con agua regenerada por la dificultad de desplegar esta red en esas zonas, tanto por consideraciones técnicas como económicas.

3. ESTUDIO DEL ACUÍFERO DE LA PLANA

3.1. Geología e hidrología

El término municipal de Castellón se encuentra ubicado sobre el acuífero de la Plana de Castelló (Masa de Agua Subterránea 080.127).

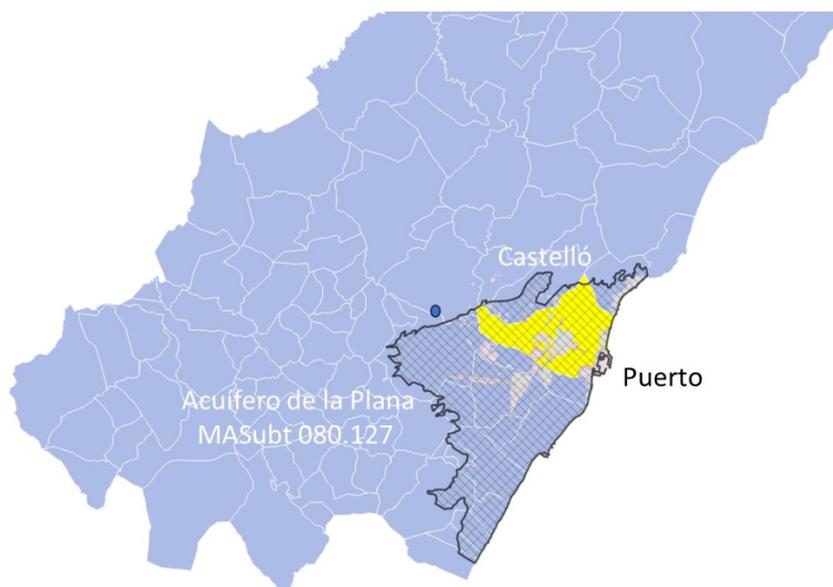


Figura 9. Ubicación de Castellón dentro del acuífero de la plana (MASubt. 080.127).

El acuífero de la Plana de Castelló, Masa de Agua Subterránea MASubt 080.127, tiene una extensión de unos 460 km² y está constituido por un conjunto de sedimentos terciarios y cuaternarios (pliocuaternarios) de naturaleza detrítica (gravas, arenas y conglomerados con una matriz eminentemente limo-arcillosa), ver Figura 10. El acuífero más superficial se localiza sobre materiales mesozoicos los cuales constituyen un segundo acuífero, o sobre sedimentos terciarios miocenos de naturaleza margosa. La heterogeneidad en la composición y distribución espacial de los materiales detríticos constituyentes del acuífero, con frecuentes cambios laterales de facies y lentejones, hace difícil establecer una continuidad de estratos (cambios laterales de facies).

Los límites hidrogeológicos del acuífero están definidos por los afloramientos de los materiales mesozoicos de los relieves montañosos colindantes y el mar Mediterráneo al este. Al norte limita con las calizas cretácicas del sistema Javalambre – Maestrazgo. El límite occidental, en su mayor parte, está en contacto con calizas y dolomías del Muschelkalk y Jurásico, y areniscas del Buntsandstein, aunque un tramo es impermeable (materiales del Triásico superior e inferior). El límite meridional presenta continuidad hidrogeológica con el acuífero de la Plana de Sagunto.

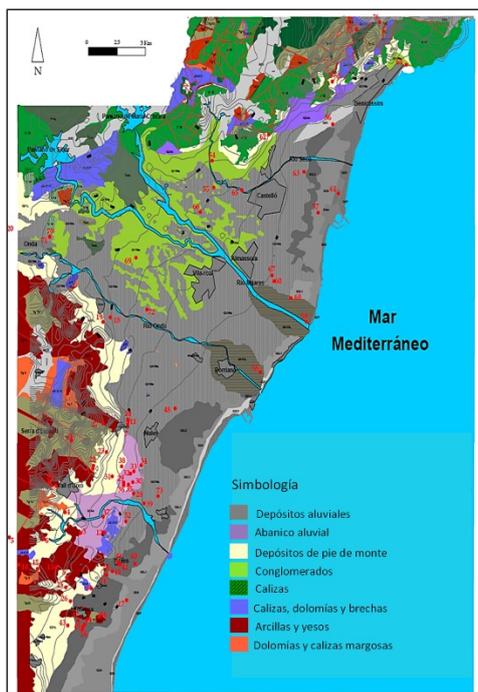


Figura 10. Mapa geológico de la Plana de Castellón (Boi, 2003) y ubicación de la ciudad de Castellón de la Plana.

El espesor de los sedimentos pliocuaternarios que constituyen el acuífero en explotación, a rasgos generales, aumenta del interior hacia la costa (en forma de cuña), llegando a superar los 250 m en el sector central costero.

En cuanto a la recarga del acuífero, ésta es debida a: las transferencias laterales subterráneas (TLS) desde los acuíferos colindantes (acuíferos constituidos por calizas cretácicas del sistema Javalambre – Maestrazgo, y las calizas y dolomías del Muschelkalk y Jurásico), el río Millars, las infiltraciones de las precipitaciones y, en menor cuantía, por los retornos de riego. Por otro lado, las salidas, básicamente son mediante bombeos, a través de las zonas húmedas localizadas en la costa y por los aportes subterráneos del acuífero al mar. El flujo subterráneo transcurre en general desde el interior hacia la costa, aunque en algunos sectores, sobre todo costeros, se invierte el sentido debido a la intensa explotación de los recursos en aquellos años de menores precipitaciones.

El acuífero de la Plana

La ciudad de Castellón de la Plana se asienta sobre el acuífero costero de la Plana, con una extensión de unos 460 km² y constituido por un conjunto de sedimentos terciarios y cuaternarios de naturaleza detrítica, gravas, arenas y conglomerados con una matriz eminentemente limo-arcillosa. Se trata de una zona vulnerable a nitratos y en la actualidad está considerada como masa de agua subterránea en mal estado cualitativo, por nitratos e intrusión marina.

Los parámetros hidrogeológicos característicos del acuífero vienen dados por los caudales específicos de las captaciones existentes con valores entre 1 y 20 l/s/m, las transmisividades que están comprendidas entre 500 y 6.000 m²/día, el coeficiente de almacenamiento que varía entre 5 y 15% y la permeabilidad con valores entre 30 y 120 m/día (Renau-Llorens, 2010⁸).

La ciudad de Castellón se encuentra ubicada en la zona central del acuífero de la Plana de Castelló, en donde el acuífero detrítico tiene espesores entre 90 y 130 m, teniendo como base los materiales calizos, así como lentes arcillosos. En el área, la permeabilidad del acuífero varía entre 30 y 100 m/día, las transmisividades en torno a 3.000 m²/día, y el coeficiente de almacenamiento presenta valores entre 5 y 10% (ITGE, 1990⁹). En esta área, en general, la cota de la superficie piezométrica del acuífero decrece de oeste a este, es decir, desde las zonas de mayor cota topográfica hacia el mar Mediterráneo. Según esta disposición general, la circulación del agua subterránea del sistema sigue una dirección O-E, desde el interior hacia la costa, Figura 11. En la zona costera se encuentran cotas piezométricas entre 1 y 0 m s.n.m., mientras que en los sectores más interiores se alcanzan 50 m s.n.m, Figura 11. A lo largo de los años se producen oscilaciones que reflejan la alternancia de periodos secos y húmedos, coincidentes, a su vez, con incrementos y descensos de los bombeos. Las áreas que más acusan las épocas secas, y que llegan a alcanzar cotas por debajo del nivel del mar, se localizan en los extremos norte del acuífero, especialmente en el sector de Benicàssim (Renau-Llorens, 2010).

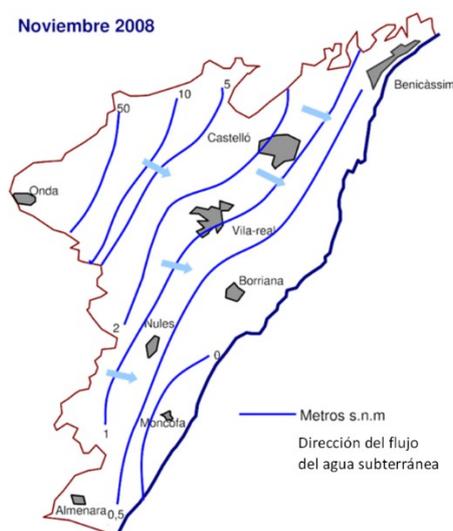


Figura 11. Mapa piezométrico del acuífero de la Plana de Castelló con datos obtenidos en noviembre del 2018 (Renau-Llorens, 2010).

⁸ Renau-Llorens (2010). Elementos minoritarios y traza en la masa de agua subterránea 080.21 (Plana de Castelló). Origen y procesos asociados. Tesis Doctoral, Universitat Jaume I.

⁹ ITGE (1990). Planas de Castellón y Sagunto. Serie manuales de utilización de acuíferos. Dirección de aguas subterráneas. Instituto Tecnológico y Geominero de España.

3.2. Climatología

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, el clima es en general semiárido templado y frío (BSk), si bien está muy cerca del límite con el clima mediterráneo, el relieve de la zona le otorga un carácter de continentalidad. La temperatura media anual es de 18°C con valores medios oscilan entre los 11°C de enero y los 26,2°C de agosto y donde la precipitación media anual es de 435 mm/año. Las precipitaciones suelen darse en cortos periodos de tiempo (incluso horas) y con una fuerte intensidad, pudiendo llover en pocos días un tercio de lo que llueve en un año.

La estación meteorológica más cercana a la zona de estudio es la Castellón-Benadresa, perteneciente a la red de Estaciones Meteorológicas del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. Sus coordenadas son UTM X: 745965.000, Y: 4430550.000. Para el periodo comprendido 2001-2022, la precipitación media en esta estación es de 477 mm/año y la temperatura de 16.7°C, Figura 12.

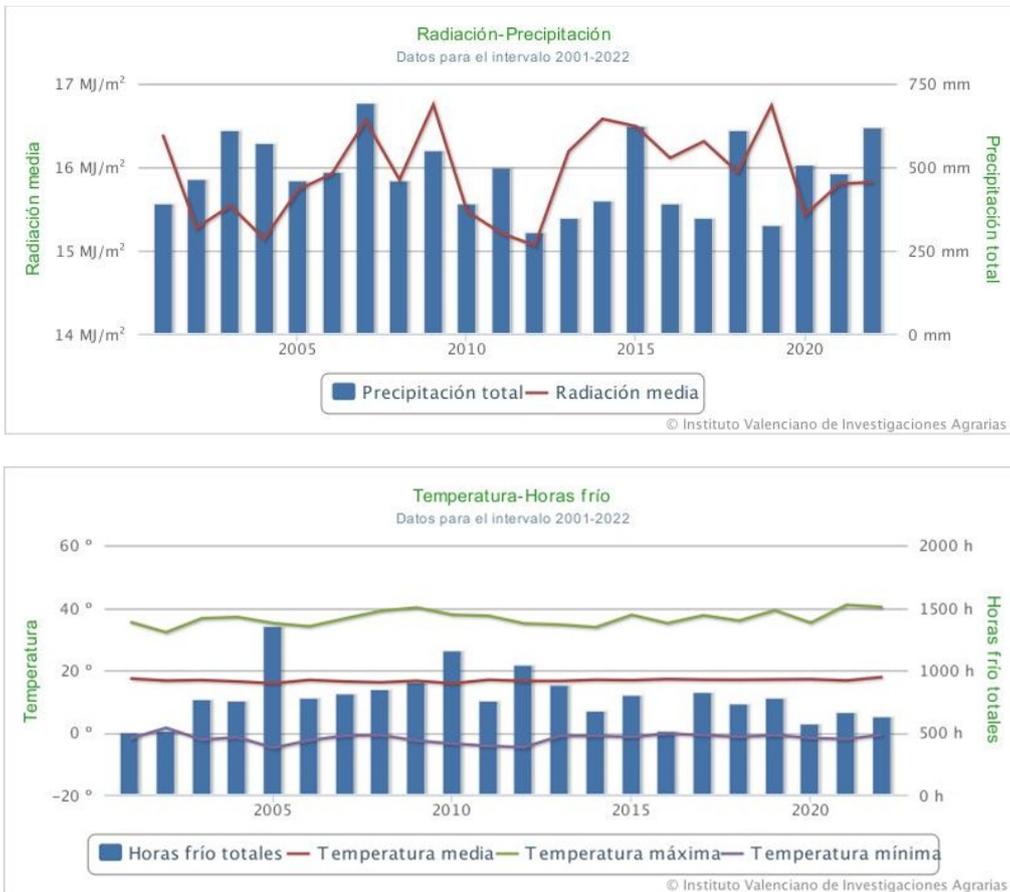


Figura 12. Datos de precipitación y temperatura Estación IVIA Castellón-Benadresa.

3.3. Características fisicoquímicas de las aguas subterráneas

Sobre la calidad del agua subterránea en la MASubt 080.127, hay que resaltar dos parámetros importantes: la concentración de nitratos y la de cloruros. Las mayores concentraciones de cloruros, en el acuífero de la Plana, se localizan en el sector norte (zona Benicàssim) y sur (zona Moncofa) (Ballesteros et al. 2016¹⁰), debido a la presencia de intrusión marina, siendo éste un problema localizado. Por otra parte, la concentración de nitratos en las aguas subterráneas se extiende a todo el territorio debido a la actividad agrícola intensiva. Ésta comenzó la segunda mitad del siglo XX y se intensificó en los años 80 del pasado siglo. La preocupación de la administración pública frente a la contaminación de la MASubt 080.127 es debida a que ésta está catalogada como zona vulnerable a nitratos y en la actualidad está considerada como masa de agua subterránea en mal estado cualitativo, por nitratos e intrusión marina (CHJ, 2021¹¹).

En la zona de estudio se presenta especial atención a la presencia de cloruros y nitratos, que suelen ser los parámetros que frecuentemente limitan el uso del agua subterránea (CHJ, 2021).

Las altas concentraciones de cloruros presentes en el agua subterránea de la Plana de Castelló se localizan básicamente en el sector norte (Benicàssim) y en el sector sur (Nules-Moncofa). Esta alta concentración de cloruros es debida a la intrusión marina, la cual está propiciada por las extracciones de agua subterránea (usos urbano y agrícola) y unas transferencias laterales subterráneas bajas, debido a la hidrogeología de la zona, y que da lugar a descensos del nivel piezométrico del agua subterránea, con cotas por debajo del nivel del mar que favorecen el avance de la cuña salina y, por tanto, el incremento de la salinidad del agua subterránea.

En el sector central las aguas subterráneas no presentan dicha problemática. En este sector central, la alimentación o recarga de agua que recibe el acuífero (zona de Alcora y Onda) por las transferencias laterales subterráneas desde los acuíferos colindantes es relevante, además de que el río Mijares, en las cercanías de Vila-real, alimenta al acuífero con sus aguas de origen superficial. En la zona de estudio, las concentraciones de cloruros con base en los datos de Renau-Llorens (2010), obtenidos a partir de una campaña de muestreo llevada a cabo en 2007, variaron entre 50 y 90 mg/L (Pozos Tau, Lledó y Sensal, identificados al norte, este y sur de la zona urbana, respetivamente, Figura 13, valores por debajo de la concentración de 200 mg/L que es el valor del indicador de calidad del agua por la presencia de cloruros que se describe en el RD 3/2023 en el cual se establecen los criterios técnico-sanitarios de la calidad del agua de consumo, su control y suministro (BOE¹²).

10 Ballesteros BJ, Morell I, García-Menéndez O, Renau-Pruñonosa A (2016). A standardized index for assessing seawater intrusion in coastal aquifers: The SITE index. *Water Resources Management*. Vol 30 (13): 4513-4527. DOI: 10.1007/s11269-016-1433-4

11 Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ, 2021). Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Memoria –Anejo 12- Evaluación del estado de las masas de agua superficial y subterránea. Ciclo de planificación hidrológica 2022-2027.

12 Real Decreto 3/2023, de 10 de enero, por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de la calidad del agua de consumo, su control y suministro. <https://www.boe.es/eli/es/rd/2023/01/10/3/dof/spa/pdf>

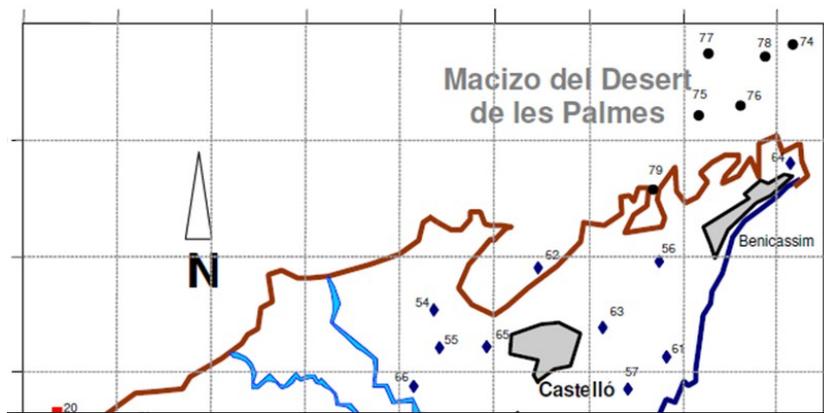


Figura 13. Localización de pozos con información hidroquímica. Punto 57: Pozo Sensal, Punto 63 Pozo Lledó, Punto 65 Pozo TAU (Renau-Llorens, 2010).

En cuanto a la concentración de nitratos, Renau-Llorens (2010), puso de manifiesto que, aunque en general las concentraciones del agua subterránea superaban los 50 mg/L incluso alcanzando los 300 mg/L en la zona comprendida entre Nules y la Vall d'Uixó, se observaba una estabilización y descenso de los nitratos en las últimas décadas. En el año 2007, en la zona de estudio se determinaron concentraciones que variaban entre 80 y 100 mg/L (Pozos Tau, Lledó, y Sensal).

Las altas concentraciones de cloruros presentes en las aguas subterráneas de la Plana de Castelló se localizan básicamente en el sector norte (Benicàssim) y en el sector sur (Nules-Moncofa). Esta alta concentración de cloruros es debida a la intrusión marina, la cual está propiciada por las extracciones de la zona (urbano y agrícola) y TLS con caudales inferiores a los que recibe el acuífero por el sector central (SC). En el SC las aguas subterráneas no presentan dicha problemática. En esta zona la alimentación que recibe el acuífero (zona de Alcora y Onda) es relevante, además que el río Mijares, en las cercanías de Castellón, alimenta al acuífero con sus aguas.

Otra característica que considerar es el grado de salinidad del agua subterránea, medida como conductividad eléctrica, que, en el área de estudio, para este mismo año 2007, presentó valores comprendidos desde 746 a 1054 $\mu\text{S}/\text{cm}$, valores que aumenta ligeramente a medida que los pozos se ubican más próximos a la costa (Renau-Llorens, 2010).

En el Plan Hidrológico de cuenca 2015-2021, en el Anejo 12 dedicado a la Evaluación del estado de las masas de agua superficial y subterránea, considera la masa de agua 080.127 como malo tanto en el estado cualitativo como en el cuantitativo, iniciando en que el balance hídrico, un índice de explotación elevado, y sobre todo la contaminación por nitratos como factores que condicionan el riego cuantitativo. En el anejo 8 dedicado a objetivos medioambientales declara que esta masa de agua presenta presión por extracciones, por alteración de la recarga (natural y artificial) y por intrusión marina, y fija su objetivo medioambiental en la reducción hasta una concentración 50 mg/L de Nitratos para el 2027.

La preocupación de la administración pública frente a la contaminación de la MASubT 080.127 es debida a que ésta está catalogada como zona vulnerable a nitratos y en la

actualidad está considerada como masa de agua subterránea en mal estado cualitativo, por nitratos e intrusión marina (CHJ¹³).

En cuanto a la intrusión marina, con base en los criterios establecidos por la CHJ para determinar el grado de intensidad de la intrusión marina, que son de la existencia de presión por extracción (bombeos de agua subterránea) y la concentración de cloruros, se ha informado que en el caso de MASubt 080.127 Plana de Castellón se ha producido una mejora para el año 2020 y 2021, no existiendo aún una actualización de esta información.

En relación con la evaluación de la afectación por nitratos, está se estima conforme a la tendencia en la concentración anual de nitratos cuyos valores anuales de estas concentraciones se obtienen a partir de los resultados de la red de seguimiento del estado químico de las masas de agua subterránea (CHJ). Los resultados que se han obtenido reflejan que se mantiene su estado vulnerable a nitratos desde el periodo 2015-2021.

La caracterización del buen estado cuantitativo de la MASubt 080.127 mediante el test de balance hídrico tiene en cuenta tres aspectos: que no exista una tendencia piezométrica a largo plazo descendente evaluada con las mediciones de la red de piezometría, que el índice de explotación (bombeo/recurso disponible) sea inferior a 1, o que, encontrándose el índice de explotación entre 0,8-0,9, no exista una tendencia piezométrica a largo plazo descendente evaluada según el modelo PATRICAL. Los resultados que se señalan indican que el estado de esta masa de agua subterránea no califica como bueno (CHJ).

¹³ Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ, 2021). Plan Hidrológico de Cuenca. Memoria –Anejo 12- Evaluación del estado de las masas de agua superficial y subterránea. Ciclo de planificación hidrológica 2022-2027.

3.4. Evaluación del impacto del retorno de riego sobre las aguas subterráneas.

Para evaluar este impacto se aborda el estudio del medio geológico a través del cual se infiltrará el agua regenerada de riego. Este proceso de infiltración se dará por la circulación del agua a través de la zona no saturada hasta alcanzar el nivel piezométrico del acuífero, proceso que se conoce como lixiviación. Además, una vez esta agua infiltrada haya alcanzado el acuífero, continuará su desplazamiento como agua subterránea hacia la descarga en el mar ya que la dirección del flujo es de Oeste a Este, Figura 11.

Impacto del retorno de riego sobre el acuífero:

Se ha de ser sensible a la posible contaminación por nitratos o cloruros del acuífero, ajustando bien la fertirrigación necesaria y teniendo en cuenta los nutrientes aportados por las aguas residuales.

Aunque también hay que considerar que el grosor de la capa no saturada del acuífero ayuda a degradar y diluir parte de los contaminantes.

Para describir la geológica e hidrogeología de esta zona se han consultado las columnas litoestratigráficas de varios pozos ubicados en las inmediaciones de las futuras áreas de riego con agua regenerada, Figura 14.

- Pozo Colomera (inmediaciones de cuartel Tetuán 14): paquete de grava, arena y arcilla hasta una profundidad de 45 m, sobre un nivel de calizas.
- Pozo Cuartel (entre cuartel Tetuán 14 y Hospital): paquete de grava, arena y arcilla hasta una profundidad de 70 m.
- Pozo Contador (inmediaciones límite municipal Borriol): paquete de conglomerado, arena y arcilla hasta una profundidad de 95 m, sobre un nivel de calizas (hasta los 300 m).
- Pozo Caseta B (inmediaciones de la salida Sur de la Autopista): paquete de gravas con intercalaciones de arena y arcilla con una profundidad de 157 m.

A partir de estas columnas, se puede señalar que, con base en sus rasgos generales, los materiales son detríticos, con unas características intrínsecas que en general, dotan al acuífero de una transmisividad, permeabilidad y porosidad efectiva alta, lo cual permite la circulación del agua en el seno del acuífero, teniendo a la zona no saturada como filtro por su poder autodepurador o de atenuación natural. Cabe destacar que en estas columnas litoestratigráficas, se identifican estratos/intercalaciones/lentejones de materiales con características impermeables (arcillas), por tanto, la heterogeneidad del acuífero es un hecho, además de que la movilidad del agua se puede ver obstaculizada tanto en la zona no saturada (movimiento vertical por lixiviación) como en la zona saturada (movimiento horizontal por flujo) por la presencia de estos estratos de mucha menor porosidad y permeabilidad.

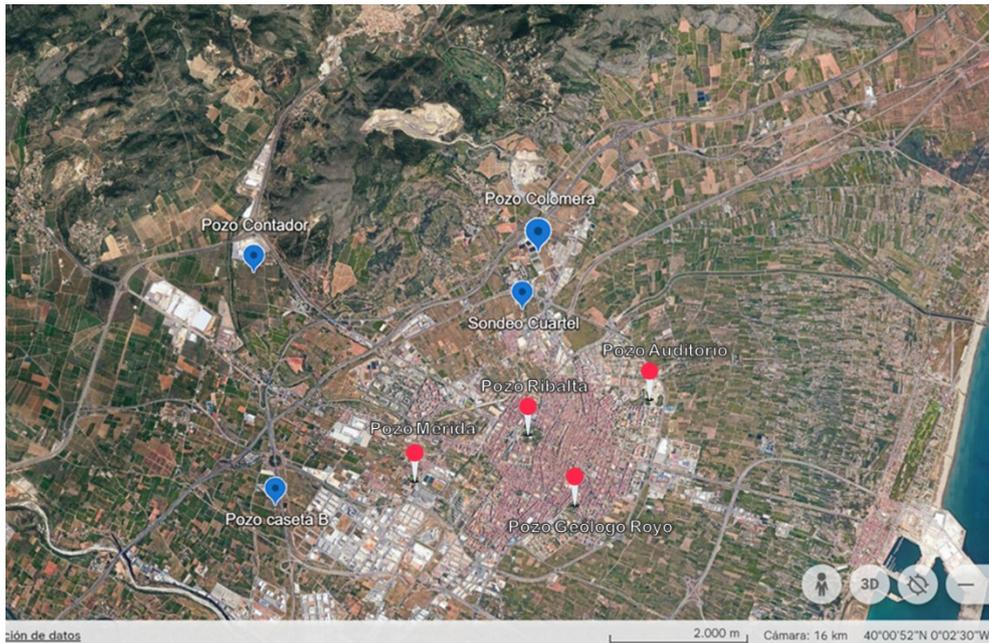


Figura 14. Localización de pozos con columnas litológicas.

La zona no saturada, integrada por estos materiales detríticos de gran heterogeneidad, tiene un espesor promedio de 15 m, aunque existen variaciones de este valor a lo largo de los años en función de los ascensos y descensos del nivel piezométrico, así, por ejemplo, en un sondeo localizado al este de la zona urbana, esta variación ha alcanzado valores de hasta 6 m, llegándose a obtener valores de espesores de la zona no saturada de hasta de 20 m (IGME, 2014). Otros datos de espesores de la zona no saturada señalan valores desde 16 m en noreste de la ciudad (área de la zona verde del Auditorio) hasta de 25 m en el sector sur de la zona urbana (área del parque del Geólogo Royo), espesor que representaría la distancia que debe de recorrer el agua que se lixivia antes de alcanzar el nivel del agua subterránea.

Con base en estos dos factores (la geología de la zona no saturada que es detrítica con presencia de arcillas y el espesor de la zona no saturada de hasta 25 m) se puede señalar que los procesos de atenuación natural que se darán en la zona no saturada, que incluyen procesos biológicos, químicos y físicos, serán muy intensos y permitirían retener gran parte de los compuestos químicos que podrían estar presentes en el agua regenerada que se haya lixiviado como excedente de riego, además el tiempo de tránsito del agua en la zona no saturada puede ser de varios años, e incluso décadas, por lo que estas condiciones permitirían atenuar la presencia (concentración) de algún contaminante que podría estar presente.

A parte de la morfología del acuífero en sí, el riego que puede afectar a la calidad del agua subterránea de la zona se centra en tres factores: la calidad del agua regenerada de riego, cantidad de agua administrada para dicho riego y el método de riego.

Con respecto a la calidad del agua regenerada de riego con base en las características microbiológicas, y niveles de turbidez y sólidos suspendidos se ha podido comprobar que se cumple con los valores límites señalados en el Real Decreto. También hay que tener presente que la zona no saturada, por sus propias

características (litología y tiempo de tránsito), puede añadir un mayor grado de depuración a esta agua infiltrada al actuar como filtro y adsorbente.

Por la vulnerabilidad del acuífero además de los parámetros anteriores hay que considerar los siguientes parámetros:

- Salinidad (conductividad eléctrica, cloruros).
- Nitratos

La salinidad se podría evaluar en el agua regenerada con base en la conductividad eléctrica. Los valores de este parámetro oscilan entre 2.000 y 3.200 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Con base en estos valores, el agua estaría clasificada según Salinity Laboratory Staff, como C3 (de 750 a 2.250 $\mu\text{S}/\text{cm}$) agua de salinidad media a elevada.

Es interesante destacar que la MASubt 080.127, en su conjunto, está catalogada como zona vulnerable a los nitratos. Además, según el "Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Memoria –Anejo 12- Evaluación del estado de las masas de agua superficial y subterránea. Ciclo de planificación hidrológica 2022-2027(CHJ, 2021)" ésta presenta un mal estado cuantitativo, haciendo referencia a los nitratos y la intrusión marina (cloruros), entre otros. De aquí la necesidad de controlar de forma adicional estos dos parámetros.

4. SISTEMA DE REGENERACIÓN DE AGUA.

4.1. Estudio del sistema de regeneración existente

La planta depuradora de aguas residuales de Castellón tiene un caudal de diseño para tratar 45.000 m³/día proveniente de Castellón, Borriol y Benicàssim, pero actualmente trata un caudal medio diario de 36.320 m³ en el 2022 para servir una población de 177.230 habitantes equivalente. El diseño de la planta está compuesto de dos líneas de agua y una de fango, así como la generación de biogás mediante el uso de dos digestores anaeróbicos y un motor de cogeneración. Así pues, sigue el sistema clásico para plantas de este tamaño, con una capacidad de tratamiento que se detalla a continuación:

- **Pretratamiento:** desbaste, desarenado-desengrasado y tanque de homogeneización. Caudal de diseño 75.000 m³/día
- **Tratamiento secundario:** tratamiento biológico basado en fangos activados con eliminación química de fósforo compuesto de 2 líneas de agua y 4 decantadores secundarios. Caudal de diseño: 45.000 m³/día
- **Tratamiento terciario:** tratamiento físico-químico (actualmente fuera de uso), filtros de arena, desinfección mediante radiación ultravioleta (UV) y desinfección por cloración. Caudal de diseño: 45.000 m³/día
- **Línea de fangos:** digestión anaerobia: 279 m³/día, con etapa de deshidratación compuesta de dos unidades de 35 m³/h cada una.

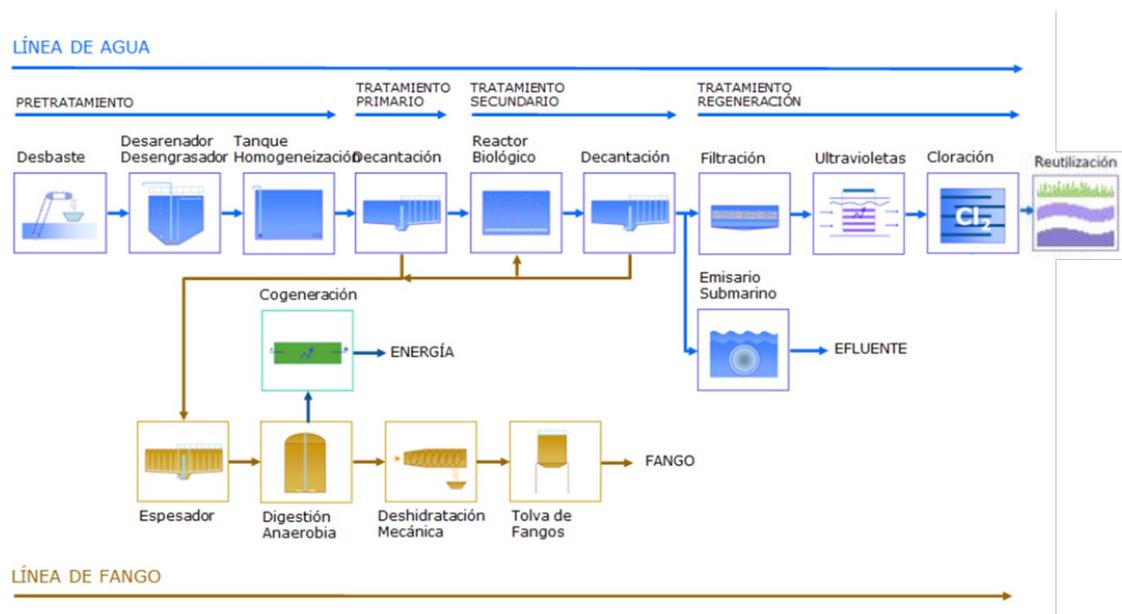


Figura 15. Esquema de los tratamientos de la EDAR de Castellón (fuente: EPSAR).

4.1.1. Tratamiento terciario

El sistema terciario de la EDAR de Castellón está compuesto por:

- Tratamiento Físico – Químico
- Filtración en lechos de arena.
- Desinfección Ultravioleta
- Cloración
- Sistema de bombeo para el suministro de agua regenerada

4.1.1.1. Elevación del efluente secundario

Se dispone de tres bombas de 22 kW de potencia en configuración 2+1, con un variador de frecuencia para regular el caudal influente al tratamiento terciario. El pozo de bombeo dispone de un labio de rebose para aliviar las puntas de caudal que no puedan ser absorbidas por el bombeo.

4.1.1.2. Tratamiento físico-químico

El agua elevada al tratamiento terciario pasa a dos líneas de Tratamiento Físico – Químico. Cada una de las líneas dispone de una Cámara de Mezcla Floculación y Tres Cámaras de Coagulación:

	Cámara Mezcla	Cámara Floculación
Número de líneas	2	2
Cámaras	1	3
Volumen Unitario	25 m ³	50 m ³
Volumen Total	116,7 m ³	700 m ³
Nº agitadores	2	6
rpm	103	16

Tabla 10. Características del tratamiento fisicoquímico del tratamiento terciario.

En la actualidad para cumplir con la calidad de agua requerida el tratamiento fisicoquímico no es necesario, y no está en funcionamiento de forma habitual.

4.1.1.3. Filtros de arena

Se dispone de una etapa filtrante por gravedad compuesta por lechos de arena formado por seis celdas de la marca Hydro-Clear® con un volumen de 114,5 m³, con una superficie de filtrado para cada uno de 33,4 m² y perfiles reducidos, con un tamaño de grano de 0,45 mm. El filtro persigue el objetivo de garantizar una entrada a la desinfección con lámparas ultravioleta con un contenido en sólidos suspendidos inferior a 10 mg/L.

4.1.1.4. Desinfección UV

El agua filtrada pasa a través de dos canales donde se encuentran instalados cuatro bancos de lámparas UV de la marca Wedeco Rex®, compuesto de 40 lámparas de consumo nominal 275 W con emisión de luz UV centrada en la longitud de onda de 245 nm. El funcionamiento de las lámparas introduce un límite es una presencia de sólidos suspendidos inferior a 10 mg/L, con lo que alcanzará una transmitancia en el agua superior al 60%.

Características técnicas bancos UV	
Marca:	Wedeco rex, s.a.
Modelo:	Tak 5-4/ 143x2i2 vario
Potencia (kW)	49.6/51.2
Tensión (v) / frec. (hz.)	380 / 50
nº de bancos	4
nº medidores intensidad UV	4 (uno por banco)
nº de lámparas por banco	40
nº total de lámparas	160
Modelo de lampara	Baja presión 160 SLR 32140
Sensibilidad espectral	254 nm (selectiva)
Consumo nominal por lamp.	275 w
Potencia salida UV-C (254 nm)	125 W

Tabla 11. Características del equipo de desinfección con lámparas UV.

4.1.1.5. Desinfección hipoclorito

La EDAR de Castellón dispone de un sistema de cloración consistente en dos depósitos de almacenamiento de hipoclorito sódico de 10.000 l de volumen unitario y un canal de cloración con un volumen unitario de 600 m³. La dosificación de hipoclorito sódico se realiza mediante dos bombas de membrana de 230 l/h de caudal unitario dotadas de variador de frecuencia. La dosificación está automatizada en función de la concentración de cloro libre existente en el canal de cloración, medida mediante una sonda de cloro libre, Endress Hauser®, ubicada al final de este canal, garantizando la concentración mínima de cloro residual libre que garantiza una adecuada desinfección del agua destinada a su reutilización.

4.1.1.6. Bombeo agua regenerada

Para el suministro de agua regenerada, se dispone de una estación de bombeo dentro de la EDAR. Está compuesta por tres bombas de la marca Grundfos modelo CRN45-4 A-F-G-E-HQQE con un caudal total de 45 m³/h y 15 kW. El punto de aspiración de estas bombas se encuentra en la cámara de abastecimiento donde se ubica una válvula de pie. A parte de este sistema de bombeo la EDAR posee un sistema auxiliar formado por un grupo de presión ESPA modelo CKE3 MULTI 55 7 compuesto por tres bombas en una bancada con un pequeño calderín y variador de frecuencia, con un caudal máximo de 45 m³/h y potencia 4 kW.

El sistema de bombeo de agua regenerada funciona bajo demanda en función de la lámina de la cámara de abastecimiento mediante un lazo de control.

4.1.1.7. Aljibes

En el Parque litoral del Grao se dispone de un aljibe para riego en el que se almacena agua regenerada

4.1.2. Criterios de calidad

En el anexo 1.A del Real Decreto 1620/2007, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas, se encuentran los criterios de calidad a alcanzar en el agua regenerada para los distintos usos. Con el objetivo de comprobar que el agua regenerada mediante el tratamiento terciario cumple con los criterios de calidad exigidos, se llevan a cabo el programa de control analítico del agua regenerada. En la Tabla 12 se encuentran resumidos los valores máximos admisibles (VMA), y la periodicidad de su control, para el caso de agua urbana, calidad 1.2, la cual es la adecuada para el riego de jardines, y baldeos de calles. También se incluyen los puntos de control que el RD marca en los puntos de entrega del agua regenerada, y que este sistema se sitúa en cámara de la estación regeneradora y en el aljibe del parque litoral.

RD 1620/2007					
Parámetros	Unidades	Uso Urbano 1.2		Punto de control	
		VMA	Periodicidad		
Nematodos Intestinales	Huevos / 10 L	1	Quincenal	Salida estación regeneración	Aljibe Parque litoral
E. coli	UFC / 100 mL	200	2 x semana	Salida estación regeneración	Aljibe Parque litoral
Sólidos en Suspensión	mg/L	20	Semanal	Salida estación regeneración	Aljibe Parque litoral
Turbidez	NTU	10	Semanal	Salida estación regeneración	Aljibe Parque litoral
Legionella spp.	UFC/L	100	Mensual	Salida estación regeneración	Aljibe Parque litoral
Otros parámetros					
Caudal	m ³ /h	-	Diario	Salida estación regeneración	
pH	-	-	2 x semana	Salida estación regeneración	
Conductividad	μS/cm	-	2 x semana	Salida estación regeneración	

Tabla 12. Criterios de calidad del sistema de control del agua regenerada.

El sistema de control también incluye los parámetros que se muestran en la Tabla 13 correspondientes a la calidad de agua que entra al sistema de regeneración desde la etapa secundaria de la EDAR.

Otros parámetros del sistema de control de la calidad				
Parámetros	Unidades	VMA	Periodicidad	Punto de control
Nematodos Intestinales	Huevos/10 L	-	Mensual	Influente estación regeneración
E. coli	UFC / 100 ml	-	Mensual	Influente estación regeneración
Sólidos en Suspensión	mg/L	-	Semanal	Influente estación regeneración
Turbidez	NTU	-	Semanal	Influente estación regeneración
Caudal	m ³ /h	-	Diarios	Influente estación regeneración
pH	-	-	5 x Semana	Influente estación regeneración
Conductividad	μS/cm	-	5 x Semana	Influente estación regeneración

Tabla 13. Parámetro de control de la calidad del agua entrante al sistema de regeneración.

4.1.2.1. Análisis de los parámetros medidos en el agua regenerada

Se han analizado los resultados obtenidos a partir del programa analítico en los últimos dos años. La finalidad es evaluar la calidad de las aguas regeneradas provenientes de la EDAR de Castellón a fin de determinar el grado de cumplimiento actual, el funcionamiento del sistema de aseguramiento de la calidad, y su uso potencial futuro. Se han analizado los datos de parámetros biológicos (presencia de patógenos), así como parámetros fisicoquímicos tales como los sólidos en suspensión, turbidez, pH y conductividad.

La evaluación de la presencia de nematodos intestinales en el agua regenerada, Figura 16, y el seguimiento de *E. coli*, Figura 17, ha puesto de manifiesto que no se han encontrado dichos patógenos en las aguas regeneradas en ninguno de los meses evaluados, cumpliendo así con el criterio de calidad establecido en el anexo A1 del RD para el uso 1.2 Urbano, servicios.

En el caso de la bacteria *E. coli*, el valor máximo admisible se sitúa en 200 UFC/100mL, y como se puede observar en la Figura 17, se detecta en algunos puntos de muestreo la presencia de dicho patógeno, siendo el valor más alto registrado en el período de análisis 16 UFC/100 mL, y por tanto muy por debajo del límite establecido por la normativa vigente.



Figura 16. Evaluación de la presencia de nemátodos intestinales en el agua regenerada durante el periodo evaluado (enero 2022-junio 2023). En rojo se indica el VMA según el Anexo I del RD 1620/2007.



Figura 17. Unidades formadoras de colonias *E. coli* en el agua regenerada durante el periodo evaluado (enero 2022-junio 2023). En rojo se indica el VMA según el Anexo I del RD 1620/2007.

Dos parámetros importantes asociados a la eficiencia del sistema de desinfección mediante lámparas UV, son la presencia de sólidos en suspensión (SS) y la turbidez (TU). La variación de los SS registrada entre enero de 2022 y junio de 2023 se muestra en la Figura 18. El VMA para este parámetro se sitúa en un máximo 20 mg/L y en ninguno de los casos analizados se supera este umbral, cumpliendo con las normas de calidad requeridas para el uso actual (1.2) del agua. En la Figura 19 se observan las variaciones de turbidez del agua regenerada, la cual presenta variaciones importantes, alcanzándose valores máximos de 7 NTU, sin embargo, se observa que en ningún caso se alcanza el VMA establecido para este parámetro (10 VMA).

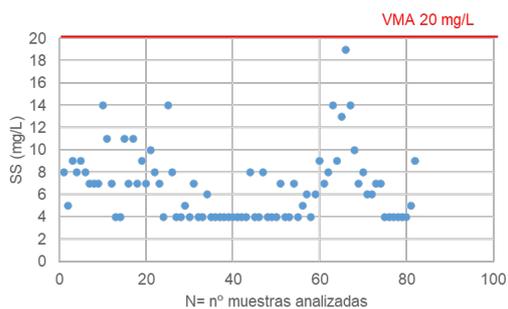


Figura 18. Sólidos en suspensión (mg/L) en el agua regenerada en el periodo evaluado (enero 2022-junio 2023). En rojo se indica el VMA según el Anexo I del RD 1620/2007.

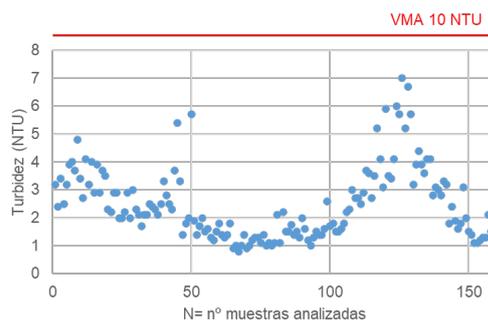


Figura 19. Seguimiento de la turbidez del agua regenerada en el periodo evaluado (enero 2022-junio 2023). En rojo se indica el VMA según el Anexo I del RD 1620/2007.

Se ha analizado la presencia de unidades formadoras de colonias de *Legionella spp* en el agua regenerada, Figura 20. Y en todo el periodo de análisis no se han detectado colonias.



Figura 20. Cuantificación de unidades formadoras de colonias de *Legionella spp* en el agua regenerada durante el periodo evaluado (enero 2022-junio 2023). En rojo se indica el VMA según el Anexo I del RD 1620/2007.

Además de los parámetros exigidos para el seguimiento de la calidad de las aguas regeneradas, se han analizado los valores de pH y conductividad eléctrica en el periodo sujeto a estudio. En la Figura 21 se observan los resultados obtenidos en los controles de seguimiento del pH, realizados a la salida de la estación de aguas regeneradas, con una frecuencia de 2 veces a la semana, con valores que oscilan entre 6,6 y 8,8 unidades de pH. De la misma manera, se realizaron análisis de conductividad eléctrica que presenta el agua a la salida de la estación de regeneración, Figura 22. Los valores son elevados, con picos que han llegado a superar los 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y un valor medio que supera los 3500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

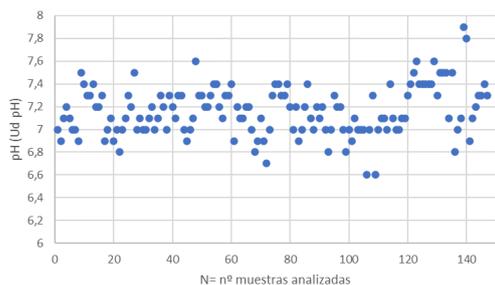


Figura 21. Variación del pH en el agua regenerada durante el periodo evaluado (enero 2022-junio 2023).

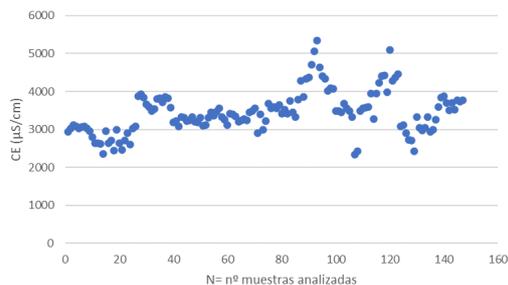


Figura 22. Variación de la conductividad eléctrica (microS/cm) en el agua regenerada durante el periodo evaluado (enero 2022-junio 2023).

Además de los datos obtenidos del seguimiento mensual de la calidad del agua regenerada, en el laboratorio de calidad del agua de la Universitat Jaume I se han llevado a cabo diferentes analíticas de parámetros químicos para obtener más información en cuanto a composición de esta. Han sido analizados los parámetros de demanda química de oxígeno (DQO), y la presencia de NO_3^- y los resultados se muestran en la Tabla 14.

	DQO (mg/L)	NO_3^- (mg/L)
Entrada terciario	61,67	6,8
Salida terciario	26	5,55

Tabla 14. Valores DQO y nutrientes a la entrada y la salida de la estación de regeneración de aguas. Los datos son la media de los valores obtenidos en tres muestreos puntuales.

La Directiva 91/271/CEE sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas marca los valores máximos admisibles para estos parámetros, siendo de 125 mg/L en el caso de la DQO. El análisis de estos resultados demuestra que las muestras analizadas presentan valores de estos parámetros por debajo del valor máximo admisible estipulado en dicha Directiva. Medidas de seguridad. Plan de Emergencia

Tal y como se especifica en la normativa de agua regenerada, los sistemas de regeneración de aguas procedentes de las EDAR deben poseer mecanismos que aseguren, por un lado, que no se distribuya agua que no haya sido debidamente tratada o que presente mermas en la calidad del efluente y por otro el control de los volúmenes y caudales medios mensuales destinadas a la reutilización. Toda esta información debe quedar recogida y debidamente especificada en un Plan de Emergencias. A continuación, se detalla los mecanismos de los que dispone actualmente la estación de regeneración de la EDAR de Castellón para el control de los volúmenes y la calidad del agua regenerada.

4.1.2.2. Control de volúmenes y caudales.

Para el control de los caudales se cuenta con unos caudalímetros instalados en las impulsiones que guían el agua hasta los diferentes puntos de entrega. El seguimiento de este parámetro es diario mediante su registro en Libro de Explotación de la EDAR de Castellón.

4.1.2.3. Plan de seguridad ante contingencias

La estación de regeneración de la EDAR de Castellón cuenta con un Plan de Emergencias para asegurar el cumplimiento de la calidad del agua regenerada entregada al usuario. Este plan contempla las seguridades ante la pérdida de calidad del influente de la estación de regeneración, así como las posibles averías de los equipos instalados en la misma. Así pues, actualmente se cuenta con una serie de equipos y seguridades que garantizan el buen funcionamiento de las unidades de tratamiento implicadas en el proceso de regeneración de aguas. Toda esta instrumentación se encuentra monitorizada en continuo 24 h/día mediante el sistema SCADA de la EDAR de Castellón.

4.1.2.3.1. Control de la turbidez del influente terciario

Para garantizar el éxito del tratamiento terciario, resulta de vital importancia el seguimiento de la calidad del efluente del tratamiento secundario. Uno de los parámetros a controlar es la turbidez, ya que si se superan ciertos límites se puede ver comprometida la eficacia de las unidades de proceso destinadas al tratamiento de regeneración de las aguas. Por ello se dispone de un medidor en continuo de turbidez previo al tratamiento físico-químico del terciario. Si se detectan valores superiores a 60 NTU, se produce un enclavado del sistema de regeneración.

4.1.2.3.2. Control de sólidos en suspensión del influente a desinfección UV

Para asegurar una eficiencia alta del proceso de desinfección mediante radiación UV deben controlarse los sólidos en suspensión ya que estudios previos han demostrado que concentraciones superiores a 10 mg/L de sólidos en suspensión impiden alcanzar en el agua tratada valores de *E. coli* inferiores a 200 UFC/100 ml. Para asegurar los valores de este parámetro, se dispone de una sonda de sólidos en suspensión que monitoriza en continuo esta concentración previamente a la entrada al sistema de desinfección por radiación UV. Si se superan los 10 mg/L de sólidos en suspensión, se produce el enclavando el sistema de regeneración.

4.1.2.3.3. Control de transmitancia en la desinfección ultravioleta

El sistema de regeneración de la EDAR de Castellón cuenta con una sonda de transmitancia previa al sistema de desinfección por radiación UV, produciéndose un enclavado del sistema si se detectan transmitancias inferiores al 60%. Los rendimientos óptimos del sistema de desinfección se obtienen con transmitancias superiores a este valor.

4.1.2.3.4. Control del cloro residual libre en el canal de cloración

Además del tratamiento de desinfección por UV, para asegurar la calidad microbiológica del agua regenerada entregada al usuario se realiza una desinfección con hipoclorito sódico. Esta práctica no corresponde estrictamente al tratamiento terciario, pero garantiza la desinfección del efluente del terciario protegiendo el agua frente a posibles contaminaciones que pueden ocurrir en el lugar de almacenamiento o en el tránsito hasta los puntos de suministro.

Para automatizar este proceso, se dispone de una sonda de cloro libre en continuo instalada en la cámara de abastecimiento de agua regenerada del canal de cloración, garantizando que exista siempre una concentración de cloro residual libre de 0,8 ppm.

Es importante destacar que el sistema de gestión también incluye medidas de seguridad para evitar sobrecloración, como la automatización temporizada en caso de que no se detecte un incremento en la concentración de cloro residual libre en un tiempo determinado.

A continuación, en la Figura 23, se presenta siguiendo el flujo de tratamiento, la ubicación y función de cada una de las medidas de seguridad instaladas:

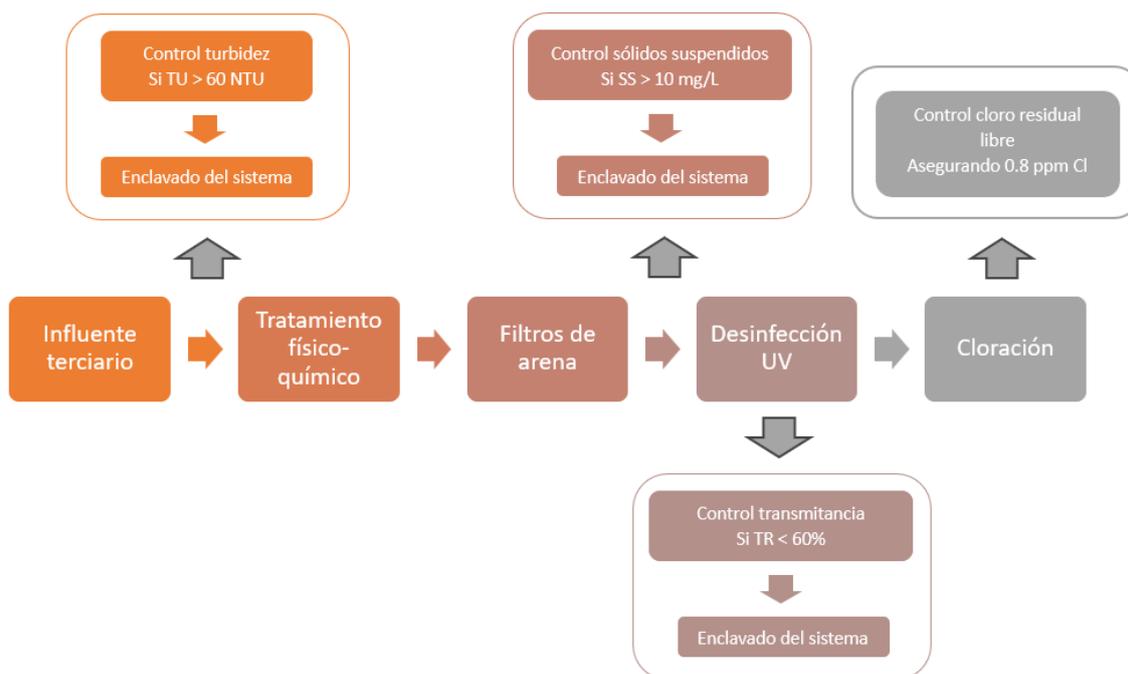


Figura 23. Medidas de seguridad instaladas.

Se han analizado diferentes aspectos del plan de Emergencia y protocolo de control de la calidad del agua regenerada que se están implementando actualmente en la EDAR de Castellón. Los detalles quedan recogidos en el documento público “*Protocolo de control de la calidad de aguas regeneradas de la EDAR de Castellón*”. Dicho documento está redactado en base a las exigencias del RD 1620/2007 y su guía de aplicación con la finalidad de asegurar la calidad del agua regenerada y reducir al máximo riesgos en su utilización.

4.1.3. Evaluación de la calidad de las aguas regeneradas

La evaluación de la calidad del agua regenerada en el tratamiento terciario de la EDAR de Castellón se basa en la aplicación de criterios de conformidad y medidas de gestión frente a posibles incumplimientos. Esto garantiza que el agua regenerada cumpla con los estándares de calidad establecidos para su uso previsto y contribuya a la protección del medio ambiente y la salud pública.

4.1.3.1. Criterios de conformidad del sistema de explotación

Según el RD 1620/2007, se considera adecuada la calidad del agua regenerada cuando se cumplan los siguientes aspectos de forma simultánea:

1. El 90% de las muestras analizadas presentan valores inferiores a los Valores Máximos Admisibles (VMA) en todos los parámetros especificados en el Anexo I.A para el uso 1.2. Se coge como referencia las muestras realizadas al trimestre. En la Tabla 15 se muestran el número de muestras correspondientes al 90% de las muestras trimestrales.

	Nemátodos intestinales	<i>E. coli</i>	SS	Turbidez	Legionella spp
VMA de RD 1620/2007 para uso 1.2	1 huevo/10 L	200 UFC/100mL	20 mg/L	10 NTU	100 UFC/L
Nº muestras trimestrales	6	24	12	24	3
Nº muestras correspondientes al 90% de las muestras trimestrales	5	22	11	22	3

Tabla 15. Números de muestras que no superan el 90% del VMA dentro de los criterios de conformidad del sistema de explotación.

2. Las muestras que superan el VMA del Anexo I.A para el uso 1.2. no sobrepasan los límites de desviación máxima (LDM) establecidos en el Anexo I.C. En la Tabla 16 se muestran los valores que marcan el RD para el uso 1.2.

LDM establecidos en el RD 1620/2007 para el uso 1.2				
Nemátodos intestinales	<i>E. coli</i>	SS	Turbidez	Legionella spp
2 huevo/10 L	2000 UFC/100mL	30 mg/L	20 NTU	1000 UFC/L

Tabla 16. LDM establecidos en el RD 1620/2007 para el uso 1.2.

3. Se asegura el cumplimiento de las Normas de Calidad Ambiental (NCA) para las sustancias peligrosas en el punto de entrega de las aguas regeneradas. Este criterio no aplica en la EDAR de Castellón al no detectarse mediante análisis previo sustancias peligrosas en el punto de entrega de las aguas regeneradas.

4.1.4. Protocolo de actuación frente a incumplimientos o desviaciones

Siguiendo las especificaciones de la guía de aplicación del RD 1620/2007, en el caso de que las medidas de seguridad no eviten un incumplimiento o una desviación de la calidad del agua regenerada de la EDAR de Castellón, se aplicará uno de los dos protocolos que se explican a continuación. En primer lugar, se describen los pasos a seguir tras detectar que más del 10% de los datos evaluados en el periodo acordado presentan valores superiores a los VMA y en segundo lugar se describen los pasos a seguir tras la detección de los LDM establecidos en el Anexo I.C.

Protocolo 1: El agua regenerada no cumple los requisitos exigidos en Tabla 15 del presente informe. Pasos a seguir:

- 1. Detección:** mediante los datos obtenidos de las analíticas periódicas que se establecen en la normativa, se observa que menos del 90% de las muestras tiene resultados inferiores a los VMA en todos los parámetros especificados en el Anexo I.A.
- 2. Interrupción del suministro de agua regenerada:** tras la detección del incumplimiento se interrumpe automáticamente el suministro de agua regenerada. Además, en las zonas de Castellón en las que el uso de agua regenerada es habitual (Parque Litoral/Parque Pinar y Ronda Este) se recibe un mensaje de alarma para avisar de la situación.
- 3. Comunicación de la interrupción del suministro de agua regenerada:** este aviso se realiza mediante el envío de un mail a los Servicios Técnicos Municipales y a los responsables del riego en las zonas que se vean afectadas por el corte de suministro.
- 4. Análisis de las causas del incumplimiento**
- 5. Subsanación de las causas del incumplimiento o desviación:** implementando acciones oportunas para la recuperación de los estándares de calidad y por tanto el restablecimiento de la normalidad en el suministro a la mayor brevedad.
- 6. Reapertura del suministro de agua regenerada:** una vez confirmada la recuperación de la calidad del agua regenerada se produce la reanudación del suministro de forma automática mediante la apertura de las válvulas en los lugares de habitual utilización de las aguas regeneradas.
- 7. Comunicación de la reapertura del suministro de agua regenerada:** este aviso se realiza mediante el envío de un mail a los Servicios Técnicos Municipales y a los responsables del riego en las zonas que se vean afectadas por el corte de suministro.

Protocolo 2: Una muestra puntual presenta valores fuera de los LDM, descritos en la Tabla 16. Pasos a seguir:

- 1. Detección de un incumplimiento o desviación:** se detectan en los datos analíticos del agua regenerada valores fuera de los límites de desviación máxima (LDM) establecidos en el Anexo I.C.
- 2. Realización de una segunda analítica al agua regenerada:** 24 h después del incumplimiento detectado, para comprobar si dichos valores continúan por encima del valor máximo admisible o se ha corregido. Una vez obtenidos los resultados de esta analítica:
 - Persiste el incumplimiento: se continúa con el siguiente paso del presente protocolo.
 - No persiste el incumplimiento: se da por finalizado este incumplimiento o desviación y se finaliza el protocolo.
- 3. Comunicación de la interrupción del suministro de agua regenerada:** este aviso se realiza mediante el envío de un mail a los Servicios Técnicos

Municipales y a los responsables del riego en las zonas que se vean afectadas por el corte de suministro.

4. **Análisis de las causas del incumplimiento**
5. **Subsanación de las causas del incumplimiento o desviación:** implementando acciones oportunas para la recuperación de los estándares de calidad y por tanto el restablecimiento de la normalidad en el suministro a la mayor brevedad. Se dará por recuperada la calidad del agua regenerada cuando en 4 controles, realizados en días sucesivos el valor obtenido del parámetro afectado se encuentra dentro de los VMA. Además, se duplicará la frecuencia de control del parámetro anómalo hasta que finalice el período en el que se ha detectado la anomalía (trimestre o fracción) y en todo el período siguiente.
6. **Reanudación del suministro de agua regenerada:** una vez confirmada la recuperación de la calidad del agua regenerada se produce la reanudación del suministro de forma automática mediante la apertura de las válvulas en los lugares de habitual utilización de las aguas regeneradas.
7. **Comunicación de la reanudación del suministro de agua regenerada:** este aviso se realiza mediante el envío de un mail a los Servicios Técnicos Municipales y a los responsables del riego en las zonas que se vean afectadas por el corte de suministro.

4.1.5. Conclusiones

Mediante el cumplimiento de los planes comentados con anterioridad se dispone de las garantías suficientes para asegurar que, en todo momento, la calidad del agua regenerada en la EDAR de Castellón cumple con los criterios de calidad exigidos en el Anexo I.A del Real Decreto 1620/2007 para el uso 1.2.

Aseguramiento de la calidad

La explotación de la ERA cuenta con un **Plan de Emergencias** para asegurar el cumplimiento de los criterios de calidad, en el que, entre otros, se definen las **sondas de medición en continuo que mediante lazos de control producen el enclavamiento automático del proceso** cuando se superan determinados parámetros de control.

El Ayuntamiento ha implantado un **Protocolo de Actuación** que contempla la evaluación el cumplimiento de la calidad, determina las acciones en caso de que se detecten incumplimientos y desviaciones y especifica las comunicaciones a todos los agentes implicados.

4.2. Identificación de los tratamientos necesarios para conseguir los requerimientos de calidad del agua regenerada para los diferentes usos

La concesión actual se ciñe sólo al uso de agua regenerada en el ámbito del riego de zonas verdes urbanas y el baldeo de las calles, y su uso se rige por la tipología 1.2 de uso urbanos en RD 1620/2007, y tal como se ha comprobado el sistema actual ofrece garantías suficientes para cumplir los parámetros de calidad exigidos. Pero cabe plantearse si es posible aplicar el sistema de regeneración de agua a otros usos, pensando en anticiparse a un posible futuro con un mayor estrés hídrico, y buscando una gestión más eficiente de los recursos disponibles. A partir de este estudio se planteará las mejoras tecnológicas que deberían implantarse para alcanzar la calidad necesaria en cada uso.

Retos futuros

Para efectuar una gestión mas eficiente de los recursos disponibles es necesario **evaluar la calidad del agua regenerada disponible para su aplicación en otros usos** y analizar la **implantación de tecnologías de regeneración** para la calidad del agua producida en la EDAR de Castellón.

En esta sección se estudiará la posibilidad de extender la dotación de agua regenerada a otros usos futuros, comparando los requisitos de calidad necesarios con los parámetros de calidad del sistema actual.

Tal y como se especifica en el RD 1620/2007 de reutilización de aguas regeneradas, dependiendo de las calidades de esta podemos encontrar hasta un total de 14 variantes, agrupadas en cinco posibles usos: urbano, agrícola, industrial, recreativo y ambiental. Pero desde la aprobación de la ley 4/2023, el uso agrícola deja de estar regido por este RD y es sustituido por el reglamento europeo 2020/741.

Así pues, se contempla la siguiente clasificación:

Usos	Nº	Tipología
Uso urbano	1.1	Residencial: jardines privados, descarga aparatos sanitarios
	1.2	Servicios: zonas verdes, limpieza de calles, incendios, lavado de vehículos. (Uso Actual)
Uso agrícola		Uso derogado por la ley 4/2023, y sustituido por el reglamento europeo 2020/741
Uso industrial	3.1	Aguas de proceso y limpieza y otros usos Industriales
	3.2	Aguas de proceso y limpieza industria alimentaria
	3.3	Torres de refrigeración y condensadores evaporativos
Recreativo	4.1	Riego de campos de golf
Uso ambiental	5.1	Recarga de acuíferos por percolación
	5.2	Recarga de acuíferos por inyección directa
	5.3	Riego de bosques, zonas verdes no accesibles al público, silvicultura
	5.4	Otros usos: mantenimiento de humedales, caudales mínimos

Tabla 17. Usos agua regenerada RD 1620/2007.

Cada una de las categorías anteriormente descritas presentan valores concretos y analíticas específicas necesarias para asegurar la calidad de las aguas regeneradas requerida en función del uso. Parámetros como Nematodos intestinales, *E. coli*, sólidos en suspensión y turbidez siempre deben ser controlados. La presencia de nematodos intestinales y *E. coli* se consideran indicadores microbiológicos y los sólidos en suspensión y la turbidez son considerados indicadores físico-químicos. Además, dependiendo del tipo de aplicación o destino del agua regenerada, el RD 1620/2007 de reutilización exige controlar otros indicadores de calidad microbiológicos, como es el caso de la *Legionella spp* en los usos en los que exista riesgo de aerosolización u otras analíticas como la cantidad de nitrógeno y fósforo total cuando se esté planteando para esa agua regenerada un uso medioambiental que implique la recarga de acuíferos o el llenado de estanques. Por otro lado, cuando se trate de sustancias peligrosas, se deberá asegurar en todos los casos el respeto de las Normas de Calidad Ambiental. Cabe destacar que, en cada autorización de vertido se especificarán los parámetros a los que realizar un seguimiento.

A continuación, se detallan los resultados obtenidos a partir del análisis de los datos procedentes de los informes trimestrales de control de calidad de las aguas en la estación de regeneración de la EDAR de Castellón. En los siguientes apartados se analiza el potencial del sistema de regeneración actual, comparando los datos obtenidos de cada uno de los parámetros en el periodo de enero del 2022 a junio de 2023 y el cumplimiento de los VMA establecidos para cada uno de los usos.

4.2.1. Uso urbano

4.2.1.1. Descripción y criterios de calidad

En el RD 1622/2007 se aprobó el uso de agua regenerada en el ámbito urbano para el riego de parques y jardines, descarga de aparatos sanitarios, limpieza de alcantarillado y calles, etc.

La Tabla 18 muestra los criterios de calidad establecidos para este uso y las frecuencias de los análisis para el control de dicha calidad.

Uso Urbano					
Calidad	Parámetro	Nem	<i>E. coli</i>	SS	TU
	Unidades	Huevos/10L	UFC/100mL	mg/L	NTU
1.1 Residencial	VMA	1	0	10	2
	Frecuencia	Quincenal	2 semana	1 semana	2 semana
1.2 Servicios	VMA	1	200	20	10
	Frecuencia	Quincenal	2 semana	1 semana	2 semana

Tabla 18. Criterios de calidad y frecuencia análisis. Uso Urbano.

Como en el control de la calidad del agua destinada para otros fines, en el caso del uso urbano se deben controlar la cantidad de nemátodos intestinales (considerándose en todos los grupos de calidad al menos los géneros *Acylostoma*, *Tnchuns* y *Ascris*), *E. coli*, sólidos suspendidos y la turbidez. Además de los parámetros indicados en la

Tabla 18, se deberán realizar análisis para el control de *Legionella* spp con un VMA de 100 UFC/L.

4.2.1.2. Análisis de los resultados

Para evaluar el potencial del sistema actual de regeneración de la EDAR de Castellón se han analizado los resultados obtenidos en las analíticas trimestrales realizadas entre enero de 2022 y junio de 2023. En la Tabla 19 se puede observar que, con el sistema actual, no se podría destinar el agua regenerada para un uso residencial (calidad 1.1). En verde se señalan los parámetros que cumplen los requisitos de calidad, indicando esto que el 90% de las muestras evaluadas se sitúan por debajo del VMA y en rojo las que no los cumplen, indicando que más del 10% de las muestras evaluadas sobrepasan el VMA establecido.

Uso Urbano					
Calidad	Parámetro	Nem	<i>E. coli</i>	SS	TU
	Unidades	Huevo/10L	UFC/100mL	mg/L	NTU
1.1 Residencial	VMA	1	0	10	2
1.2 Servicios	VMA	1	200	20	10

Tabla 19. Parámetros de calidad para usos urbano (RD 1620/2007).

El análisis de los datos queda recogido en la Tabla 20, donde se especifica el número de muestras evaluadas de cada uno de los parámetros, (N), el VMA para el uso más restrictivo (urbano residencial 1.1), el número de muestras que superan dicho VMA (N>VMA), el porcentaje de muestras que superan el VMA (% N>VMA; que no debe superar el 10%) y el cumplimiento (SI o NO).

Para uso urbano residencial					
	VMA	N	N>VMA	% N>VMA	Cumplimiento
Nemátodos	1 huevo/10L	36	0	0	SI
<i>E. coli</i>	0 UFC/100mL	162	27	16,67	NO
SS	10 mg/L	82	9	10,97	NO
TU	2 UNT	159	43	27,04	NO

Tabla 20. Cumplimiento de los parámetros de calidad para Uso Urbano Residencial (1.1).

Se pueden ver los incumplimientos para *E.coli*, SS y TU. En el caso de *E.coli*, existen un 16,67% de las muestras que superan el valor máximo admisible, y en turbidez el VMA es superado en el 27% de las muestras analizadas. Para una mejor visualización de los parámetros que incumplen con los requisitos establecidos, se han representados los datos de forma gráfica, indicando sobre estas los VMA que impone el RD 1620/2007 para el uso urbano residencia (Figura 24).

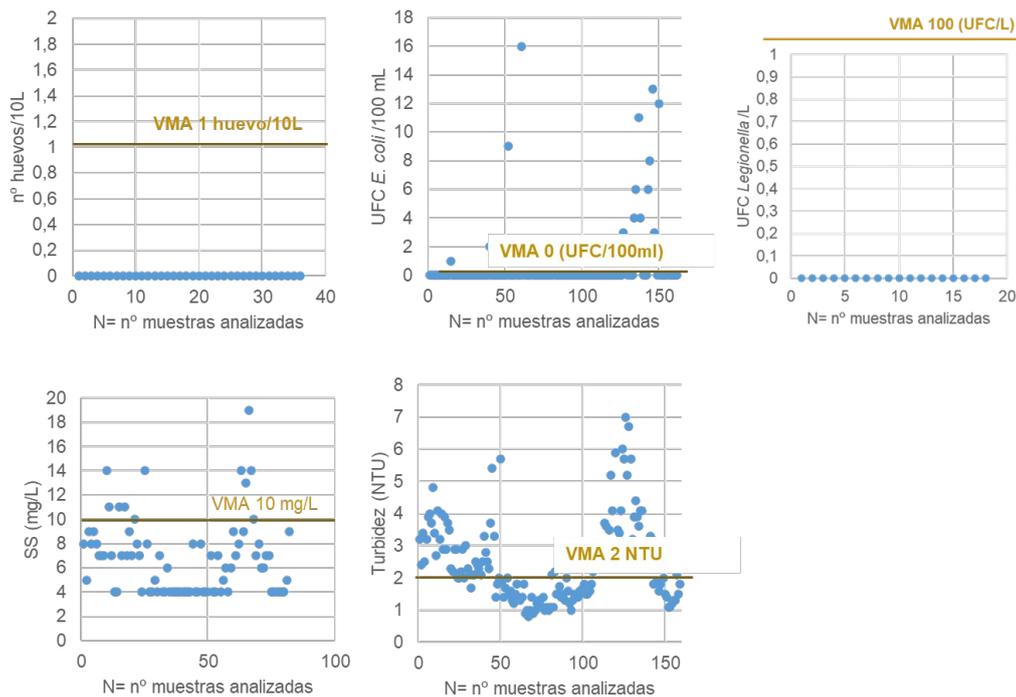


Figura 24. Graficas de los parámetros de calidad, huevos/10L, UFC E.Coli/100 ml, UFC Legionella/1 L, SS (mg/L) y Turbidez (NTU) frente a VMA en uso Urbano Residencial 1.1.

4.2.1.3. Conclusiones

Si se analizan los resultados en base a los requisitos de calidad establecidos para el uso urbano residencial (Uso 1.1), con el sistema actual de regeneración de aguas se estaría incumpliendo en *E.coli*, SS y TU. En el caso de la bacteria *E.coli*, se han detectado un 16,67% de las muestras que superan el VMA, y en turbidez el VMA se supera en un 27% de las muestras. Por tanto, con las prestaciones actuales, el agua regenerada no puede dedicarse al uso residencial, no puede ser contemplada para sustituir la dotación de agua potable que se utiliza en el riego de jardines privados, o en la descarga de sanitarios.

4.2.2. Uso agrícola.

4.2.2.1. Descripción y criterios de calidad

En mayo de 2020 se aprobó la nueva normativa europea que regula la reutilización de agua regenerada para riego agrícola, el Reglamento (UE) 2020/741 del Parlamento Europeo y del Consejo. En general, este reglamento incorpora parámetros más estrictos y exigentes y centra muchos de sus esfuerzos en el control de parámetros microbiológicos. Para este uso, las distintas calidades se determinan en función del tipo de cultivo que va a ser regado con el agua regenerada y el método de riego utilizado, obteniéndose en base a esos criterios la siguiente clasificación:

- Calidad A: producción de alimentos y tubérculos que se consumen crudos en los que la parte comestible está en contacto directo con las aguas regeneradas, como por ejemplo cebollas, zanahorias o lechugas. Están permitidos todos los métodos de riego.

- Calidad B: producción de alimentos que se consumen crudos cuando la parte comestible no está en contacto directo con las aguas regeneradas, alimentos transformados y los cultivos no alimenticios, incluidos los utilizados para nutrición animal. Como por ejemplo tomates, manzanas o aguacates. Están permitidos todos los métodos de riego.
- Calidad C: producción de alimentos que se consumen crudos cuando la parte comestible no está en contacto directo con las aguas regeneradas, alimentos transformados y los cultivos no alimenticios, incluidos los cultivos utilizados para nutrición animal. Solo está permitido el riego por goteo u otro método de riego que evite el contacto directo con la parte comestibles del cultivo. Como por ejemplo manzanas, peras, aguacates.
- Calidad D: producción de cultivos destinados a la industria, cultivos energéticos o productores de semillas. Como por ejemplo soja, girasol, remolacha o palma. Están permitidos todos los métodos de riego.

La siguiente tabla muestra los criterios de calidad establecidos para el uso agrícola y las frecuencias de los análisis para el control de dicha calidad.

Uso Agrícola					
Calidad	Parámetro	DBO	E. coli	SS	TU
	Unidades	mg/L O ₂	UCF/100mL	mg/L	NTU
A	VMA	10	10	10	5
	Frecuencia	1 semana	1 semana	1 semana	Continuo
B	VMA	25	100	35	No se fija
	Frecuencia	-	1 semana	-	No se establece
C	VMA	25	1000	35	No se fija
	Frecuencia	-	2 mes	-	No se establece
D	VMA	25	10.000	35	No se fija
	Frecuencia	-	2 mes	-	No se establece

Tabla 21. Criterios de calidad y frecuencia de las analíticas. Uso Agrícola.

Además de lo descrito en la Tabla 21, se debe controlar *Legionella spp* (VMA:1000 UFC/L; frecuencia analítica: quincenal) cuando exista riesgo de aerosolización y los huevos de nematodos intestinales (VMA: 1 huevo/L; frecuencia analítica: quincenal) cuando el agua se utilice para el riego de pastos y forrajes.

Como se ha indicado anteriormente, el Reglamento (UE) 2020/741 establece protocolos estrictos para garantizar la calidad microbiológica del agua regenerada con fines agrícolas. Deben realizar un control de validación todos los operadores de ERA que producen agua de calidad A (Tabla 21), con el fin de garantizar la capacidad de la estación generadora de cumplir con los estándares de calidad en parámetros microbiológicos. Antes de poner en funcionamiento una estación regeneradora de aguas, o cada vez que se renueve maquinaria o modernicen equipos que participan en el proceso, será obligatoria la realización del dicho control de validación. Este proceso pretende evaluar la capacidad de eliminación de patógenos seleccionados como indicadores mediante el cumplimiento de los objetivos de rendimiento (reducción de log₁₀ entre los valores obtenidos en los recuentos del efluente y el influente de la

estación de regeneración). Estos indicadores son *E. coli* para las bacterias patógenas, colifagos F- específicos, colifagos somáticos o colifagos para los virus y esporas de *Clostridium perfringens* o bacterias formadoras de esporas reductoras de sulfato para los protozoos. Los objetivos de rendimiento se indican en la Tabla 22 para cada uno de los indicadores, y se calcularán en función de las concentraciones de dichos microorganismos cuantificadas en el efluente y el influente del tratamiento terciario. Se considerará satisfactoria la validación cuando al menos el 90% de las muestras hayan alcanzado o superado los objetivos de rendimiento. La reducción de log₁₀ requerida en cualquier estación de regeneración de aguas puede conseguirse mediante la combinación de distintos métodos, es por ello que no puede identificarse ningún protocolo de control de validación armonizado y único. Por tanto, es necesario que los profesionales de las aguas residuales definan y apliquen un protocolo para cada caso específico. Además, para apoyar las actividades de validación, puede elaborarse un informe que ilustre el enfoque de control de validación, el diseño experimental y el análisis de las muestras de entrada y salida de los indicadores microbianos requeridos. El informe debe ser elaborado por un profesional cualificado en materia de aguas residuales.

Clase de Calidad de las aguas regeneradas	Microorganismos Indicadores	Objetivo de rendimiento de la cadena de tratamiento (reducción de log ₁₀)
A	E.Coli	≥ 5,0
	Colifagos totales/colifagos F-específicos/colifagos somáticos	≥ 6,0
	Esporas de <i>Clostridium perfringens</i> / bacterias formadoras de esporas reductoras de sulfato	≥ 4,0 En caso de esporas de <i>Clostridium perfringens</i> ≥ 5,0 en caso de bacterias formadoras de esporas reductoras de sulfato

Tabla 22. Controles de validación de las aguas regeneradas para el riego agrícola.

4.2.2.2. Análisis de los resultados

Al igual que para el uso urbano, también se ha evaluado el potencial del sistema actual de regeneración de la EDAR de Castellón para producir agua regenerada susceptible de ser utilizada con fines agrícolas, mediante el análisis de los resultados obtenidos en las analíticas trimestrales realizadas entre enero de 2022 y junio de 2023. En la Tabla 23 se puede observar que, con el sistema actual, no se podría destinar el agua regenerada para un uso agrícola calidad A. En verde se señalan los parámetros que cumplen los requisitos de calidad, indicando esto que el 90% de las muestras evaluadas se sitúan por debajo del VMA y en rojo las que no los cumplen, indicando que más del 10% de las muestras evaluadas sobrepasan el VMA establecido.

Uso Agrícola					
Calidad	Parámetro	E. coli	SS	DBO	TU
	Unidades	UCF/100mL	mg/L	mg/L	NTU
A	VMA	10	10	10	5
B	VMA	100	35	25	No se fija
C	VMA	1.000	35	25	No se fija
D	VMA	10.000	35	25	No se fija

Tabla 23. Parámetros de calidad para usos Agrícolas (Reglamento (UE) 2020/741).

El análisis de los datos queda recogido en la Tabla 24, donde se especifica el número de muestras evaluadas de cada uno de los parámetros, (N), el VMA para el uso más restrictivo (calidad A), el número de muestras que superan dicho VMA (N>VMA), el porcentaje de muestras que superan el VMA (% N>VMA; que no debe superar el 10%) y el cumplimiento (SI o NO).

Para uso agrícola calidad A					
	VMA	N	N>VMA	% N>VMA	Cumplimiento
Nemátodos	1 huevo/10L	36	0	0	SI
E. coli	10 UFC/100mL	162	6	3,7	SI
SS	10 mg/L	82	9	10,97	NO
TU	5 UNT	159	8	5,03	SI
Legionella	1.000 UFC/1L	18	0	0	SI

Tabla 24. Cumplimiento de los parámetros de calidad para Uso Agrícola (Calidad A).

Como se puede observar en la Tabla 24, con la tecnología actual de regeneración se cumplen en todos los parámetros excepto en el de sólidos en suspensión. Cabe destacar que el análisis se realiza para los casos más exigentes de todos los usos. En el caso del uso agrícola no se llegaría a alcanzar la calidad A, sin embargo, la calidad B se alcanzaría sobradamente. A continuación, se muestra la representación gráfica de los resultados obtenidos para los distintos parámetros entre enero de 2022 y junio de 2023 y los VMA establecidos para la calidad A (Figura 25).

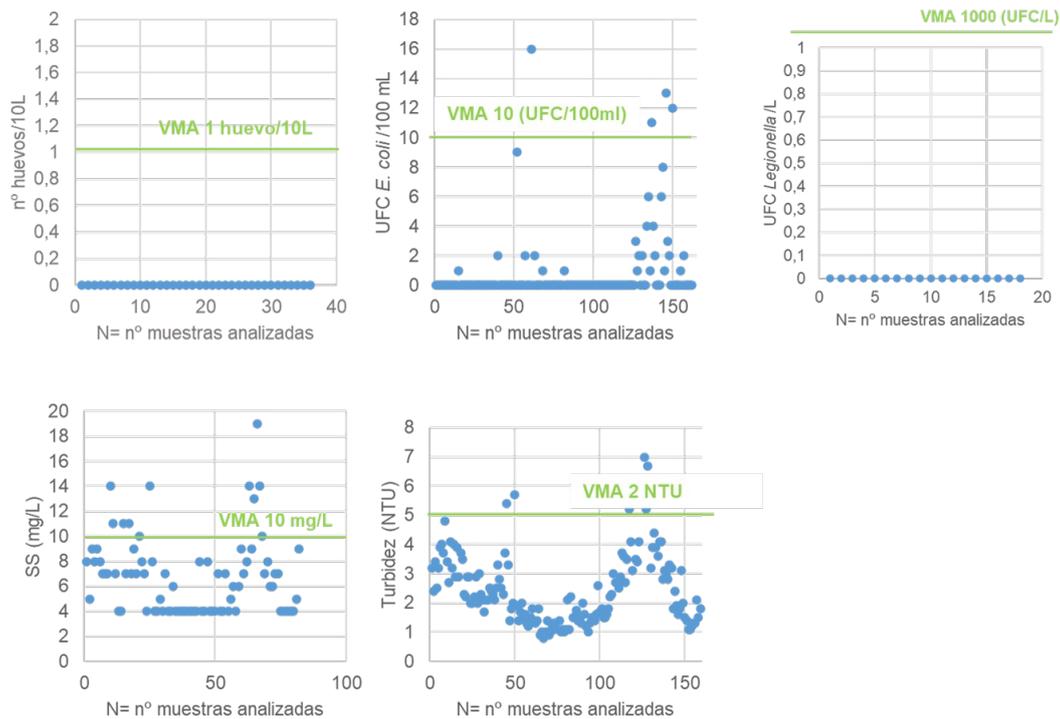


Figura 25. Graficas de los parámetros de calidad, huevos/10L, UFC E.Coli/100 ml, UFC Legionella/1 L, SS (mg/L) y Turbidez (NTU) frente a VMA en uso Agrícola.

4.2.2.3. Conclusiones

Si se analizan los resultados en base a los requisitos de calidad establecidos para el uso agrícola de calidad A, con el sistema actual de regeneración de aguas se estaría incumpliendo en sólidos en suspensión, ya que el 11% de las muestras analizadas presentan valores superiores al VMA exigido para este parámetro (10 mg/L). Si se pretendiera llevar a la máxima calidad (calidad A), se cumplirían con los criterios de calidad para los parámetros de Nematodos intestinales, *E.coli*, TU y *Legionella*. A pesar de ello, el incumplimiento en sólidos en suspensión imposibilita la utilización de esta agua regenerada para riego de productos que vayan a ser consumidos en crudo y que hayan estado en contacto con el agua regenerada.

Si se pretendiera llegar a producir en las instalaciones de la EDAR de Castellón agua regenerada de clase A para uso agrícola deberían aplicarse mejoras tecnológicas encaminadas a reducir los sólidos suspendidos totales, realizar las analíticas pertinentes para evaluar la capacidad de reducción de patógenos indicadores para cumplir con los objetivos de rendimiento, incluir en las analíticas periódicas la evaluación del parámetro de DBO y adicionar una sonda de turbidez a la salida de la estación de regeneración para realizar medidas en continuo de este parámetro. Sin embargo, con la calidad conseguida actualmente por el tratamiento terciario en funcionamiento se llegaría a cumplir con los parámetros de calidad establecidos para generar agua para el riego de clase B.

4.2.3. Uso industrial

4.2.3.1. Descripción y criterios de calidad

Dentro de los usos industriales, el agua regenerada se puede emplear como agua de procesos y limpieza, o en torres de refrigeración y condensadores evaporativos.

En la Tabla 25 se indican los criterios de calidad establecidos para el uso de aguas regeneradas con fines industriales y las frecuencias de los análisis para el control de dicha calidad.

Uso Industrial					
Calidad	Parámetro	Nem	<i>E. coli</i>	SS	TU
	Unidades	huevo/10L	UCF/100mL	mg/L	NTU
3.1 Agua de proceso	VMA	No se fija	10.000	35	15
	Frecuencia	No se establece	1 semana	1 semana	1 semana
3.1 b) Industria alimentaria	VMA	1	1.000	35	No se fija
	Frecuencia	Quincenal	1 semana	1 semana	No se establece
3.2 Torres de refrigeración	VMA	1	Ausencia	5	1
	Frecuencia	Semanal	3 semana	Diaria	Diaria

Tabla 25. Criterios de calidad y frecuencia de los análisis. Uso Industrial.

Para la calidad 3.1 y 3.1b), se deberá realizar el análisis de *Legionella spp* (VMA: 100 UFC/L; frecuencia analítica: mensual). Además, Es importante destacar que, en el caso de calidad 3.1 b), utilizada en la industria alimentaria, el recuento de *E. coli* se realiza teniendo en cuenta un plan de muestreo a 3 clases con los siguientes valores: $n = n^\circ$ de unidades de la muestra; $m = 1000$ UFC/100 mL; $M = 10000$ UFC/100 mL; $c = 3$ (número máximo de unidades de muestra cuyo número de bacterias se sitúa entre m y M). Si se repite habitualmente que $c = 3$ para $M = 10.000$, es obligatorio llevar a cabo detección de patógenos Presencia/Ausencia de otros patógenos como la *Salmonella*. Para el uso del agua regenerada en torres de refrigeración y condensadores evaporativos, se requiere ausencia de *Legionella spp* y para la autorización de uso se requerirá la aprobación de la autoridad sanitaria del Programa específico de control y prevención de legionelosis.

4.2.3.2. Análisis de los resultados

Del mismo modo que para los usos urbano y agrícola, también se ha evaluado el potencial del sistema actual de regeneración de la EDAR de Castellón para producir agua regenerada para la industria. En la Tabla 26 se puede observar que, con el sistema actual, no se podría utilizar el agua en torres de refrigeración ni condensadores evaporativos. En verde se señalan los parámetros que cumplen los requisitos de calidad, indicando esto que el 90% de las muestras evaluadas se sitúan por debajo del VMA y en rojo las que no los cumplen, indicando que más del 10% de las muestras evaluadas sobrepasan el VMA establecido.

Uso Industrial					
Calidad	Parámetro	Nem	<i>E. coli</i>	SS	TU
	Unidades	huevo/10L	UCF/100mL	mg/L	NTU
3.1 Agua de proceso	VMA	No se fija	10.000	35	15
3.1 Industria alimentaria	VMA	1	1.000	35	No se fija
3.2 Torres de refrigeración	VMA	1	Ausencia	5	1

Tabla 26. Parámetros de calidad para usos Industrial (RD 1620/2007).

El análisis de los datos queda recogido en la Tabla 27, donde se especifica el número de muestras evaluadas de cada uno de los parámetros, (N), el VMA para el uso más restrictivo (industrial 3.2), el número de muestras que superan dicho VMA (N>VMA), el porcentaje de muestras que superan el VMA (% N>VMA; que no debe superar el 10%) y el cumplimiento (SI o NO).

Para uso industrial torres refrigeración					
	VMA	N	N>VMA	% N>VMA	Cumplimiento
Nematodos	1 huevo/10L	36	0	0	SI
<i>E. coli</i>	0 UFC/100mL	162	27	16,66	NO
SS	5 mg/L	82	46	56,1	NO
TU	1 UNT	159	80	50,31	NO

Tabla 27. Cumplimiento de los parámetros de calidad para Uso Industrial (3.2).

Para uso industrial, el caso más restrictivo se establece cuando se pretende usar el agua regenerada para torres de refrigeración y condensadores evaporativos y como se observa en la Tabla 27, con la tecnología actual disponible en la EDAR de Castellón, se está muy lejos de poder alcanzar esos parámetros de calidad. Solo se cumple con el requisito de nematodos intestinales, y se observan incumplimientos en *E. coli*, SS y TU. Los resultados obtenidos se muestran también en la Tabla 28, donde se observa claramente que se está bastante lejos de alcanzar los VMA establecidos para este uso en concreto.

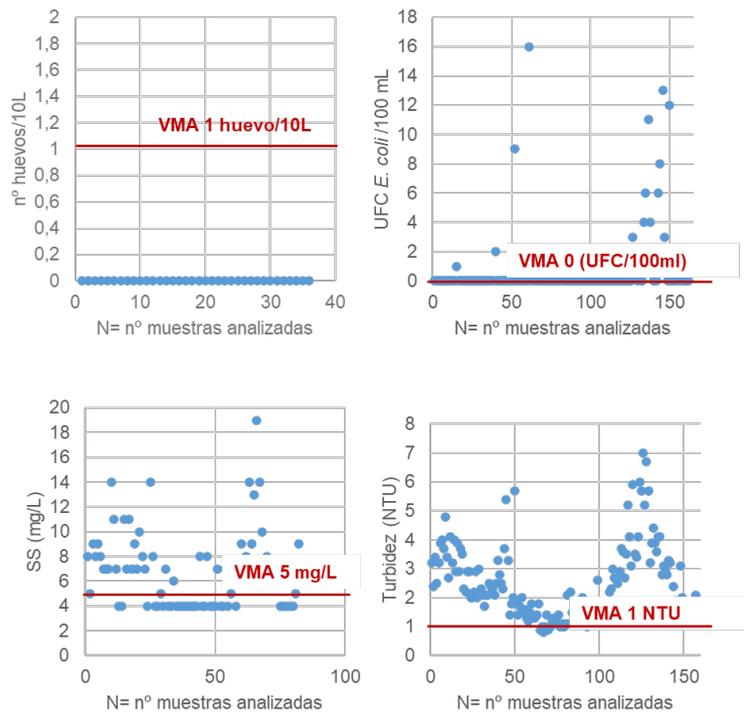


Tabla 28. Gráficas de los parámetros de calidad, huevos/10L, UFC E.Coli/100 ml, UFC Legionella/1 L, SS (mg/L) y Turbidez (NTU) frente a VMA en uso Industrial.

4.2.3.3. Conclusiones

Después del análisis del potencial del sistema de regeneración de aguas actual presente en la EDAR de Castellón, se puede concluir que con las condiciones actuales no se cumplen los requerimientos para los VMA de *E.coli*, sólidos y turbidez para la calidad 3.2. De hecho, con el sistema actual se está muy lejos de la calidad exigida para la utilización del agua regenerada en torres de refrigeración y condensadores evaporativos en el ámbito industrial.

4.2.4. Uso recreativo

4.2.4.1. Descripción y criterios de calidad

El agua regenerada puede ser utilizada con fines recreativos y está permitido su uso para el riego de campos de golf y estanques, masas de agua y caudales circulantes ornamentales, en los que está impedido el acceso del público al agua.

La Tabla 29 muestra los criterios de calidad establecidos para este uso y las frecuencias de los análisis para el control de dicha calidad.

Uso Recreativo					
Calidad	Parámetro	Nem	<i>E. coli</i>	SS	TU
	Unidades	huevo/10L	UCF/100mL	mg/L	NTU
4.1 Campos de golf	VMA	1	200	20	10
	Frecuencia	Quincenal	2 semana	1 semana	2 semana
4.2 Estanques	VMA	No se fija	10.000	35	No se fija
	Frecuencia	No se establece	1 semana	1 semana	No se establece

Tabla 29. Criterios de calidad y frecuencia de los análisis. Uso recreativo.

Además de los parámetros señalados en la Tabla 29, para el uso de agua regenerada con fines recreativos, de acuerdo con el RD 1641/2007 debe controlarse la incorporación de nutrientes como el fósforo al medio por el riesgo de eutrofización. A pesar de no realizarse un seguimiento de este parámetro de forma periódica en la EDAR de Castellón en el efluente del tratamiento terciario, se recogieron muestras y se observó que, en todos los casos evaluados, el contenido en fósforo total se encontraba por debajo que el VMA de 2 mg/L (Directiva 91/271/CEE).

4.2.4.2. Análisis de los resultados

En análisis de los datos acumulados entre enero de 2022 y junio de 2023 ha puesto de manifiesto que, con el sistema actual de tratamiento terciario se cumplen con todos los parámetros de calidad requeridos para utilizar las aguas regeneradas con fines recreativos. En la Tabla 30 se señalan en verde los parámetros que cumplen los requisitos de calidad, indicando esto que el 90% de las muestras evaluadas se sitúan por debajo del VMA y en rojo las que no los cumplen, indicando que más del 10% de las muestras evaluadas sobrepasan el VMA establecido.

Uso Recreativo					
Calidad	Parámetro	Nem	<i>E. coli</i>	SS	TU
	Unidades	huevo/10L	UCF/100mL	mg/L	NTU
4.1 Campos de golf	VMA	1	200	20	10
4.2 Estanques	VMA	No se fija	10.000	35	No se fija

Tabla 30. Parámetros de calidad para usos Recreativo (RD 1620/2007).

En la Tabla 31 se muestran los datos obtenidos del análisis de datos previos, especificando en ella el número de muestras evaluadas de cada uno de los parámetros, (N), el VMA para el uso más restrictivo (recreativo, campos de golf 4.1), el número de muestras que superan dicho VMA (N>VMA), el porcentaje de muestras que superan el VMA (% N>VMA; que no debe superar el 10%) y el cumplimiento (SI o NO).

Para uso recreativo: Campos de golf					
	VMA	N	N>VMA	% N>VMA	Cumplimiento
Nemátodos	1 huevo/10L	36	0	0	SI
E. coli	200 UFC/100mL	162	0	0	SI
SS	20 mg/L	82	0	0	SI
TU	10 UNT	159	0	0	SI

Tabla 31. Cumplimiento de los requisitos de calidad para uso recreativo (Calidad 3.2).

La representación gráfica de los datos obtenidos en todo el periodo sujeto a estudio y los VMA para el caso más restrictivo, muestran que se cumplen muy holgadamente los criterios de calidad exigidos para el uso recreativo, no produciéndose ningún incumplimiento (Figura 26).

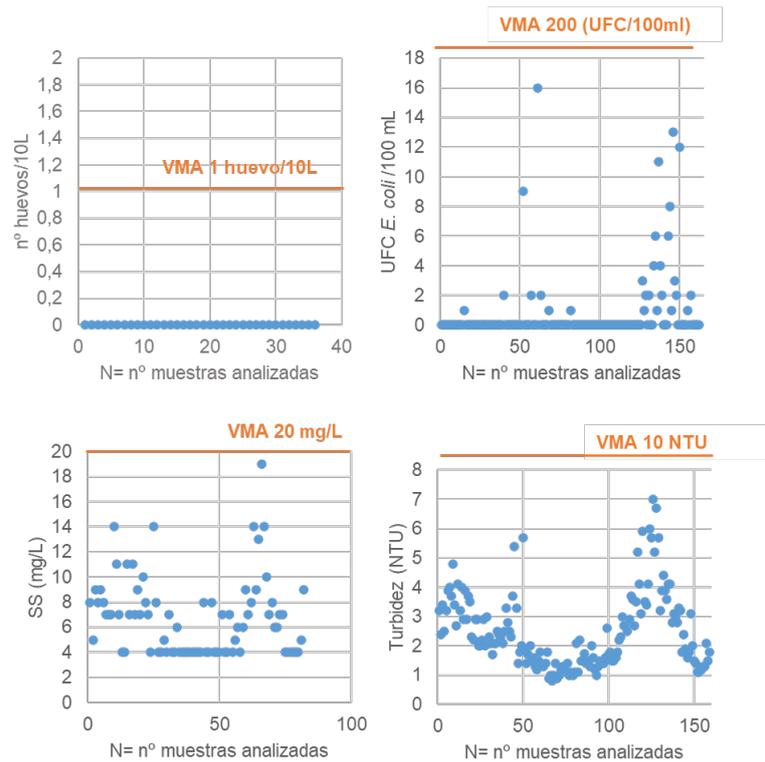


Figura 26. Gráficas de los parámetros de calidad, huevos/10L, UFC E.Coli/100 ml, UFC Legionella/1 L, SS (mg/L) y Turbidez (NTU) frente a VMA en uso Recreativo.

4.2.4.3. Conclusiones

En el caso que querer utilizar el agua regenerada con fines recreativos, el sistema actual ofrece unas calidades suficientes para cumplir con los requisitos de calidad en todos los casos. Además, se evaluó la presencia de fósforo en las aguas de salida de la estación de agua regenerada y se demostró que este parámetro también se sitúa por debajo de los VMA para el mismo (2 mg de Pt/L), cumpliéndose así todos los requisitos de calidad.

4.2.5. Conclusión final

En la siguiente tabla se muestran a modo resumen los resultados obtenidos en el análisis del potencial del actual sistema de regeneración de la EDAR de Castellón de la plana. Se ha realizado un estudio para evaluar la calidad del agua regenerada obtenida en la misma y la posibilidad de utilización de esta en los diferentes usos definidos en el RD 1620/2007 para los usos urbano, industrial y recreativo; y el Reglamento Europeo 741/2020, para el uso agrícola.

Uso Urbano					
Calidad	Parámetro	Nem	<i>E. coli</i>	SS	TU
	Unidades	huevo/10L	UCF/100mL	mg/L	NTU
1.1 Residencial	VMA	1	0	10	2
1.2 Servicios	VMA	1	200	20	10
Uso Agrícola					
Calidad	Parámetro	<i>E. coli</i>	SS	DBO	TU
	Unidades	UCF/100mL	mg/L	mg/L	NTU
A	VMA	10	10	10	5
B	VMA	100	35	-	No se fija
C	VMA	1.000	35	-	No se fija
D	VMA	10.000	35	-	No se fija
Uso Industrial					
Calidad	Parámetro	Nem	<i>E. coli</i>	SS	TU
	Unidades	huevo/10L	UCF/100mL	mg/L	NTU
3.1 Agua de proceso	VMA	No se fija	10.000	35	15
3.1 Industria alimentaria	VMA	1	1.000	35	No se fija
3.2 Torres de refrigeración	VMA	1	Ausencia	5	1
Uso Recreativo					
Calidad	Parámetro	Nem	<i>E. coli</i>	SS	TU
	Unidades	huevo/10L	UCF/100mL	mg/L	NTU
4.1 Campos de golf	VMA	1	200	20	10
4.2 Estanques	VMA	No se fija	10.000	35	No se fija

Tabla 32. Cumplimiento de los requisitos de calidad en función de los usos de agua regenerada con el sistema de regeneración actual.

Como se puede observar en la Tabla 32 el agua producida con el actual sistema de regeneración es de buena calidad y cumple holgadamente con los VMA exigidos para la calidad 1.2 para la que se tiene la autorización. Sin embargo, para poder ser utilizada en otros usos y sobre todo para los casos más restrictivos deben mejorarse algunos aspectos. Para llegar a un agua regenerada de excelente calidad deberán introducirse tecnologías dirigidas a conseguir la ausencia de patógenos (*E. coli*) y se vean reducidos los niveles de sólidos en suspensión y por tanto de turbidez.

4.3. Propositiones tecnológicas de regeneración para atender los requisitos de calidad exigida

El análisis de la calidad del agua regenerada actualmente en la EDAR de Castellón, ha revelado que solo los casos más restrictivos de los diferentes usos (Urbano, calidad 1.1 Residencial; Agrícola, calidad A e Industrial: calidad 3.2 Torres de refrigeración) no se podrían alcanzar con el tratamiento actual. Ya en el documento “Guía metodológica para la Aplicación del RD 1620/2007” se propone la utilización del tratamiento de regeneración más restrictivo TR1.

Este tratamiento se propone para aplicaciones que requieran la eliminación completa de *E. coli*, tales como el uso urbano residencial (riego de jardines privados y descarga de aparatos sanitarios), el uso industrial en torres de refrigeración y condensadores evaporativos, y el uso ambiental para la recarga de acuíferos mediante inyección directa.

El tratamiento denominado tipo 1 se compone inicialmente de una unidad de tratamiento físico-químico con decantación, cuyo objetivo es la reducción de los sólidos en suspensión. Además, este proceso se utiliza para la precipitación de sulfuros y fósforo presentes en el agua tratada. En una etapa subsiguiente, se implementa un proceso de filtración que resulta en una reducción significativa de los nematodos intestinales, cumpliendo la función de refinar los parámetros físico-químicos establecidos como objetivos en la primera fase. Posteriormente, el agua sometida a filtración se introduce en un proceso de ultrafiltración con la finalidad de garantizar una turbidez inferior a 2 UNT. Concluyendo el procedimiento, se administra una pequeña cantidad de hipoclorito sódico para llevar a cabo la desinfección de mantenimiento, con el propósito de asegurar la calidad del efluente regenerado hasta el momento de su entrega al usuario, garantizando, de este modo, la eliminación total de coliformes y otros riesgos microbiológicos.



Figura 27. Ejemplo tratamiento propuesto en la Guía de aplicación RD 1622/2007.

Por tanto, ya se sugiere desde la guía que se utilice la ultrafiltración como método más eficaz para cumplir con los estándares de calidad. En el caso del agua de la EDAR de Castellón, el incumplimiento suele venir por la presencia de SS y turbidez, así como por presencia de *E.coli*. El uso de la ultrafiltración parece encajar en las necesidades de la instalación, porque no sólo elimina sólidos en suspensión, sino que además puede eliminar una gran proporción de patógenos. La eliminación de patógenos mediante membranas de ultrafiltración es un proceso efectivo que aprovecha las propiedades físicas de estas membranas para retener partículas y organismos de tamaño microbiano.

A continuación, se destacan los aspectos clave:

- **Tamaño de Poro Selectivo:** Las membranas de ultrafiltración tienen poros de tamaño específico, generalmente en el rango de 0.1 a 0.01 μm . Estos poros son lo suficientemente pequeños para retener partículas de tamaño microbiano, incluyendo bacterias, virus y algunos protozoos. EL uso de este tipo de membrana reduce casi a cero la presencia de sólidos, mejorando mucho los indicadores de turbidez. Esto mejora de transmitancia del agua, por tanto, mejora en las prestaciones de la desinfección por UV.
- **Barrera Física:** La ultrafiltración actúa como una barrera física que impide el paso de patógenos presentes en el agua en un rango que puede superar el 90% de eficiencia. Este proceso contribuye a la mejora de la calidad microbiológica del agua tratada.
- **Conservación de Nutrientes:** A diferencia de algunos métodos de desinfección química, la ultrafiltración tiende a conservar nutrientes esenciales presentes en el agua, lo que puede ser beneficioso para ciertos usos, como el riego agrícola.

El Reglamento (UE) 2020/741, que define las directrices de uso del agua regenerada con fines agrícolas, centra muchos de sus esfuerzos en el control de parámetros microbiológicos, pero hay que indicar que no sólo estos están presentes en el agua, la presencia de los conocidos como contaminantes de preocupación emergente (fármacos, hormonas, antibióticos, resistencia microbiana, microplásticos, pesticidas, etc.), así como la presencia de metales pesados, también pueden suponer un riesgo asociado de la utilización de las aguas regeneradas. Estos contaminantes químicos atraviesan las barreras físicas como la ultrafiltración y se encuentran en las aguas regeneradas con el riesgo que esto podría suponer a corto y medio plazo sobre la salud humana, animal y los ecosistemas. Estos contaminantes químicos suelen estar presentes en concentraciones bajas en los efluentes de las EDAR procedentes de aguas residuales domésticas y, por lo general, requieren una exposición más prolongada del órgano receptor para causar enfermedades o reacciones agudas, por lo que, en general, el riesgo derivado de estos contaminantes es inferior al que plantean los patógenos. Por ello, actualmente, el control de estos contaminantes químicos emergentes como los plaguicidas o los fármacos no es exigidos por ninguna normativa vigente, sin embargo, se recomendable el seguimiento de los mismo. A pesar de no estar contemplados en las normativas que aplican para la utilización de aguas regeneradas, La Directiva sobre normas de calidad ambiental posee un mecanismo en forma de «lista de observación» para recopilar datos de seguimiento a escala de la UE sobre los contaminantes de preocupación emergente y las sustancias que pueden suponer un riesgo para el medio acuático.

Con el uso de la UF no se consigue eliminar la presencia de estos contaminantes emergentes en el agua. Una forma de eliminarlos del agua es utilizando filtros de carbón activo. El tratamiento con carbón activado (CA) es un proceso de adsorción, en el cual los contaminantes se atrapan por adsorción en la superficie de las partículas del carbón. La eficacia de adsorción depende del tamaño de las moléculas, el tamaño de los poros, el área superficial, la concentración de partículas, la temperatura, el tiempo de contacto y otros parámetros. Comúnmente, el CA se utiliza como carbón activado en polvo (PAC) o carbón activado granular (GAC). El carbón activado en polvo se aplica en tamaños de grano de 50–100 μm con un área de superficie entre

900 y 1.300 m² g⁻¹. El CAP generalmente se agrega al efluente de la etapa de tratamiento biológico en un rango de carga entre 10 y 20 mg/L. Una de las limitaciones en el diseño de diferentes configuraciones de procesos debe garantizar la retención del PAC gastado requiriendo en algunos casos altos niveles un mayor retrolavado.

La efectividad del uso de filtros de carbón activo para eliminar contaminantes emergentes como plaguicidas o fármacos está siendo demostrada en los últimos años. Durante los ensayos del proyecto REUSAGUA¹⁴ se observaron disminuciones de hasta un 80% de los contaminantes emergentes objeto de estudio (paracetamol, carbamazepina, diclofenaco, sulfametoxazol, eritromicina, ketoprofeno y naproxeno) con un flujo de 500 L/h en el prototipo. La aplicación de carbón activo de distintas granulometrías ha demostrado resultados satisfactorios a la hora de reducir los niveles de Bromacil, Diurón, Hexazinona y Metalaxil, observándose reducciones superiores al 80% (Calderón-Hernandez, 2019).¹⁵

Otro punto clave en la utilización de las aguas regeneradas para diferentes usos es la gran conductividad eléctrica que presentan los efluentes de las EDAR. Los tratamientos terciarios convencionales no suelen incorporar tecnologías destinadas a reducir conductividad eléctrica lo que se traduce en efluentes de las estaciones de regeneración con altos niveles de conductividad eléctrica. Como se ha descrito en apartados anteriores, se han detectado en el efluente de la estación de regeneración de Castellón valores cercanos a los 5000 µS/cm. Si evaluamos los valores promedio, estos oscilan entre 2.000 y 3.200 µS/cm, quedando el agua regenerada clasificada según Salinity Laboratory Staff como agua de salinidad media a elevada (C3: 750 a 2.250 µS/cm). El riego de cultivos con esta agua salina podría desencadenar problemas a largo plazo ya que podrían presentarse síntomas de estrés abiótico en las plantas, lo que directamente se traduciría en una merma de la producción. A parte de un efecto directo sobre los cultivos, el riego continuado con aguas salinas podría tener efectos directos sobre el suelo, así como sobre las aguas subterráneas que reciban los lixiviados.

Para abordar estas problemáticas asociadas directa o indirectamente con la utilización de aguas regeneradas, se plantean a continuación cuatro propuestas tecnológicas que podrían implementarse en la estación de regeneración de la EDAR de Castellón.

4.3.1. Propuesta tecnológica nº1: Sistema filtrante, Ultrafiltración

En el caso de la EDAR de Castellón una forma de integrar el sistema de UF en el proceso sería el siguiente:



Figura 28. Propuesta tecnológica nº1: Ultrafiltración.

¹⁴ Sistema autosostenible de regeneración de agua para uso agrícola. Laura Ponce Robles, 2019.

¹⁵ Mauricio Calderon Fernández. Propuesta de sistema de remoción de Bromacil y otros plaguicidas existentes en el agua de los acueductos que abastecen los poblados de Luisiana y el Cairo (2019).

En los últimos años se está implementando el uso de la tecnología de ultrafiltración directa (UF) en el pre-tratamiento de las estaciones de tratamiento de agua potable (ETAPs), como alternativa al pre-tratamiento convencional. Con el proyecto LIFE+ UFTEC, a partir de la optimización de los tres prototipos de UF directa, se ha demostrado que la calidad de permeado obtenida es elevada, constante e independiente de las fluctuaciones de calidad del recurso y es capaz de trabajar incluso a turbideces extremas, poniendo de manifiesto el potencial de esta tecnología.

4.3.2. Propuesta tecnológica nº2: Uso de carbón activo

La segunda proposición tecnológica consiste en la incorporación de un filtro de carbono en la planta de regeneración de agua en la EDAR de Castellón. Con este sistema se conseguirían mejorar los parámetros de calidad obtenidos con el sistema actual, además de trabajar en la calidad del efluente mediante la reducción del vertido de sustancias contaminantes peligrosas para la salud humana y para el medioambiente.



Figura 29. Propuesta tecnológica nº2: Filtro de carbón activo.

4.3.3. Propuesta tecnológica nº3: Ultrafiltración + carbón activo

La regeneración de aguas con un alto índice de calidad y ausencia de riesgos microbiológicos u otros derivados de contaminantes emergentes, requiere la combinación de varios tipos de tratamientos tales como radiación UV, materiales absorbentes como el carbón activo, tecnología de membranas de filtración y la adición de peróxido de hidrógeno u otros reactivos con alto poder oxidante. Por tanto, para conseguir una calidad de agua regenerada capaz de cumplir con los requisitos de calidad para ser utilizada en los usos más exigentes como son el uso Urbano, 1.1 Residencial, y el uso industrial, 3.2 Torres de refrigeración, se propone la utilización de ultrafiltración y carbón activo de forma combinada para cumplir con los requisitos de sólidos en suspensión, turbidez y *E. coli* además de reducir los contaminantes emergentes presentes en el efluente del terciario, que no son eliminados con las tecnologías utilizadas en la planta.



Figura 30. Propuesta tecnológica nº3: Ultrafiltración + Filtro de carbón activo.

4.3.4. Propuesta tecnológica nº4: Sistema de mezcla

Para finalizar, se propone un sistema de mezcla de aguas (agua convencional + agua regenerada). En la arqueta de toma de agua del sistema de agua regenerada, se establecerá un sistema de mezcla que asegure la dilución de las sales presentes en el agua regenerada por debajo de un límite adecuado, siempre por debajo de 3500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, para preservar las especies vegetales y la calidad del lixiviado del retorno de riego. El riego con esta agua regenerada diluida permitiría mitigar los efectos negativos sobre las plantas, el suelo y las masas de agua subterráneas relacionados con el aporte de agua de riego con excesiva concentración de sales.



Figura 31. Propuesta tecnológica nº4: Sistema de mezcla.

5. RED DE TRANSPORTE DE AGUA REGENERADA

En la actualidad, la ciudad de Castellón ya cuenta con una infraestructura de redes de agua regenerada que abastece desde la EDAR a distintas zonas de la ciudad como el Parque Litoral del Grao y las zonas este y noroeste de la ciudad. No obstante, tal como se ha explicado en el apartado 1., aún existe dotación de agua regenerada disponible para utilizarse en el riego de más zonas de parques y jardines del municipio. Así pues, a lo largo de este apartado se va a describir la red de infraestructuras existente actual y posteriormente se va a evaluar la agrupación de potenciales demandas para plantear la red de infraestructura futura en el municipio.

Infraestructura existente

En la actualidad la ciudad cuenta con 6 km de red de transporte de nueva implantación. Una red de distribución y riego de 9 km, para la que se ha aprovechado la red de distribución de riego existente, efectuando las adaptaciones necesarias. Y un depósito de almacenamiento en el Parque del Litoral. **Para abordar nuevos despliegues es necesario efectuar un estudio de la solución óptima para el sistema completo.**

5.1. Red de infraestructuras existente

Actualmente, el riego con agua regenerada se utiliza en los parques y jardines de la zona de Auditorio y Juzgados y la zona Litoral.

La infraestructura existente de agua regenerada en la ciudad de Castellón de la Plana consta de:

- Un ramal de transporte y distribución de agua regenerada desde la EDAR hasta el Grao de Castellón para llevar el agua al Parque del Pinar y el Parque Litoral, formado por una tubería de Polietileno de alta densidad PE100 de diámetro 250 mm y PN16.
- Un ramal de transporte y distribución de agua regenerada desde la EDAR hasta el núcleo urbano de Castellón de la Plana y parte del anillo perimetral previsto en la Ronda de Circunvalación desde la calle Rafalafena hasta el Paseo Periodista Paco Pascual; formado a base de tubería de Fundición Dúctil de 250 mm de diámetro.
- El grupo de impulsión en la EDAR de tres bombas de la marca Grundfos modelo CRN45-4 A-F-G-E-HQQE con un caudal total de 45 m³/h y 15 kW, que da suministro a ambos ramales a la vez.

En la Figura 32 se muestra la red de infraestructuras existente en la actualidad que dota de riego con agua regenerada a los parques y jardines de la zona Auditorio y Juzgados y la zona Litoral.



Figura 32. Red de infraestructuras existente en la actualidad para el riego de la zona de Auditorio y Juzgados y la zona Litoral.

A su vez, la red de infraestructuras se compone de tres tipos de redes según la funcionalidad y la entidad responsable de su gestión. Esta segmentación en tres etapas permite un mayor control y eficiencia en la gestión del volumen de agua desde la salida de la EDAR hasta el punto exacto en el que se realiza el riego en el parque o jardín. Además, dota a la infraestructura de una mayor flexibilidad para adaptarse a las necesidades cambiantes de las zonas dentro del municipio y definir los límites entre los diferentes actores del sistema.

- **Red de transporte:** es el conjunto de tuberías que se encargan de llevar el agua regenerada desde la salida de la EDAR hasta las principales zonas de riego del municipio. Esta red cuenta con las tuberías de mayor diámetro de la infraestructura pues necesita transportar grandes volúmenes de agua a distancias más alejadas. Esta red suele trabajar con presiones nominales en el rango de 6 a 8 bar.
- **Red de distribución:** es el conjunto de tuberías que se encargan de llevar el agua regenerada dentro de la zona de riego hasta las inmediaciones al jardín o parque que se desea regar. La red de distribución cuenta con tuberías de menor diámetro que las de transporte pues la distancia a recorrer es menor. Las presiones nominales de trabajo de este tipo de redes son de 2,5 a 3 bar.
- **Red de riego:** es la última etapa de la red de infraestructura mediante la cual se realiza el riego en los puntos donde existe una demanda de agua regenerada. Esta red cuenta con sistemas de riego específicos como son sistemas de aspersión, goteo u otros. Este tipo de riego red cuenta en su suministro con elementos como contador y póliza.

Tras definir los tres tipos de red que conforman la red de infraestructuras de agua regenerada municipal, la Figura 33 presenta los diferentes ramales de la red según su tipología en las inmediaciones del Bv. Blasco Ibáñez y la Ronda Circunvalación.

Ambas válvulas PRV se encuentran en la conexión de la red de transporte con la red de distribución. Así pues, las condiciones de funcionamiento de la presión en la red de agua regenerada actual se diferencian según la tipología de red.

Tras caracterizar los elementos hidráulicos de la red de agua regenerada actual del municipio, se procede a la descripción de sus demandas base.

Para el cálculo de las demandas base se tiene en cuenta que el riego de parques y jardines se realiza por la noche en un horario de 11 pm a 6 am. Así pues, la demanda base unitaria de agua se calcula para un total de 7 h de riego por día. En la Figura 35 se muestran las demandas bases unitarias existentes en la red de agua regenerada actual.



Figura 35. Representación de las demandas base unitarias existentes en la red de agua regenerada actual en m^3/h .

Actualmente, el bombeo existente en la EDAR no tiene suficiente capacidad para incrementar la demanda de agua regenerada a otras zonas de parques y jardines. Por tanto, la futura red de infraestructuras de aguas regeneradas de Castellón de la Plana, además de permitir llegar a un mayor número de zonas verdes del municipio, debe estudiar la solución óptima del sistema completo, desde el bombeo de cabecera, la red de transporte, depósitos intermedios y rebombeo, etc.; todo ello bajo la premisa de reaprovechar las infraestructuras existentes.

5.2. Localización de las potenciales demandas priorizando volúmenes y agrupaciones de demandas

Tal como se ha concluido en el apartado 1., dada la disponibilidad existente de agua regenerada se estudia ampliar la red de transporte y distribución existente al objeto de abastecer más zonas regables. En Tabla 9 se ha comprobado que las dotaciones concedidas en 2016 y en 2022 cuentan con volumen autorizado inferior al volumen de agua regenerada necesario para regar todas las zonas verdes del municipio; sin embargo, con el objetivo de incrementar la sostenibilidad urbana, así como preservar los recursos naturales y la economía circular en el Ciclo Integral del Agua, se estudia

la priorización de las potenciales demandas de riego de parques y jardines en el municipio.

En la Figura 36 se muestran las demandas base de las zonas de consumo de riego en m^3/h teniendo en cuenta un riego de 7 h/día.

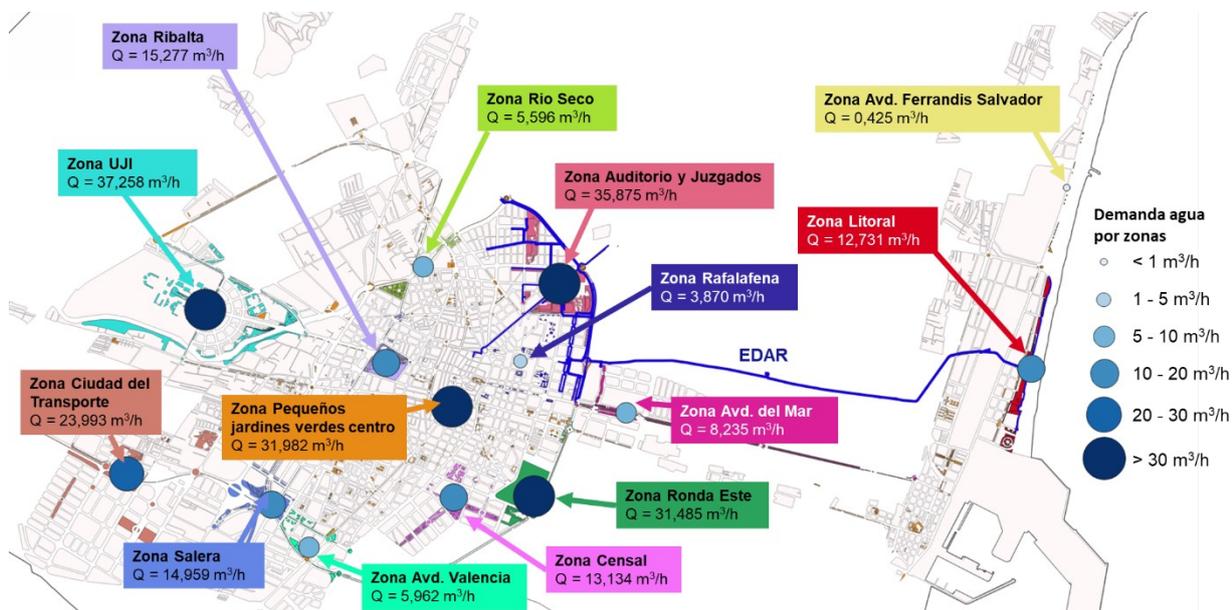


Figura 36. Demandas base de cada una de las catorce zonas de riego identificadas en el municipio en m^3/h .

A la hora de plantear una propuesta de red de infraestructuras de agua regenerada futura se considera prioritario regar las zonas que se definieron en la ampliación de la dotación concedida en 2022:

- **Zona Río Seco.** La red de agua regenerada actual dispone de un punto de suministro preparado en el Paseo Periodista Paco Pascual junto a la rotonda de los Caballos Solidarios para el riego de la zona del Río Seco. Sin embargo, en la actualidad esta zona está conectada a la red de abastecimiento debido a la falta de la capacidad para poder abastecer su demanda desde el bombeo de cabecera de la EDAR.
- **Zona Avd. del Mar.** La zona ajardinada de la Avd. del Mar cuenta con una red de riego conectada a la red de abastecimiento. Por tanto, para poder regar con agua regenerada la zona ajardinada de la Avd. del Mar se plantea implantar una válvula PRV en el mercado del Lunes desde donde reconectar la red de riego existente.
- **Zona Ronda Este y futuro parque en la Avd. Chatellerault.** Esta zona puede regarse mediante la continuación de la red de transporte planteada para llevar el agua regenerada hasta la Avd. del Mar. Así pues, continuando con el tramo en paralelo a la ronda Circunvalación podría abastecerse la zona de la ronda Este y futuro parque en la Avd. Chaterellault.
- **Zona Avd. Ferrandis Salvador.** Para el riego con agua regenerada de las superficies ajardinadas de la Avd. Ferrandis Salvador se necesitaría prolongar

la red de riego que abastece la parte norte del Grao hasta la intersección con el Camí la Ratlla.

Con el riego de las cuatro zonas anteriores, así como la zona de Auditorio y Juzgados y la zona Litoral, se conseguiría regar con agua regenerada aproximadamente el 40% de la superficie total de parques y jardines del municipio. Para la selección del resto de zonas verdes a regar con agua regenerada se establecen los siguientes criterios de priorización.

Criterios de priorización confección propuesta futura red de transporte:

- **Demanda base:** demanda de agua regenerada para el riego de la zona ajardinada. Se definen tres tipos de respuestas: alta, media y baja. Se considera una demanda base alta si se requieren entre 40 - 31 m³/h para su riego. La demanda media comprende el rango de 30 - 10 m³/h. Por último, una demanda base se considera baja si necesita menos de 10 m³/h.
- **Proximidad a redes existentes:** se prioriza la conexión de aquellas zonas que estén cercanas a la red actual de agua regenerada pues el coste de construcción será menor si solo se necesita prolongar un tramo existente frente a tener que crear una red nueva para abastecer a una zona muy alejada.
- **Densidad edificación y potencial desarrollo a corto y medio plazo:** a la hora de estudiar la viabilidad de la confección de una red es necesario tener en cuenta el trazado que va a seguir y si va a pasar por zonas altamente edificadas o, por el contrario, si está en las afueras en áreas aún sin edificar. Trazar una red que pase por una zona con una densidad de edificación alta puede dificultar la construcción aumentando el coste de construcción por tener que acceder a un terreno ya pavimentado.

Así pues, teniendo en cuenta los criterios de priorización definidos, se buscan aquellas zonas que tengan una demanda base media-alta que a su vez se encuentren cerca de la red de agua regenerada existente y en zonas alejadas del centro urbano. En la Tabla 33 se presentan los resultados de priorización para las zonas de riego que no se han definido como zonas de uso en las concesiones de 2016 y 2022.

	Criterios de priorización		
	Demanda base	Proximidad a redes existentes	Densidad edificación
Zona UJI	Alta	Sí	Afuera de la ciudad con densidad de edificación media. Máster Plan del Río Seco y ejecución del tramo Suroeste de la Ronda Circunvalación.
Zona Pequeños jardines verdes centro	Alta	No	Centro de la ciudad con elevada densidad de edificación. Zonas muy alejadas entre sí.

Zona Ribalta	Alta	Sí	Centro de la ciudad. Alta densidad de edificación.
Zona Ciudad del Transporte	Media	No	Afuera de la ciudad. No hay edificación, es zona industrial.
Zona Salera	Media	No	Afuera de la ciudad. No hay edificación, es zona industrial.
Zona Censal	Media	Sí	Afuera de la ciudad. Poca densidad de edificación alrededor.
Zona Avd. Valencia	Baja	No	Afuera de la ciudad. Densidad de edificación media.
Zona Rafalafena	Baja	Sí	Centro ciudad con gran densidad de edificación. Zonas alejadas entre sí.

Tabla 33. Criterios de priorización definidos para la optimización de la dotación concedida con el mayor número de zonas de riego posible.

La zona UJI y la zona Censal no presentan ningún requisito limitante en cuanto a los criterios establecidos. Si bien es cierto que la zona UJI se encuentra ubicada en una zona con una densidad de edificación media, si se tiene en cuenta la oportunidad de instalación que ofrece el desarrollo del Master Plan del Río Seco, existe la posibilidad de prolongar la red en paralelo al cauce del río Seco hasta la zona UJI. De esta forma, gran parte de la red no cruzaría calles ni edificios. La zona Censal tampoco supondría un problema pues sería continuar la red que abastecería a la zona de la Avd. del Mar y la zona Ronda Este y futuro parque en la Avd. Chatellerault.

Otra zona que se encuentra en un área con una alta densidad de edificación a su alrededor es la zona del Ribalta. Sin embargo, la proximidad a la red existente es un factor clave para la selección de la zona del Ribalta como parte de la propuesta futura de red de transporte del municipio. Para la conexión de la zona Ribalta con la red existente se necesitaría prolongar el tramo que llega al parque Pont de Ferro una distancia menor a un kilómetro. Así pues, a pesar de cruzar calles céntricas de la ciudad, la distancia es relativamente pequeña por lo que se considera una zona prioritaria.

Respecto a la zona de la Ciudad del Transporte y la zona de la Salera ambas presentan la dificultad de estar alejadas de la red de agua regenerada existente. Sin embargo, por contar con una demanda base significativa y ubicarse en zonas con potencial de uso a futuro como son los polígonos industriales, también se considera incluirlas como zonas prioritarias.

A pesar de contar con una demanda base elevada, los parques y jardines del centro de la ciudad se encuentran muy alejados entre sí en pleno centro urbano de la ciudad. Así pues, si se quisiera regar sus superficies ajardinadas se debería confeccionar una red de tuberías que abarcara grandes distancias en múltiples direcciones. Lo mismo sucede con la zona de la Avd. Valencia y zona Rafalafena que requieren la construcción de redes en ubicaciones con densidades de edificación medio-altas para demandas base muy bajas. Por tanto, las zonas Verde, Avd. Valencia y Rafalafena se consideran menos prioritarias para incluir en la propuesta futura de red de transporte.

En resumen, se definen como zonas prioritarias a incluir en la propuesta futura de red de transporte: zona UJI, zona Censal, zona Ribalta, zona de la Ciudad del Transporte y zona Salera. En Tabla 34 se presentan las superficies y consumos de todas las zonas a abastecer en la propuesta futura de red. Además, también se añade una última columna de % acumulado que relaciona el consumo estimado acumulado de las zonas respecto al consumo del riego de la superficie total de parques y jardines de 615.202,18 m³/año.

		Superficie (m ²)	Consumo (m ³ /año)	Consumo (m ³ /h)	% Acumulado
2016	Zona Litoral	63.780	32.528	12,731	5,29%
	Zona Auditorio y Juzgados	179.729	91.662	35,875	20,19%
2022	Zona Avd. del Mar	41.257	21.041	8,235	23,61%
	Zona Ronda Este	157.736	80.445	31,485	36,68%
	Zona Rio Seco	28.034	14.297	5,596	39,01%
	Zona Avd. Ferrandis Salvador	2.131	1.087	0,425	39,18%
PROPUESTA RED FUTURA	Zona UJI	186.657	95.195	37,258	54,66%
	Zona Censal	65.798	33.557	13,134	60,11%
	Zona Ribalta	76.536	39.033	15,277	66,46%
	Zona Ciudad del Transporte	120.202	61.303	23,993	76,42%
	Zona Salera	74.941	38.220	14,959	82,63%
Total		996.801	508.368	198,970	82,63%

Tabla 34. Consumo anual y porcentaje acumulado respecto al consumo de riego de la superficie total de parques y jardines para las zonas definidas como prioritarias en la propuesta futura de red de transporte.

Con la ampliación de la red actual para abastecer con agua regenerada cinco zonas de riego adicionales del municipio, se podría reducir el uso de agua potable hasta un 82,63% si se implementase la propuesta de red futura.

Además del estudio de las diferentes demandas base de la red priorizando volúmenes y agrupaciones de demandas claves es importante tener en cuenta otros aspectos técnicos como la elevación del terreno, distancias a recorrer o pérdidas de presión; o económicos como coste de estaciones intermedias de rebombeo, depósitos, etc. Así pues, en el siguiente apartado se va a analizar con mayor detalle estos aspectos.

5.3. Red de infraestructuras necesarias para atender las posibles demandas

La propuesta de red de transporte futura debe tener en cuenta que la demanda necesaria para abastecer el total de las diez zonas propuestas es de más de 500.000 m³/año. Esto quiere decir que, para poder efectuar un riego de 7 h, el caudal total de agua regenerada necesario sería de más de 195 m³/h. Este caudal es muy superior al que puede dar el grupo de bombeo actual presente en la EDAR de 45 m³/h. Por consiguiente, es necesario replantear la estrategia de bombeo en la EDAR pues con un bombeo directo se necesitaría casi cuadruplicar el consumo actual.

Además, otro factor a tener en cuenta para plantear posibles trayectos por los que construir la red es que el municipio cuenta con un desnivel de más de 70 m. El desnivel del terreno no supone un gran inconveniente para la red que va hacia el Grao de Castellón pues desde la EDAR hasta el parque del Litoral existe un desnivel de aproximadamente 5 m. Sin embargo, sí supone un reto para el tramo de red en dirección al casco urbano de la ciudad.

Así pues, para abastecer las demandas definidas en el apartado anterior se presenta, en la Figura 38, la propuesta de red de infraestructuras futura confeccionada para el municipio de Castellón de la Plana.

Esta propuesta de red futura presentada consta de los siguientes nuevos elementos:

- Sistema compuesto por una estación de bombeo independiente a la salida de la EDAR según el destino al que abastecen ya sea el centro urbano de la ciudad o en dirección al Grao de Castellón.

Condicionantes de diseño de la red

- Atender una demanda base total de 195 m³/h.
- Simultaneidad de consumos en horario nocturno.
- Condicionantes orográficos del municipio.
- Aprovechamiento de las infraestructuras existentes.
- Eficiencia de la red.
- Implantación progresiva.
- Previsión de desarrollos urbanos a corto y medio plazo.

- Rebombeo intermedio en el Parque Pont de Ferro en dirección UJI e implantación de un depósito de regulación a cota 73 m para permitir el riego por gravedad de aquellas superficies ajardinadas con cota mayor a 35 m.
- Segundo bombeo en el Parque Pont de Ferro para el riego de las zonas de su alrededor como el parque Ribalta.
- Incorporación de válvulas de PRV y de compuerta para mantener presiones de funcionamiento adecuadas en la red y su monitorización.

Además de las once zonas de riego seleccionadas en el apartado anterior, en la propuesta de red futura se añade una nueva zona de riego correspondiente a la superficie ajardinada de la ronda Oeste. El motivo por el que también se tiene en cuenta esta zona es debido a la proximidad al depósito de regulación y la existencia de un tramo de red de riego ya construido en dicha ronda pero que actualmente se encuentra conectado a la red de abastecimiento. Esta superficie ajardinada, incluida anteriormente dentro de la Zona pequeños jardines verdes centro, cuenta con una demanda de agua regenerada para su riego muy baja. En total, con la incorporación de la zona ronda Oeste a las once zonas de riego previamente seleccionadas se requiere una demanda global de 518.243 m³/año.

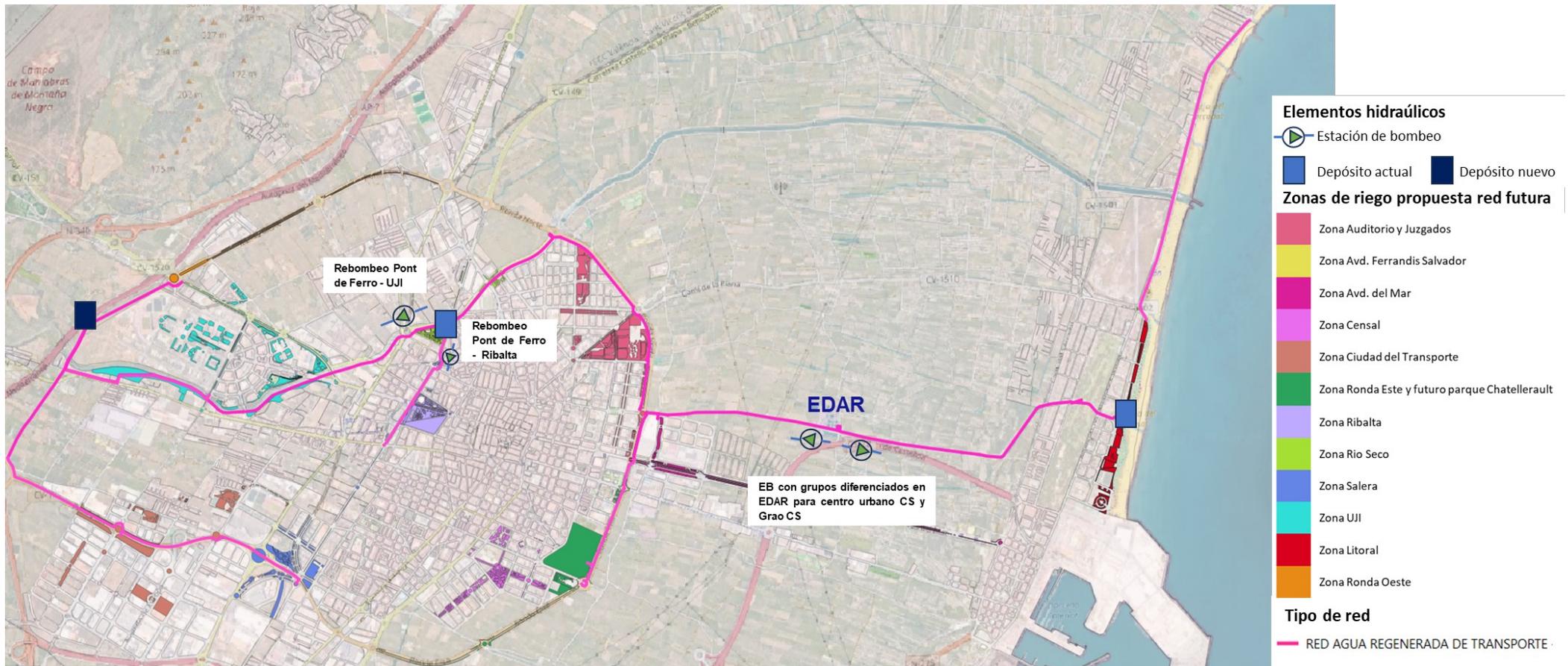


Figura 37. Propuesta de red de agua regenerada futura planteada para el municipio de Castellón de la Plana.

A continuación, en la Tabla 35 se presentan las doce zonas de riego que abastecería la propuesta de red de agua regenerada futura.

		Superficie (m ²)	Consumo (m ³ /año)	Consumo (m ³ /h)	% Acumulad o
2016	Zona Litoral	63.780	32.528	12,731	5,29%
	Zona Auditorio y Juzgados	179.729	91.662	35,875	20,19%
2022	Zona Avd. del Mar	41.257	21.041	8,235	23,61%
	Zona Ronda Este	157.736	80.445	31,485	36,68%
	Zona Rio Seco	28.034	14.297	5,596	39,01%
	Zona Avd. Ferrandis Salvador	2.131	1.087	0,425	39,18%
PROPUESTA RED FUTURA	Zona UJI	186.657	95.195	37,258	54,66%
	Zona Censal	65.798	33.557	13,134	60,11%
	Zona Ribalta	76.536	39.033	15,277	66,46%
	Zona Ciudad del Transporte	120.202	61.303	23,993	76,42%
	Zona Salera	74.941	38.220	14,959	82,63%
	Ronda Oeste	19.363	9.875	3,865	84,24%
Total		1.016.164	518.244	202,835	84,24%

Tabla 35. Recopilatorio de las doce zonas finales de riego incluidas en la propuesta de red de agua regenerada futura.

Con esta nueva configuración de zonas de riego a abastecer se podría reducir el uso de agua potable para riego de parques y jardines hasta un 84,24%.

A continuación, se procede a justificar la selección de esta propuesta de red para cada uno de los tramos: Tramo EDAR – centro urbano, Tramo EDAR – Grao de Castellón y Estación de Bombeo (EB) de la EDAR.

5.3.1. Red de infraestructuras desde EDAR al centro urbano de Castelló

La propuesta de red de infraestructuras futura que discurre desde la EB de la EDAR al centro urbano de Castellón cuenta con las demandas de diez zonas verdes. En la Tabla 36 se presenta cada una de estas diez zonas y el consumo total de la parte del centro urbano de Castellón. En este caso, la parte de la red de infraestructura con destino al centro urbano de Castellón tiene una demanda total de 189,679 m³/año.



		Superficie (m ²)	Consumo (m ³ /año)	Consumo (m ³ /h)	% Acumulad o
2016	Zona Auditorio y Juzgados	179.729	91.662	35,875	14,90%
	Zona Avd. del Mar	41.257	21.041	8,235	18,32%
2022	Zona Ronda Este	157.736	80.445	31,485	31,40%
	Zona Rio Seco	28.034	14.297	5,596	33,72%
PROPUESTA RED FUTURA	Zona UJI	186.657	95.195	37,258	49,19%
	Zona Censal	65.798	33.557	13,134	54,65%
	Zona Ribalta	76.536	39.033	15,277	60,99%
	Zona Ciudad del Transporte	120.202	61.303	23,993	70,96%
	Zona Salera	74.941	38.220	14,959	77,17%
	Ronda Oeste	19.363	9.875	3,865	78,78%
Total		950.253	484.629	189,679	78,78%

Tabla 36. Recopilatorio de las diez zonas de riego del centro urbano de Castellón incluidas en la propuesta de red de agua regenerada futura.

Tal como se ha indicado anteriormente, para poder atender las demandas de las zonas del centro urbano de Castellón es importante analizar las características del terreno. En la Figura 39 se representa la elevación de las diferentes zonas de riego a través de un mapa de contornos.

A partir de la Figura 39 se puede observar cómo desde la localización más alta del municipio hasta la EDAR de Castellón existe un desnivel de más de 70 m respecto al nivel del mar. Por tanto, para poder dotar de agua regeneradas a los jardines del campus de la UJI se necesita superar cotas de 60 m. Si se asume una presión residual de al menos 20 m para atender las necesidades de los microaspersores, el bombeo directo exigiría una potencia instalada en la EB de la EDAR para poder abastecer los 189,7 m³/h de aproximadamente:

$$P = \frac{9,81 * 189,7/3600 * (60+20)}{0,8} \approx 52 kW \text{ Con 7 h de uso diario, y un coste medio de}$$

15 c€/ kWh, ello supone un coste diario de $55 * 7 * 0,15 = 55 \text{ €/día} = 20.075 \text{ €/año}$. Además, en las cotas más bajas habría que disipar una cantidad de energía importante en las válvulas reguladoras de presión, lo que no supone una buena solución desde el punto de vista de la eficiencia energética.

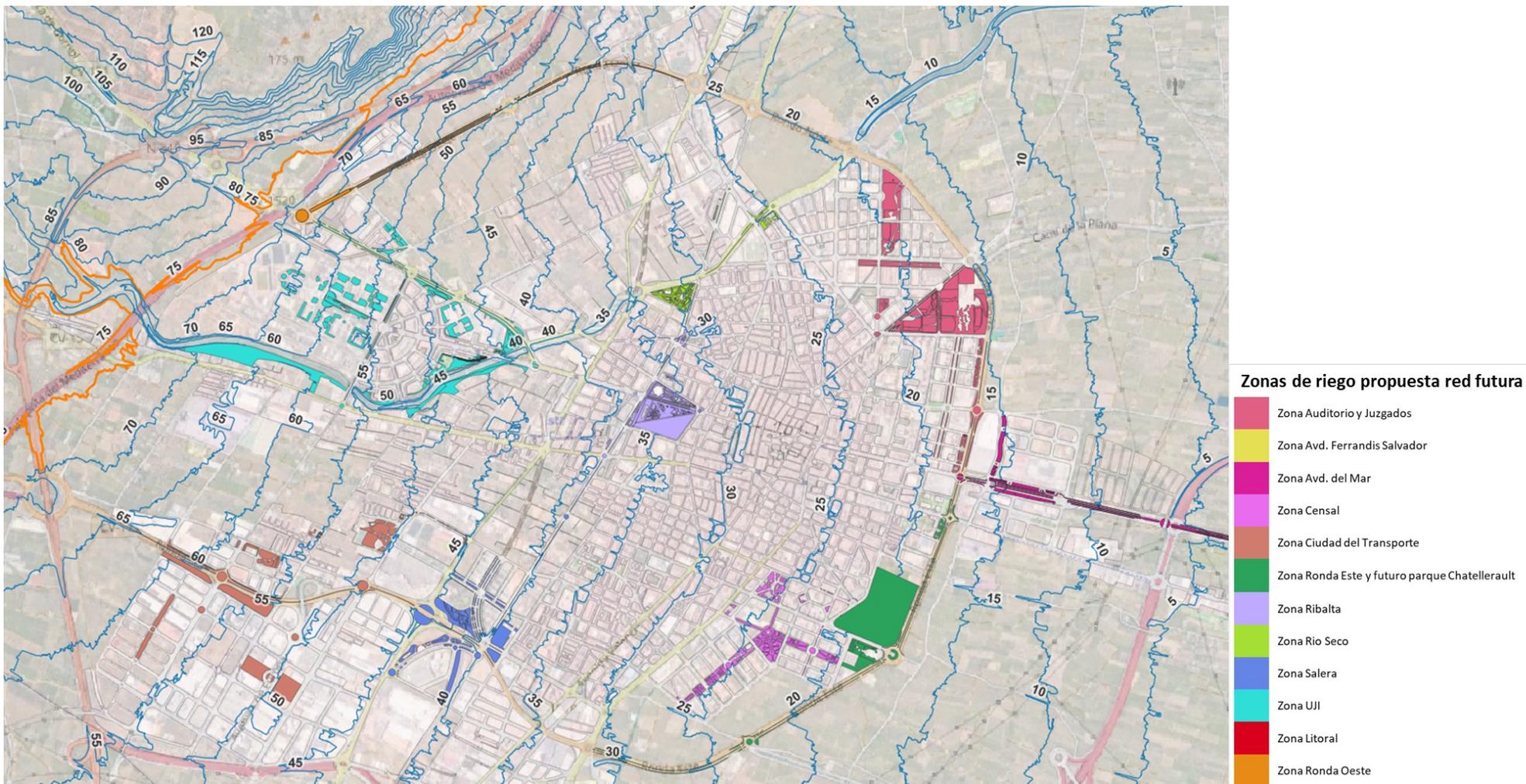


Figura 38. Mapa de contornos de elevación de la ciudad de Castellón de la Plana.

Teniendo en cuenta el caudal necesario y las consiguientes prestaciones en relación con la potencia y factores económicos, resulta esencial analizar con mayor detalle otras opciones que contemplen el almacenamiento de agua o rebombes intermedios. Siguiendo esta estrategia **se define la ubicación del parque Pont de Ferro como una localización clave para efectuar un bombeo** pues ya cuenta con una pequeña instalación que incluye un depósito con capacidad de 200 m³. En la actualidad este depósito se encuentra en desuso, sin embargo, se plantea incorporar al sistema de transporte de la red de agua regenerada pues se sitúa a una altura intermedia entre la EDAR y el punto más elevado de demanda, la zona UJI.

El análisis de la distribución de las demandas previstas muestra que de los 189,7 m³/h de demanda en el futuro, 76,2 m³/h se demandarían a una cota por encima del depósito de Pont de Ferro, 20,9 m³/h se ubican en el entorno de dicho depósito, y los 92,6 m³/h a cotas más bajas. Así pues, la propuesta planteada consta del uso del depósito de Pont de Ferro a cota 30 m como un punto de paso intermedio, con un bombeo para alimentar las cotas más elevadas y otro para alimentar la zona en torno al depósito. Por tanto,

- Bombeo desde la EDAR, situada a cota 4,5 m, de todo el caudal requerido por los riegos directos por debajo de la cota de 30 m en que se sitúa el depósito de Pont de Ferro, más la descarga del sobrante a dicho depósito (lo que supone bombear la totalidad del caudal en esta etapa), con unas pérdidas estimadas en las tuberías de 5 m:

- $$P_1 = \frac{9,81 * 189,7/3600 * (30 - 4,5 + 5)}{0,8} \approx 20 \text{ kW}$$
Rebombeeo desde el depósito de

Pont de Ferro a los jardines situados en el entorno de este (parque Pont de Ferro, Ribalta, Plaza Donoso Cortés, Av. Barcelona, Antigua Corona de Aragón, etc.), con una presión de suministro de 30 m:

$$P_2 = \frac{9,81 * 20,9/3600 * 30}{0,8} \approx 2 \text{ kW}$$

- Rebombeo del resto de caudal desde Pont de Ferro hasta los jardines de la UJI y restantes, situados a cotas más elevadas, con un desnivel de 30 m y una presión residual de 20 m:

$$P_3 = \frac{9,81 * 76,2/3600 * (30 + 20)}{0,8} \approx 13 \text{ kW}$$

La potencia total estimada sumaría en este caso 20 + 2 + 13 = 35 kW, lo que supone un ahorro en consumo de energía de $(1 - 36/55) * 100 = 36,3 \%$, es decir, un ahorro en torno a $20.075 * 0,363 = 7.300 \text{ €/año}$, lo que a lo largo de la vida de la instalación (15 años) supondría un ahorro de unos 109.500 €.

Ventajas de la implantación de un rebombeo intermedio en Pont de Ferro

Además del ahorro económico respecto al bombeo directo, la opción del rebombeo intermedio presenta también otras ventajas como:

- Mayor flexibilidad a la hora de regular las demandas.
- Mayor durabilidad de todos los equipos de bombeo y regulación, al estar sometidos a presiones más reducidas.
- Posibilidad de ir implantando las instalaciones progresivamente, a medida que vayan surgiendo nuevas demandas vinculadas con el desarrollo de los Planes Urbanísticos.
- Reducción de las sobrepresiones por golpe de ariete en las tuberías de transporte durante las maniobras de arranque y paro de las bombas, al acortarse la longitud de las conducciones.
- Posibilidad de realizar control en continuo del CI residual.

El rebombeo desde Pont de Ferro para el riego de los jardines situados a cotas más elevadas, hasta los 60 m o más, podría hacerse por bombeo directo, trazando ramales por el interior de la ciudad hasta llegar a cada una de las zonas verdes a regar. Sin embargo, el hecho de que muchas de ellas se sitúen en el entorno de las rondas de circunvalación, o bien en el entorno al cauce de Río Seco, aconsejan subir el agua por una conducción única hasta un nuevo **depósito de regulación, a cota 73 m**, siguiendo el propio cauce de Río Seco.

Ventajas de la implantación de un depósito a cota elevada para después distribuir el agua por gravedad

A continuación, se presentan las ventajas de elevar el agua por una conducción única hasta un depósito de cota elevada para posteriormente distribuir el agua regenerada por gravedad a las zonas próximas:

- El acceso a las diferentes zonas de riego desde la periferia, a través de las rondas Sur y Oeste, sin afectar apenas al entramado urbano.
- La posibilidad de ir desplegando el trazado de la red futura a medida que se urbanicen las nuevas zonas en proyecto.
- La proximidad al campus de la UJI, una zona con una alta demanda de agua para el riego.
- La posibilidad de regular el reparto del agua de una forma más flexible según las necesidades de cada zona, a medida que vayan surgiendo nuevas demandas.
- El almacenamiento de un volumen de reserva para satisfacer determinadas necesidades fuera de las horas de bombeo.
- La posibilidad de independizar las horas de bombeo de las horas de uso del agua, aprovechando así las tarifas más baratas para efectuar el llenado del depósito (en el futuro serán las horas diurnas gracias a la energía fotovoltaica).
- La posibilidad de atender puntas de demanda más allá de la capacidad de bombeo.

La construcción del nuevo depósito de regulación no sería estrictamente necesaria para el riego de las nuevas zonas desde el primer momento ya que es posible comenzar atendiendo las primeras demandas por bombeo directo. Incluso en el futuro, cuando el depósito esté en servicio, se permitirá by-pasearlo en algún momento si fuera necesario, y conectar directamente la tubería de subida hasta el depósito con otras tuberías de distribución en determinados puntos estratégicos. De este modo, con la misma capacidad de bombeo se podrá alimentar el depósito, o alternativamente suministrar el agua por bombeo directo a las nuevas zonas.

Así pues, dicho depósito adicional se ubicaría en los terrenos situados a espaldas de la UJI, pero sin cruzar la Autopista del Mediterráneo, tal como se muestra en la Figura 39.

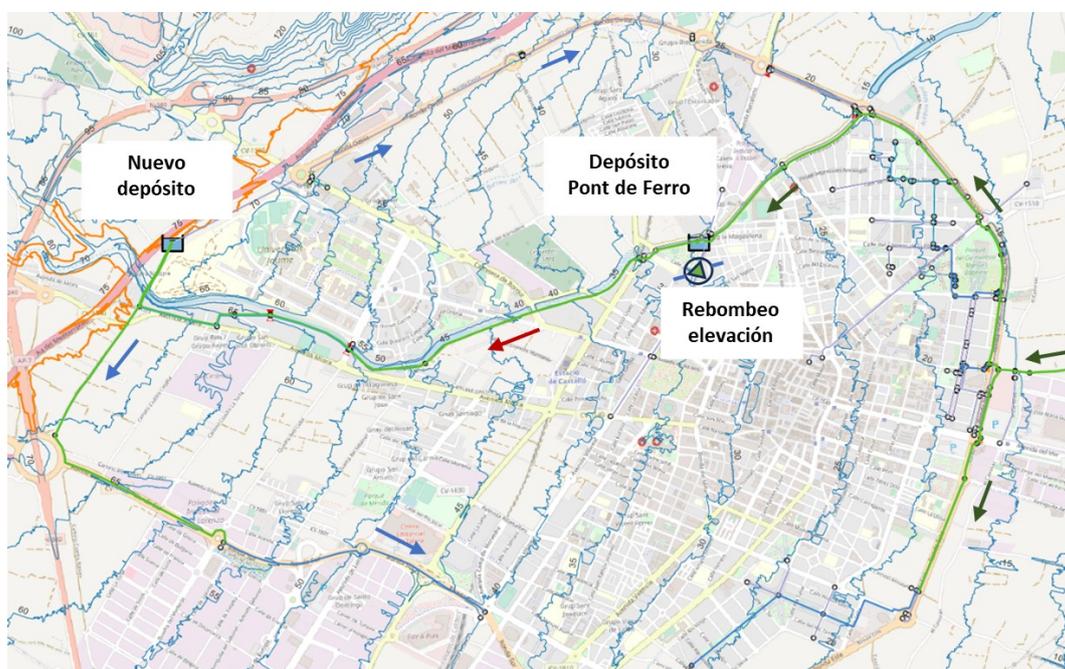


Figura 39. Ubicación del nuevo depósito a cota 73 m, trazado de la tubería de impulsión por la margen derecha de Río Seco y de las tuberías de reparto por las Rondas periféricas: bombeo directo (flecha verde oscura), impulsión (flecha roja) y gravedad (flecha azul).

La demanda de riego de la superficie ajardinada de la ronda Oeste es muy baja por lo que el consumo anual total es prácticamente el mismo.

Por tanto, para completar el riego por gravedad de las zonas más elevadas se rebombee el agua desde el depósito de Pont de Ferro, a cota 30 m, hasta el nuevo depósito de la UJI a cota 75 m. El caudal de elevación debe ser superior al máximo caudal de riego por gravedad a abastecer por el depósito de regulación, el cual se evalúa en 38,952 m³/h hacia la ronda Sur (zona Ciudad del Transporte y zona Salera), 37,258 m³/h hacia zona UJI, y 3,865 m³/h hacia la ronda Oeste. En total, se obtienen 80,076 m³/h salientes del depósito, es decir, alrededor de 22,24 l/s. En consecuencia, el caudal total de elevación se estima en 30 l/s (108 m³/h), para asegurar el llenado aun durante la jornada de riego. Por otra parte, el desnivel entre el depósito de regulación en las inmediaciones de la UJI y el ubicado en el parque Pont de Ferro es de 45 m, por lo que se estima una altura de elevación necesaria de 50 m, para tener

en cuenta las pérdidas de carga. Así pues, dado el elevado caudal, y la entrada progresiva de las demandas a futuro, se propone dividir el caudal máximo entre dos bombas, y añadir además una tercera de reserva.

Tras resolver la dificultad del riego a las zonas más elevadas y el aumento de la demanda modificando la configuración de las bombas en la EB de la EDAR, descargando el agua sobrante del riego por bombeo directo al depósito de Pont de Ferro, y volviendo a rebombar el excedente hasta el nuevo depósito a cota 73 m, para finalmente distribuir esa agua por gravedad; se vuelve a encontrar una nueva problemática. El parque Ribalta está por encima de la cota 35 m y los de la Antigua Corona de Aragón a cota 25 m, lo que deja sin acceso al riego de los jardines en el entorno del depósito de Pont de Ferro ya que este se encuentra a cota 30 m.

Dado que la presencia del depósito, como punto de paso del caudal a re-elevar, impone su piezométrica en todas las tuberías que llegan o salen de él, no es posible regar con buena presión ni los primeros jardines por estar a cota más alta, ni los segundos por no haber desnivel suficiente, ni por supuesto los propios jardines de Pont de Ferro por estar a la misma cota. Los jardines afectados por esta problemática se muestran en la Figura 40.



Figura 40. Jardines en torno al depósito de Pont de Ferro, cuyo riego exigirá un nuevo rebombee auxiliar, independiente del rebombee de elevación al nuevo depósito, y trazado de las tuberías alimentadas desde el mismo.

La solución para estos casos pasa por proyectar un **segundo rebombeo** desde el mismo depósito de Pont de Ferro, con un caudal menor e igual a la demanda de los jardines en torno al mismo, para el cual una presión de salida en torno a los 30 m se considera suficiente. En la Figura 40. se aprecia en color magenta el trazado de las tuberías que recorren la Avd. Barcelona y el Bulevar del Río Seco, las cuales serán alimentadas por el nuevo rebombeo auxiliar. A continuación, en la Figura 41, se muestra el detalle del segundo rebombeo hacia Ribalta para el riego de los jardines y parques de alrededor de Pont de Ferro.

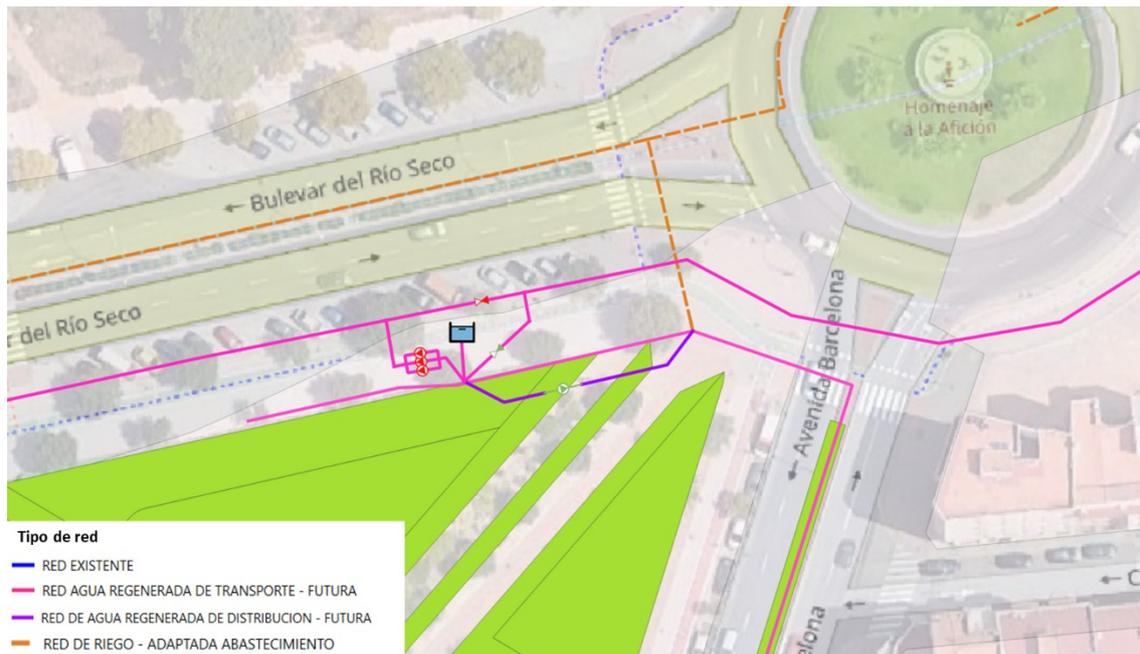


Figura 41. Detalle de la EB intermedia del parque Pont de Ferro y rebombeo a Ribalta.

Este rebombeo, tomaría agua del depósito y la repartiría por dos salidas, una en conexión con las tuberías de 90 y 63 mm ya existentes para el riego del propio parque de Pont de Ferro, de la Av. Barcelona Norte, y el Bulevar de Río Seco; y otra que alimentará la nueva tubería de la Av. Barcelona hasta el parque Ribalta. El caudal para suministrar para el riego de todas estas zonas se evalúa en aproximadamente 21 m³/h. Por otra parte, para obtener presiones de 25 m en el nudo más desfavorable, en el cruce de la Av. Barcelona con la Av. Doctor Clará, con una cota de casi 40 m, se necesita que las bombas comuniquen una altura de al menos 37 m. Así pues, dado el pequeño caudal demandado, se propone en este caso equipar la estación de bombeo con 1 bomba de servicio y otra de reserva.

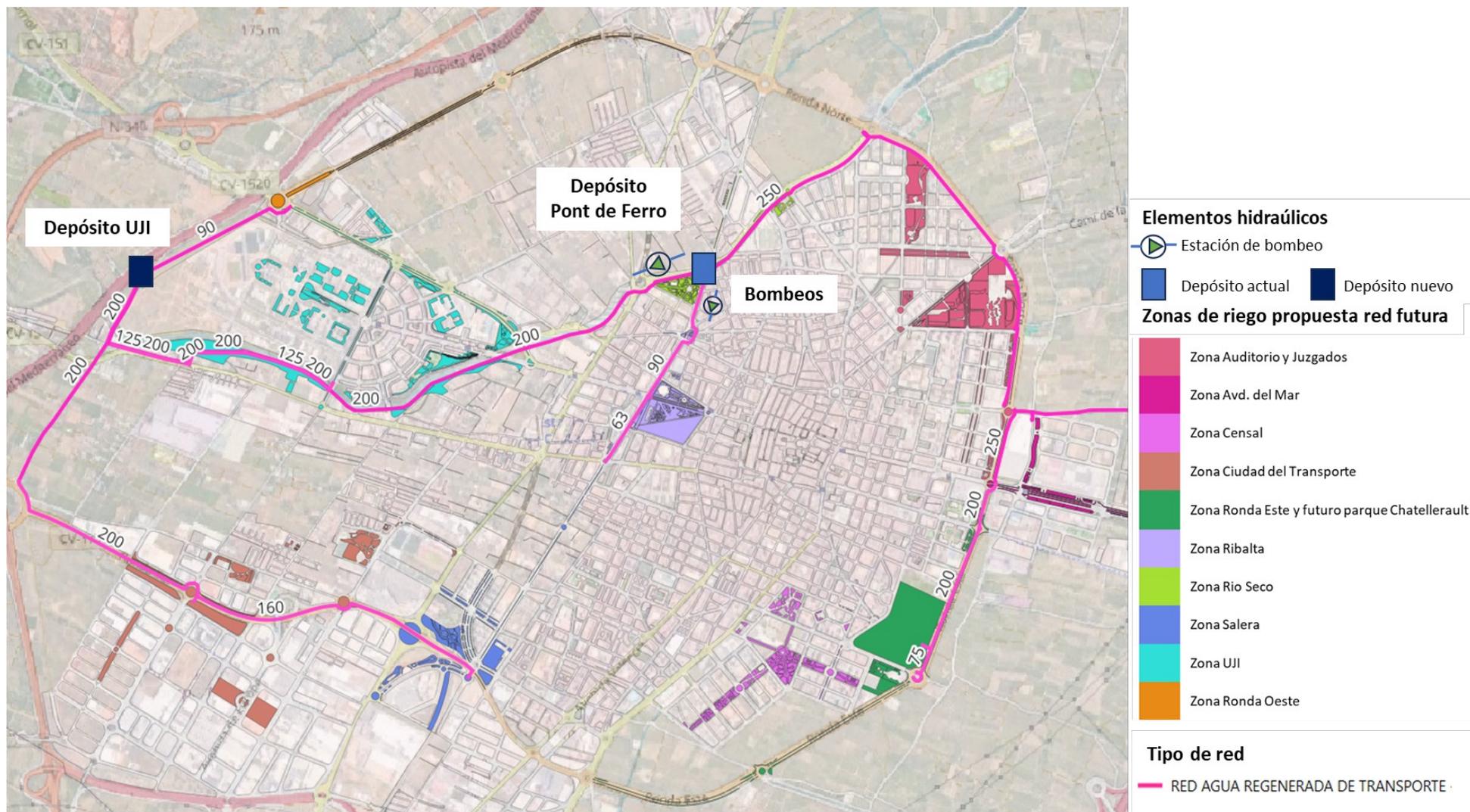


Figura 42. Propuesta de red de agua regenerada futura planteada para el casco urbano de la ciudad de Castellón de la Plana.

5.3.2. Red de infraestructuras desde EDAR al Grao de Castellón

Por otro lado, la propuesta de red de infraestructuras futura para abastecer la parte del Grao de Castellón cuenta con las zonas de Litoral y Avd. Ferrandis Salvador, Tabla 37. Esta parte de la red de infraestructuras tiene una demanda de 33.615 m³/año.

	Superficie (m ²)	Consumo (m ³ /año)	Consumo (m ³ /h)	% Acumulado
Zona Litoral	63.780	32.528	12,731	5,29%
Zona Avd. Ferrandis Salvador	2.131	1.087	0,425	5,46%
Total	65.911	33.615	13,156	5,46%

Tabla 37. Recopilatorio de las dos zonas de riego del Grao de Castellón incluidas en la propuesta de red de agua regenerada futura.

Por consiguiente, dado que la demanda del tramo de red en dirección al Grao es mucho menor que la que se dirige al centro de la ciudad se decide mantener la configuración de las tres bombas en paralelo ubicadas actualmente en la EB de la EDAR para el riego del parque Litoral y la Avd. Ferrandis Salvador.

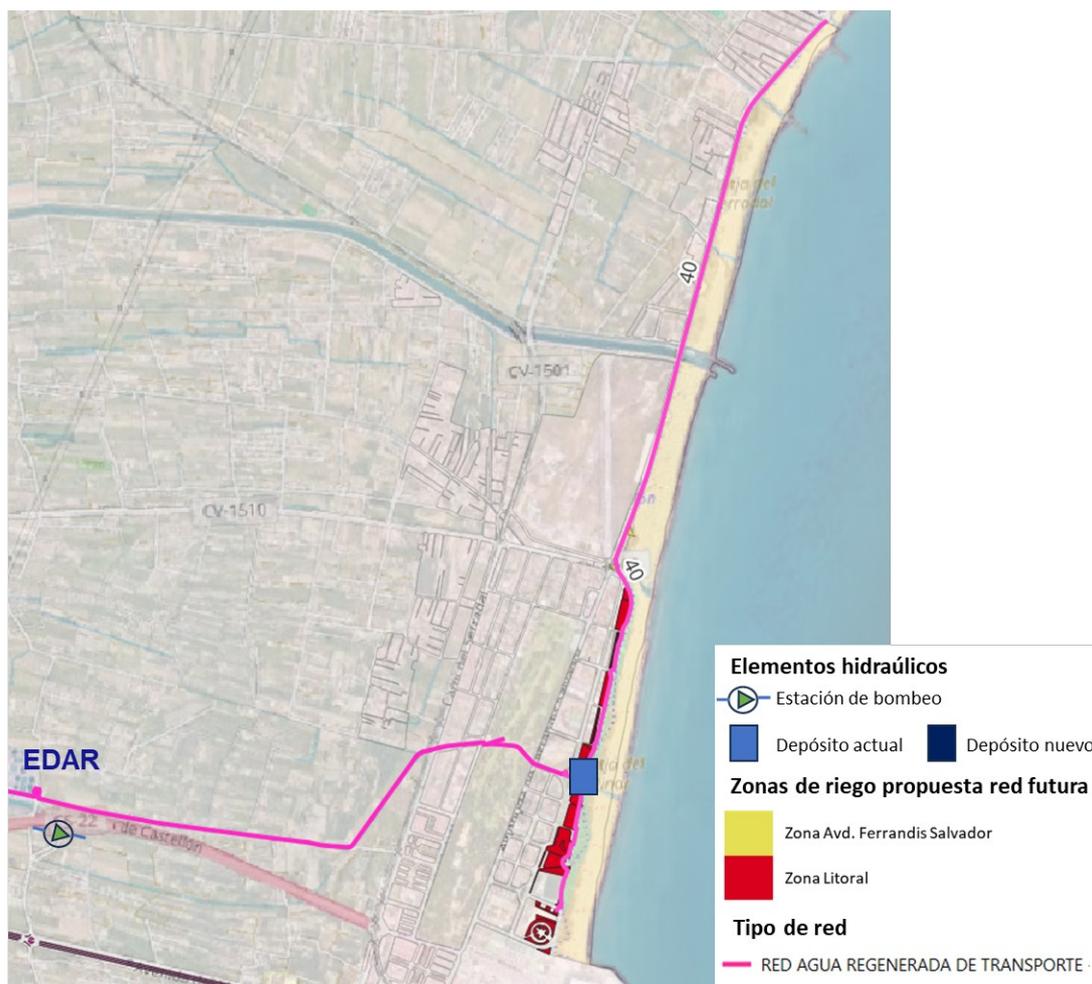


Figura 43. Propuesta de red de agua regenerada futura planteada para el casco urbano de la ciudad de Castellón de la Plana.

5.3.3. EB EDAR

Dado que las demandas a abastecer son demasiado elevadas para las bombas existentes en la EB de la EDAR. Se plantea una nueva configuración en la que, además de aumentar el caudal nominal de las bombas que abastecen al centro de la ciudad, se separa en dos grupos diferenciados a la salida de la EB de la EDAR en función de su destino.

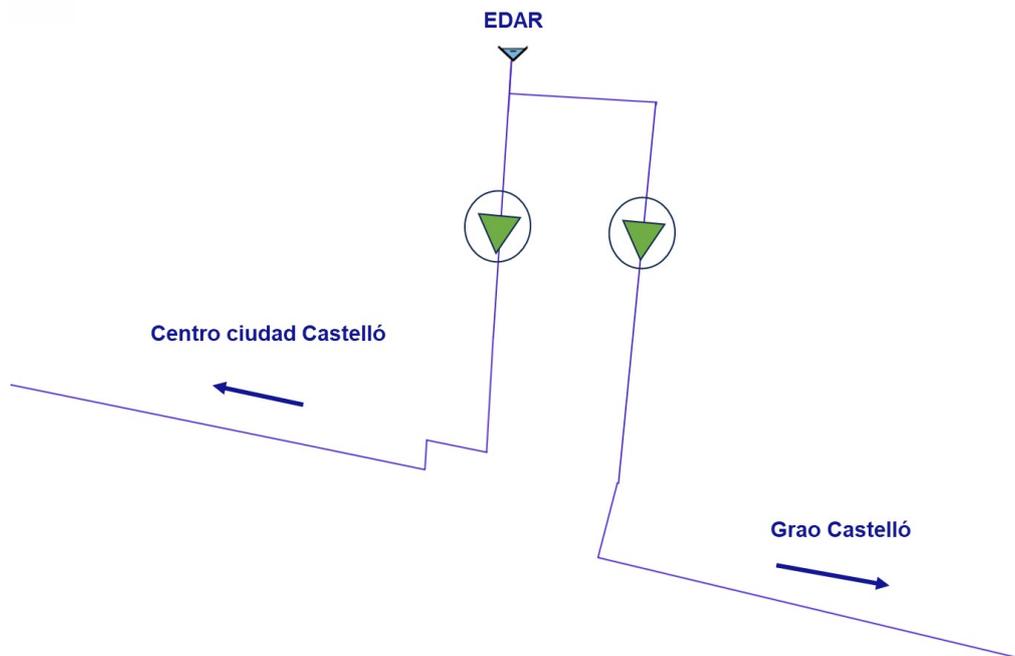


Figura 44. Nueva propuesta de EB a la salida de la EDAR.

Para el riego de las zonas aguas arriba de la EDAR se plantea colocar tres bombas centrífugas de tipo multietapa. En la propuesta presentada se pretende trabajar con una combinatoria de funcionamiento de dos bombas en marcha y la tercera de reserva, lo que resultaría en un caudal total de 60 l/s, altura 55 m y potencia de 41,33 kW.

Por otro lado, para el tramo de tuberías con dirección hacia el grao de Castellón se mantienen las bombas centrífugas que existen en la actualidad en la EDAR. Dado el poco caudal requerido, con una sola bomba activa sería suficiente para alimentar todos los riegos del Grao. Además, sería conveniente mantener una bomba de reserva.

5.3.4. Conclusiones

A modo resumen, en la Tabla 38 se presentan las características de las bombas hidráulicas incluidas en la propuesta de red futura y que se han explicado a lo largo del subapartado anterior.

	Características bombas propuesta red futura			
	Configuración	Caudal (l/s)	H (m)	Potencia (kW)
Bombeo EDAR Grao Castellón	1B + 1 R	12,5	79,6	15
Bombeo EDAR centro ciudad Castellón	2B + 1R	60	55	41,33
Rebombeo Pont de Ferro – UJI	2B + 1R	30	55	22,5
Rebombeo Pont de Ferro – Ribalta	1B + 1R	6	37	3,1

Tabla 38. Tabla resumen de los requisitos mínimos de las bombas hidráulicas incluidas en la propuesta de red futura.

Por tanto, la propuesta de red de infraestructuras futura cuenta con bombeos independientes según el destino (centro urbano o Grao de Castellón), así como un rebombeo intermedio en el Parque Pont de Ferro con su correspondiente segundo rebombeo para el riego de las zonas de su alrededor como el parque Ribalta, y un depósito de regulación a cota 73 m para el riego por gravedad de aquellas superficies ajardinadas con cota mayor a 35 m.

5.3.4.1. Características de las tuberías

Todas las tuberías de esta propuesta futura de red de aguas regeneradas están diseñadas con PE100. Para el cómputo de los diámetros, se tiene en cuenta la relación del caudal con el área y la velocidad del fluido. Así pues, teniendo en cuenta una velocidad promedio de 0,7 m/s para el fluido y los caudales (demandas) que circulan por cada tramo, se muestran los diámetros de cada tubería, Figura 45.



Figura 45. Distribución de diámetros de la propuesta de red de agua regenerada futura.

En el ANEXO 2 se explica con mayor profundidad cada uno de los tramos de la propuesta de red futura y sus características (diámetros, material, demanda, etc.).

5.3.4.2. Características de las válvulas

Por otro lado, para asegurar un correcto funcionamiento de la propuesta de red futura, se ubican una serie de válvulas de compuerta y de PRV para conseguir las presiones que se desean dentro de la red y habilitar/deshabilitar el riego por sectores.

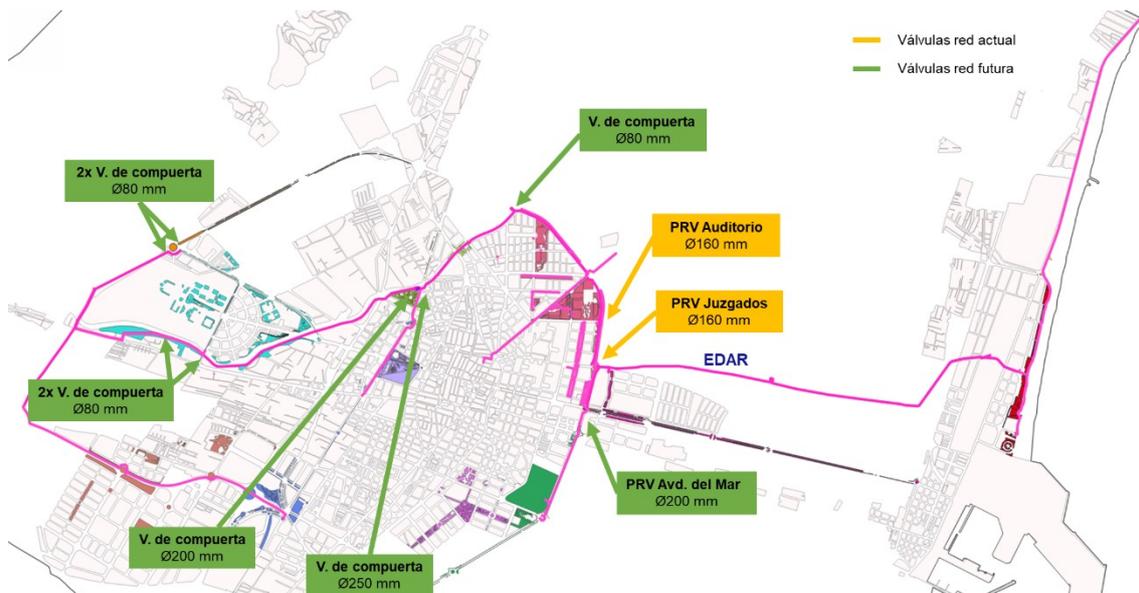


Figura 46. Tipología de válvulas con su diámetro nominal y su ubicación para la propuesta de red de agua regenerada futura.

Como se puede ver en la Figura 46, se ha definido un total de siete válvulas de compuerta repartidas a lo largo de la red (5 válvulas de Ø80 mm ubicadas a lo largo de la futura red transporte, y otras dos válvulas de compuerta de Ø200 mm y Ø250 mm en la EB intermedia de Pont de Ferro). Además, también se ubica una válvula PRV a la altura de la Avd. del Mar para reducir la presión por debajo de 3 bar en los tramos hacia la zona Ronda Este y futuro parque de la Avd. Chatellerault y zona Censal.

6. PROPUESTA DE INVERSIONES Y ACTUACIONES

6.1. Propuesta estratégica de inversiones incluyendo obra civil, equipos, red de transporte y propuesta de cronograma de actuaciones.

6.1.1. Propuesta de Inversión y fases

La propuesta de inversión de la infraestructura de red de agua regenerada futura se planifica en diferentes fases de ejecución al objeto de facilitar la toma de decisiones para su desarrollo e implantación en función de las necesidades y oportunidades:

- **Fase 0:** ampliación del bombeo de cabecera.
- **Fase 1:** la ejecución de esta fase se centra en la ampliación de la red del parque del Litoral hasta la Avd. Ferrandis Salvador.
- **Fase 2:** a lo largo de esta fase se realiza la construcción de la red de transporte desde la rotonda de los Caballos Solidarios hasta el parque Pont de Ferro, así como la red de distribución y riego desde dicho parque hasta el Ribalta. Además, durante la 2ª fase se lleva a cabo la instalación de la EB en el parque Pont de Ferro que integrará el bombeo intermedio, el depósito ya existente y una pequeña bomba para abastecer la zona del Ribalta. En la red de la fase 2 también se añaden tres válvulas de tipo compuerta para habilitar/deshabilitar el riego de las zonas.
- **Fase 3:** se realiza la ampliación de la red de transporte desde el parque Pont de Ferro hasta la intersección con la Avd. Vicent Sos Baynat donde comienza la red de riego para abastecer el consumo de la zona UJI. En esta fase se añade una válvula de compuerta para habilitar/deshabilitar el riego de los alrededores de la UJI.
- **Fase 4:** se continua con la prolongación de la red de transporte de la UJI construida en la fase anterior hasta el cruce de la Avd. de Alcora con el camino cuadra Natora. En la fase 4 se añade otra válvula de compuerta para habilitar/deshabilitar el riego de los alrededores de la UJI.
- **Fase 5:** se centra en la ampliación de la red de agua regenerada desde la Avd. de Alcora por toda la ronda hasta la CV-1520 y la otra prolongación de la red hasta el inicio de la ronda sur. Esta fase requiere la construcción del depósito de 500 m³, así como otras dos válvulas de compuerta.
- **Fase 6:** en esta fase se implementan las redes que abastecen las áreas industriales de la ciudad, es decir, la zona Ciudad de Transporte y la zona Salera. Esta fase no necesita ningún elemento hidráulico adicional.
- **Fase 7:** tiene como objetivo la construcción de la red de transporte para abastecer con agua regenerada la zona de la ronda Este y futuro parque de la Avd. Chatellerault. En esta fase se añade como elemento hidráulico adicional a la red una válvula PRV para asegurar una presión menor de 3 bar a la salida de la red de transporte.

En la Figura 48 se representan las tuberías de la red futura según la fase de ejecución en la que se lleven a cabo.

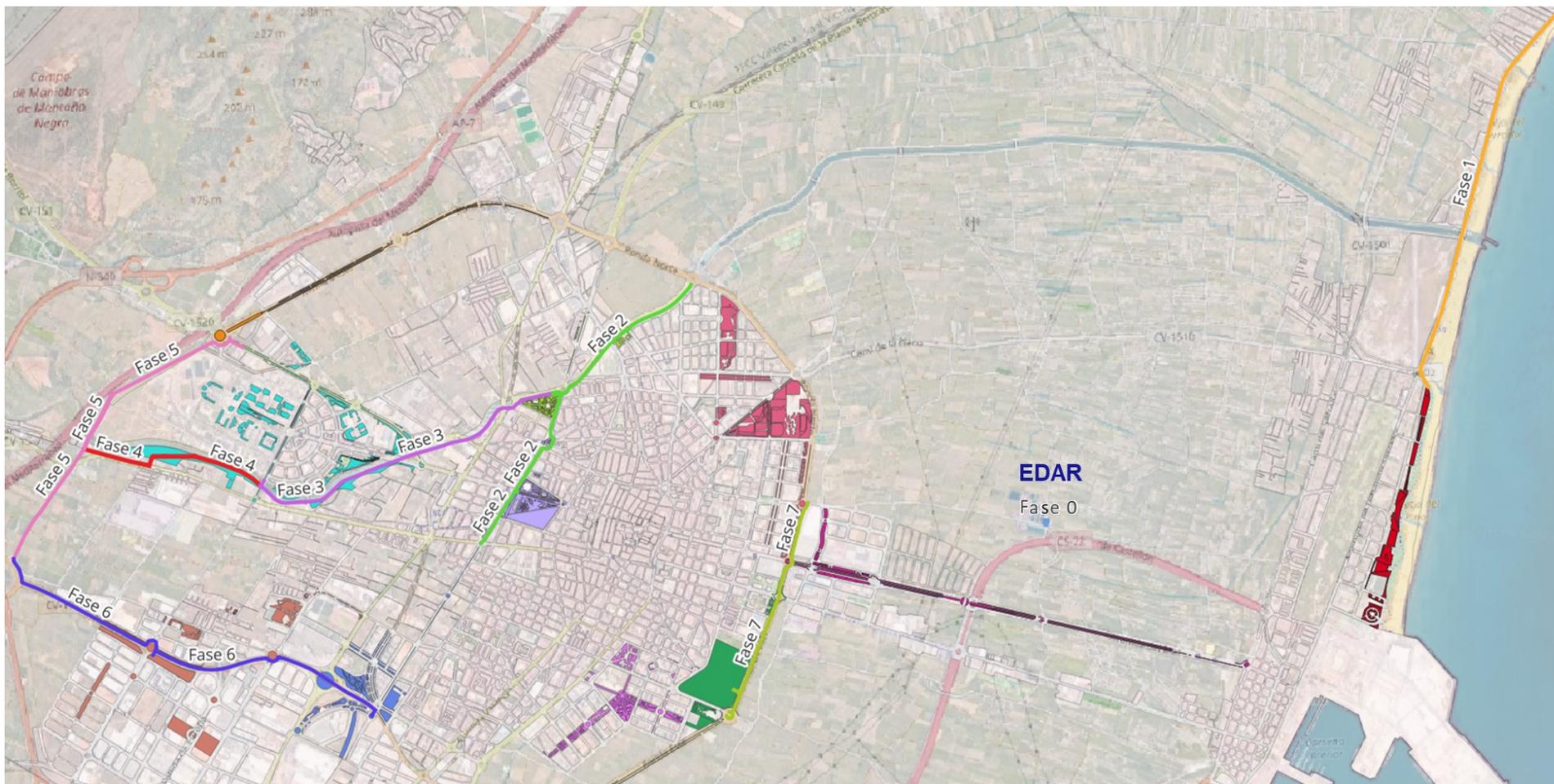


Figura 47. Redes de tuberías según las fases de ejecución de la propuesta de red de agua regenerada futura.

En el 8.5. ANEXO 4 se presenta con mayor detalle los conceptos de la inversión de cada una de las fases definidas en la figura anterior. No obstante, en la Tabla 39 se recoge la inversión total de las ocho fases tras la aplicación de los conceptos de Gasto General (GG), Beneficio Industrial (BI) e Impuesto del Valor Añadido (IVA).

	Total inversión (%GG, BI, IVA)
Fase 0	110.725,4 €
Fase 1	152.757,4 €
Fase 2	432.090,5 €
Fase 3	260.190,3 €
Fase 4	254.366,0 €
Fase 5	391.280,0 €
Fase 6	307.274,7 €
Fase 7	212.260,9 €

Tabla 39. Tabla resumen de la inversión total de la ejecución de cada una de las ocho fases definidas para la propuesta de red futura.

A continuación, en la Tabla 40 se recoge la inversión total para la ejecución de las ocho fases teniendo en cuenta las partidas de tuberías, obra civil y elementos hidráulicos adicionales (válvulas de regulación, válvulas de aislamiento o compuerta, bombas hidráulicas, depósitos, etc.).

Concepto	
Inversión Tuberías	585.220,4 €
Inversión Obra Civil	660.208,3 €
Inversión V.Reg/V.Ais/Bombeo/Depósitos	269.532,3 €
Total inversión	1.514.960,9 €
Total inversión (%GG, BI, IVA)	2.120.945,3 €

Tabla 40. Descomposición de la inversión total a realizar para la ejecución de las ocho fases.

Además, en la Tabla 41 también se presenta la inversión en función de los metros lineales de tubería y por la demanda total a abastecer en las ocho fases.

Concepto	
Tuberías m.l	18.376,48
Inversión por m.l.	115,42 €
Demanda Total (m ³ /año)	337.797,85
Inversión por m ³ /año	6,28 €

Tabla 41. Tabla resumen de la inversión total por metros lineales de tubería y por la demanda de las ocho fases.

Así mismo, a esta inversión total es necesario incluir también el sistema de aumento de la calidad del agua regenerada. Como se ha explicado a lo largo del subapartado 4.3., se han identificado tres opciones de tratamiento con sus respectivas proposiciones tecnológicas para atender los requisitos de calidad exigidos para el riego de zonas verdes y jardines.

- Inversión con Tratamiento 1

La Tabla 42 presenta la inversión total de la ejecución de las ocho fases de la propuesta de red futura, así como la opción de tratamiento de mejora de calidad de agua identificada como Tratamiento 1.

Concepto		
Inversión en Red	Inversión Tuberías	585.220,4 €
	Inversión Obra Civil	660.208,3 €
	Inversión V.Reg/V.Ais/Bombeo/depósitos	269.532,3 €
Inversión en Tratamiento calidad agua	Inversión UF	950.000 €
Total	Total inversión	2.464.960,9 €
	Total inversión (%GG, BI, IVA)	3.450.945,3 €

Tabla 42. Descomposición de la inversión tanto para la ejecución de la red como para la implementación de los procesos de mejora de la calidad de agua según la opción definida como Tratamiento 1.

Con el Tratamiento 1 basado en la incorporación de la ultrafiltración, la inversión de la ejecución de la red y la implantación de dicha propuesta tecnológica se estima que asciende a un total de 3.450.945,3 €.

- Inversión con Tratamiento 2

En la Tabla 43 se presenta la inversión total de la ejecución de las ocho fases de la propuesta de red futura junto con la opción de tratamiento de mejora de calidad de agua identificada como Tratamiento 2.

Concepto		
Inversión en Red	Inversión Tuberías	585.220,4 €
	Inversión Obra Civil	660.208,3 €
	Inversión V.Reg/V.Ais/Bombeo/depósitos	269.532,3 €
Inversión en Tratamiento calidad agua	Inversión Filtro carbono	136.000 €
Total	Total inversión	1.650.960,9 €
	Total inversión (%GG, BI, IVA)	2.311.345,3 €

Tabla 43. Descomposición de la inversión tanto para la ejecución de la red como para la implementación de los procesos de mejora de la calidad de agua según la opción definida como Tratamiento 2.

Con el Tratamiento 2 basado en la incorporación del filtro de carbón activo, la inversión de la ejecución de la red y la implantación de dicha propuesta tecnológica se estima que asciende a un total de 2.311.345,3 €.

- Inversión con Tratamiento 3:

Por último, la Tabla 44 se muestra la inversión total de la ejecución de las ocho fases de la propuesta de red futura junto con la opción de tratamiento de mejora de calidad de agua identificada como Tratamiento 3.

Concepto		
Inversión en Red	Inversión Tuberías	585.220,4 €
	Inversión Obra Civil	660.208,3 €
	Inversión V.Reg/V.Ais/Bombeo/depósitos	269.532,3 €
Inversión en Tratamiento calidad agua	Inversión Filtro carbono	136.000 €
	Inversión UF	950.000 €
Total	Total inversión	2.600.960,9 €
	Total inversión (%GG, BI, IVA)	3.641.345,3 €

Tabla 44. Descomposición de la inversión tanto para la ejecución de la red como para la implementación de los procesos de mejora de la calidad de agua según la opción definida como Tratamiento 3.

Por tanto, con la implementación de la opción de Tratamiento 3 (uso de ultrafiltración junto con filtro carbón activo), el total de inversión a realizar se estima que asciende a 3.641.345,3 €.

Seguidamente, a modo de resumen, la presenta las tres propuestas tecnológicas identificadas junto con la calidad de agua regenerada que son capaces de alcanzar (equivalente a la calidad de uso agrícola en Reglamento Europeo 2020/741) mediante su incorporación a la estación de regeneración de la EDAR de Castellón, y la inversión total conjunta de la tecnología y la ejecución de las siete fases de la propuesta de red futura.

Propuesta tecnológica	Calidad agua regenerada	Inversión total
Tratamiento 1: Ultrafiltración	A	3.450.945,3 €
Tratamiento 2: Filtro de carbón activo	B	2.311.345,3 €
Tratamiento 3: UF + filtro de carbón activo	A	3.641.345,3 €

Tabla 45. Tabla resumen de las tres propuestas tecnológicas identificadas, así como la calidad de agua regenerada alcanzada y la inversión total junto con la ejecución de la red

7. CONCLUSIÓN

El presente Plan Director constituye una **herramienta de planificación estratégica municipal para fomentar los usos urbanos del agua regenerada** y con ello,

- Realizar una gestión más eficiente y segura de los recursos hídricos del municipio.
- Efectuar un primer estudio de la gestión de los riesgos de la reutilización para hacer un uso seguro.
- Facilitar la toma de decisiones y la evaluación de los progresos alcanzados.

Este plan **permitirá afrontar nuevos retos** derivados tanto de los efectos del cambio climático y de las situaciones coyunturales graves de estrés hídricos, como de los derivados de cambios normativos, facilitando la adaptación de las infraestructuras existentes a nuevas exigencias legislativas, haciendo de Castellón una ciudad más resiliente.

Este documento servirá de **marco para el desarrollo de las futuras inversiones, el establecimiento de prioridades y para el aprovechamiento de nuevas oportunidades.**

En este documento se ha realizado un estudio detallado de la situación actual del municipio y de la disponibilidad de recursos, se ha analizado y modelizado el trazado y las características técnicas de la red de transporte necesaria para dotar de agua regenerada a la zonas con mayor potencial de uso de la ciudad. Todo ello bajo las premisas de eficiencia del sistema en su conjunto, de seguridad en su uso y de las previsiones de desarrollo urbano de la ciudad a corto y medio plazo que que permitan su desarrollo por fases.

En conclusión, con el desarrollo de las infraestructuras planteadas en este documento, así como de la implementación de una de las propuestas tecnológicas de tratamiento terciario en la EDAR, se conseguiría regar con agua regenerada el 84,24% del total de las superficies ajardinadas del municipio (un incremento considerable pues actualmente solamente se riega el 20,19%).

REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO₂

Además del porcentaje de zona ajardinada y volumen de agua regenerada, otro indicador importante a tener en cuenta es la producción de CO₂ para cada alternativa de funcionamiento. Mientras que la opción de riego con agua potable con la impulsión desde pozo hasta la zona ajardinada conlleva la producción de 1,968 kg CO₂/m³, la alternativa del riego con agua regenerada mediante la red de infraestructuras propuesta supone 0,164 kg CO₂/m³. Es decir, la implementación del riego con agua regenerada mediante la propuesta de red de infraestructuras planteada implicaría una reducción de producción de kg CO₂/m³ de hasta un 91,7%.

8. ANEXOS

8.1. ANEXO 1: Estudio del plan de gestión del riesgo de la estación de aguas regeneradas de la EDAR de Castellón

El Plan de Gestión de Riesgos de Aguas Regeneradas, es un documento técnico en el que se recoge toda la información necesaria para detectar por un lado los peligros potenciales tanto para la salud humana, el medio ambiente o la salud animal, analizar la magnitud del agente peligroso detectado y describir las medidas preventivas y/o correctoras de la utilización de las aguas regeneradas. En este documento se realizará un estudio previo del referido Plan de Gestión.

8.1.1. Descripción del sistema de reutilización en su conjunto

8.1.1.1. Origen del suministro

Castellón de la Plana se abastece de pozos entubados situados dentro del término municipal, con un tratamiento basado en filtración y cloración. Según datos del Sistema de Información Nacional de Aguas de Consumo (SINAC), el agua es apta para el consumo, con una conductividad media de 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y con una dureza (CaCO_3) de 425 mg/L.

8.1.1.2. Caracterización de las aguas residuales

Para evaluar los posibles riesgos en la utilización de aguas regeneradas para distintos usos, se debe tener en cuenta diversos aspectos sobre la calidad físico química tanto del influente como del efluente de la estación de regeneración. A continuación, se muestran en la Tabla 46 las medias de los parámetros tales como SS, DQO, DBO, Nitrógeno y fósforo total, tanto del agua bruta a la entrada de la planta (EDAR de Castellón) como del efluente, una vez regenerada esta, referidos al período comprendido entre enero de 2022 y junio de 2023.

	Caudal (m^3/d)		Turbidez (NTU)		pH (Ud pH)		Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)		SS (mg/L)	
	INF EDAR	EFL ERA	INF EDAR	EFL ERA	INF EDAR	EFL ERA	INF EDAR	EFL ERA	INF EDAR	EFL ERA
Ene 22	33.404	1.330	339	3,46	7,57	6,99	3.660	3.644	334	8
Feb 22	35.139	1.100	301	3,39	7,65	7,03	2.988	3.048	437	9
Mar 22	42365	1.097	240	2,69	7,45	7,33	2.401	2.709	333	8
Abr 22	37.525	973	169	2,27	7,61	6,97	2.633	2.711	210	9
May 22	39.187	1.505	172	2,52	7,59	7,16	3.390	3.560	286	7
Jun 22	33.416	1.660	163	3,15	7,57	7,15	3.250	3.667	206	8
Jul 22	36.859	1.871	147	1,53	7,53	7,14	2.897	3.225	256	5
Ago 22	36.706	1.851	132	1,22	7,41	7,29	3.097	3.333	269	5
Sep 22	35.573	1.483	187	1,14	7,61	7,04	3.065	3.342	191	5
Oct 22	33.455	992	169	1,58	7,68	7,14	3.135	3.364	291	6
Nov 22	36.521	912	225	1,42	7,60	7,18	3.533	3.540	402	5
Dic 22	35.469	1.126	287	1,72	7,72	7,08	4.481	4.553	564	6
Ene 23	33.773	1.186	263	2,82	7,64	7,02	3.826	3.798	358	6
Feb 23	37.000	1.280	391	3,93	7,42	6,96	3.074	3.227	424	10
Mar 23	35.985	1.124	344	5,28	7,53	7,16	3.736	4.178	428	14



Abr 23	33.455	1.342	364	3,53	7,47	7,46	2.744	3.224	276	7
May 23	35.703	1.538	368	2,34	7,40	7,26	3.094	3.168	220	5
Jun 23	34.585	1.587	184	1,43	7,41	7,36	4.063	3.715	343	6
Promedio	35.896	1.331	247	2.47	7,55	7,16	3.282	3.433	323,78	7,12

Tabla 46. Promedio de los parámetros caudal, turbidez, pH, conductividad y sólidos en suspensión a la entrada de la EDAR de Castellón y a la salida de la ERA en el período comprendido entre enero de 2022 y junio de 2023.

En la Tabla 47 se muestra un resumen del rendimiento completo de las instalaciones. Para este cálculo, se han tenido en cuenta los valores obtenidos en los muestreos de entrada (INF EDAR) y los de salida de la planta de regeneración (EFL ERA).

Rendimiento del tratamiento	
Eliminación TU (%):	98,95
Eliminación SS (%):	97,65

Tabla 47. Tabla resumen del rendimiento del tratamiento en las instalaciones.

En la Tabla 48 se aporta información adicional sobre las aguas residuales del municipio de Castellón de la Plana, donde se muestran los promedios mensuales de valores como DBO₅, DQO, nitratos y fósforo total. En este caso los resultados corresponden a los valores obtenidos de los muestreos realizados a la salida de la EDAR. Los valores máximos admisibles para estos parámetros quedan recogidos en la DIRECTIVA 91/271/CEE sobre el tratamiento de aguas residuales urbanas y también se recogen en la Tabla 48.

	DBO ₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Fósforo T. (mg/L)
	EFL EDAR	EFL EDAR	EFL EDAR	EFL EDAR
Ene 22	7	38	3,0	0,53
Feb 22	7	35	5,3	0,78
Mar 22	7	34	4,4	0,89
Abr 22	6	31	10,5	0,78
May 22	9	32	8,3	1,19
Jun 22	10	37	6,8	1,36
Jul 22	9	28	8,6	1,01
Ago 22	8	28	4,8	0,78
Sep 22	8	26	6,8	0,50
Oct 22	10	27	10,5	1,48
Nov 22	7	26	17,0	0,85
Dic 22	6	30	41,5	0,64
Ene 23	6	30	17,5	0,93
Feb 23	6	36	14,5	1,13
Mar 23	7	47	25,5	1,92
Abr 23	7	42	7,3	1,84

May 23	9	41	57,0	0,96
Jun 23	6	45	34,5	0,62
Promedio	7,48	33,97	15,74	1,01

Tabla 48. Promedio de los parámetros DQO, DBO, nitrato y fósforo total en el efluente de la EDAR en el período comprendido entre enero de 2022 y junio de 2023.

Como se puede observar en la Tabla 49, el tratamiento terciario muestra unos rendimientos excelentes en el periodo evaluado. Los datos corresponden a las medias de los recuentos mensuales realizados a la entrada y la salida de la ERA. El VMA para *E.coli* estipulado por el RD 1622/2007 en el caso de reutilización del agua regenerada con fines urbano, calidad 1.2, corresponde a 200 UFC/100mL, y como se observa en la Tabla 49, en ninguno de los muestreos realizados el resultado del recuento obtenido es cercano a esta límite.

<i>E. coli</i> (UFC/mL)			
Fecha	INF ERA	EFL ERA	Rendimiento (%)
02/01/2022	45.000	0	100
06/02/2022	12.000	0	100
06/03/2022	71.000	0	100
03/03/2022	69.000	0	100
01/05/2022	25.000	0	100
12/06/2022	130	0	100
03/07/2022	2.500	0	100
08/08/2022	230	0	100
04/09/2022	8.700	0	100
02/10/2022	390	0	100
06/11/2022	10.000	0	100
04/12/2022	21.000	0	100
01/01/2023	14.000	0	100
05/02/2023	26.000	1	99,99
05/03/2023	45.000	2	99,99
02/04/2023	28.000	4	99,98
07/05/2023	3.900	0	100
05/06/2023	2.900	2	99,93
Promedio	19.985	0	99,99

Tabla 49. Resultados obtenidos para el recuento de *E.coli* entre enero 2022 a junio 2023.

8.1.1.3. Descripción del sistema de tratamiento (EDAR)

La planta depuradora de aguas residuales de Castellón actualmente trata un caudal medio diario de 39.143 m³, para servir una población de 177.230 habitantes equivalentes. El diseño de la actual planta corresponde con el diseño de un sistema clásico para plantas de esta magnitud, con la siguiente capacidad de tratamiento:

- Tratamiento primario por gravedad: 75.000 m³/día

- Tratamiento biológico: 45.000 m³/día
- Tratamiento terciario: 45.000 m³/día
- Tratamiento de fangos mediante digestión anaerobia: 279 m³/día.
- Etapa de Deshidratación: dos unidades de 35 m³/h cada una.

La instalación de depuración consta de las siguientes unidades de proceso:

- Pretratamiento.
- Decantación primaria.
- Tratamiento biológico de fangos activados: Cuba de aireación y decantación secundaria.
- Tratamiento terciario.
- Digestión anaerobia del fango.
- Aprovechamiento de biogás.
- Deshidratación del fango.

La línea de agua de la depuradora de Castellón de la Plana consta de dos líneas independientes, cada una de estas líneas está integrada por desbaste, desarenado-desengrasado, decantación primaria, reactor biológico de fangos activos convencional con una configuración de flujo pistón, decantación secundaria y tratamiento terciario, compuesto este último por un tratamiento físico-químico, filtros de arena, desinfección con ultravioletas y desinfección por cloración.

La capacidad media de tratamiento de diseño de esta instalación es de 45.000 m³/día, 22.500 m³/día por línea, para unas concentraciones del influente de 271 mg/L de SS y 266 mg/L de DBO₅. La calidad del efluente de la instalación corresponde a valores de DBO₅, inferiores a 25mg/L y MES=35 mg/L.

En la Figura 48 se pueden observar las diferentes unidades del proceso de depuración y regeneración.

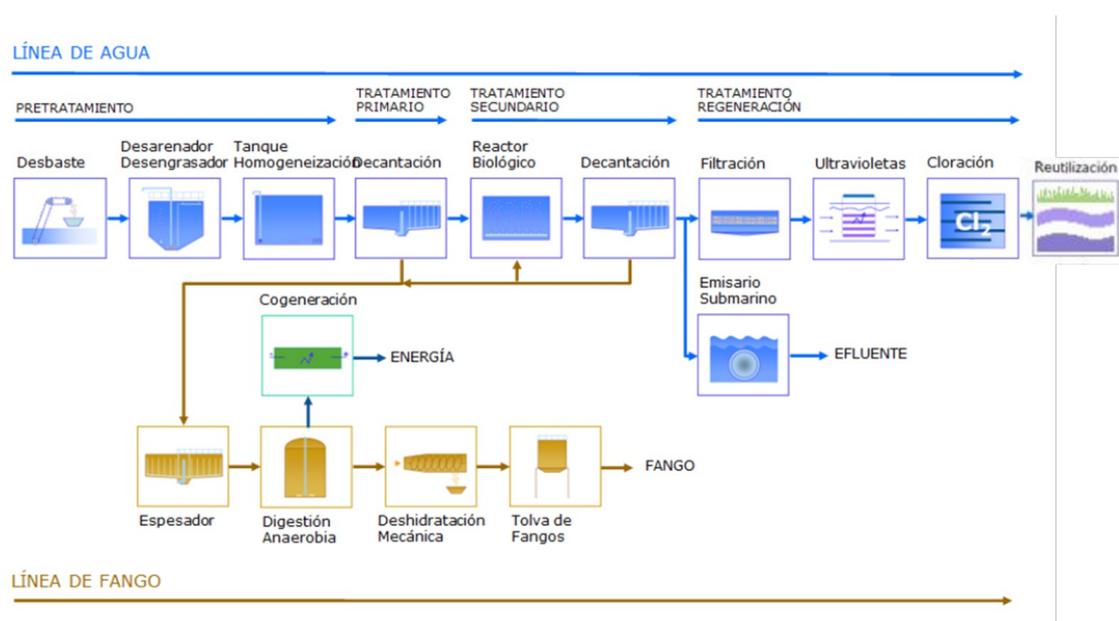


Figura 48. Esquema de los tratamientos de la EDAR de Castellón (fuente: EPSAR).

La Figura 49 corresponde a una vista aérea de la planta, en la que se determinan los diferentes tratamientos que se realizan en las instalaciones de la EDAR de Castellón correspondientes tanto a los tratamientos de aguas como a la línea de fangos.



Figura 49. Vista aérea de las instalaciones de la EDAR de Castellón.

8.1.1.3.1. Llegada del agua bruta

La instalación existente para el bombeo de aguas residuales a la EDAR, está compuesta por tres bombas del tipo tornillo de Arquímedes y tres estaciones de bombeo denominadas El Pinar (Avd. Ferrandis Salvador), La Plana y Hermanos Bou.

8.1.1.3.2. *Pretratamiento*

El pretratamiento de la EDAR de Castellón se compone de dos procesos:

- Desbaste
- Desarenado-Desengrasado

La capacidad de tratamiento de esta unidad de proceso es la siguiente:

- Caudal medio horario de diseño; 1.875 m³/h (45.000 m³/día)
- Caudal punta horario de 3.125 m³/h (75.000 m³/día)
- Caudal punta máximo de 4.100 m³/h.

8.1.1.3.3. *Decantación primaria*

Para lograr la decantación por gravedad de los sólidos en suspensión, el agua pretratada se introduce por la parte inferior de los decantadores a través de tuberías de 600 mm de diámetro. El agua clarificada pasa a través de vertedero Thompson de acero inoxidable de 2 mm a un canal periférico que la conduce a una arqueta de salida desde donde se envía el agua decantada al tratamiento biológico.

La recogida de espumas y flotantes se realiza mediante rasqueta superficial solidaria con el puente, que los arrastra hacia una caja de espumas, pasando a una arqueta adosada al pozo de bombeo de fangos primarios, desde donde son bombeados al de grasas situado en el pretratamiento.

Los fangos decantados son arrastrados continuamente por unas rasquetas de fondo, también soportadas por el puente de accionamiento periférico, hasta el cuenco central, desde donde son extraídos a través de tubería de 200 mm de diámetro.

8.1.1.3.4. *Tratamiento biológico*

La EDAR de Castellón dispone de un tratamiento biológico dividido en dos líneas paralelas que tratan la misma cantidad de carga. Los dos reactores operan con un sistema convencional de fangos activos en una configuración tipo flujo pistón, con aporte de oxígeno mediante soplantes a través de difusores de burbuja fina. En ambos reactores existe una compartimentación del reactor en zonas selectoras (anóxicas, aerobias) que permiten prevenir la proliferación de bacterias filamentosas que conllevan problemas de bulking.

8.1.1.3.5. *Decantación secundaria*

En la planta de Castellón existen cuatro decantadores secundarios con forma cónica, dos por cada línea y cuyas dimensiones son las siguientes:

- Decantación secundaria línea 1: Decantadores con un diámetro de 28 m, un calado útil recto de 3,3 m y una altura cónica de 1,2 m que dan un volumen total de 1.981,5 m³ ocupando un espacio de 660,5 m².
- Decantación secundaria línea 2: Decantadores circulares de 28 m de diámetro, con un calado útil recto de 3,5 m y una altura cónica de 1,6 m, con un volumen de 2.483 m³, ocupa una superficie de 616 m².

8.1.1.3.6. Línea de fangos

Las unidades de proceso de la línea de fangos de la EDAR de Castellón son las siguientes:

- Espesamiento por gravedad
- Espesamiento por flotación
- Cámara de mezcla fangos mixtos
- Digestión anaerobia de fangos
- Aprovechamiento de biogás
- Deshidratación de fangos
- Almacenamiento

8.1.1.3.6.1. Deshidratación

El fango del digestor secundario es conducido a través de una tubería de acero al carbono de DN 150 mm desde el digestor secundario hasta los equipos de deshidratación. Para la deshidratación de fangos se dispone de 2 decantadores centrífugos horizontales ANDRITZ tipo D6LXC30Cde 132 kW de potencia unitaria y caudal nominal 70 m³/h.

El fango deshidratado es impulsado con las bombas helicoidales para su almacenamiento en dos silos de 50 m³ cada uno de ellos. La EDAR dispone de una báscula para el pesaje del fango evacuado diariamente. Se trata de una báscula puente electrónica de 16 x 3 m. de dimensiones de la marca CONDAL modelo MATRIX. La capacidad de pesaje de esta báscula es de 60.000 kg en fracciones de 20 kg.

8.1.1.4. Descripción del sistema de regeneración (ERA)

La EDAR de Castellón dispone en sus instalaciones de un tratamiento terciario con una capacidad de tratamiento para un caudal medio de diseño de 1.875 m³/h, es decir la totalidad del caudal tratado biológicamente, formado por las siguientes unidades de proceso:

- Elevación de agua
- Tratamiento Físico – Químico
- Filtración en lechos de arena.
- Desinfección Ultravioleta
- Cloración
- Sistema de bombeo para el suministro de agua regenerada

8.1.1.4.1. Puntos de cumplimiento y puntos de entrega del agua regenerada

Para realizar un seguimiento adecuado de la calidad de las aguas regeneradas desde que se producen (ERA) hasta que se utilizan para riego, se establecen diferentes puntos importantes (denominados en general puntos de interés) en los que se determinarán, tanto los parámetros y frecuencias a analizar como los responsables del cumplimiento de los mismo. Para definir los puntos de interés teniendo en cuenta la nueva red, deben tenerse en cuenta los siguientes conceptos:

- **Punto de cumplimiento (Pcum):** el punto en el que el operador de la estación regeneradora de aguas suministra aguas regeneradas al siguiente actor de la cadena y deben cumplirse los requisitos de calidad y las frecuencias.
- **Puntos de entrega del agua regenerada (PEAR):** puntos en los que una parte responsable entrega el agua a otra parte.
- **Puntos de control adicional (PCad):** puntos de control adicionales donde se realizan otros controles que no están sujetos a cumplimiento de normativa.

Teniendo en cuenta todo el proceso de regeneración de aguas, desde la propia estación de regeneración hasta los puntos de utilización de la misma que corresponden en este caso a los jardines de Castellón, se ha dividido el proceso en tres bloques bien diferenciados. Por un lado, el bloque 1 corresponde al sistema de regeneración en sí (ERA) y la evaluación de la calidad del proceso se realizará en el punto de cumplimiento y de entrega 1 (Pcum/PEAR 1), ubicado en la arqueta de salida de la ERA. El bloque dos corresponde a la red de distribución y almacenamiento, y la calidad de las aguas regeneradas se evaluará en los depósitos y aljibes donde se almacenará esta hasta su utilización para el riego. En este sentido, se han asignado en dichos depósitos el resto de puntos de entrega del agua regenerada. El PEAR2 corresponde al depósito situado en Pont de Ferro; PEAR3 al depósito ubicado en la zona UJI y PEAR 4 al Aljibe del Parque Litoral. Estos son considerados como puntos de entrega (ya que, a partir de ahí, el agua regenerada se entrega a los responsables de los parques que serán los encargados de su gestión y utilización) y puntos sujetos a análisis periódicos en el que se deberán cumplir con los criterios de calidad establecidos.

Por otro lado, se incorporará como puntos de interés, tres puntos de control adicionales (PCad). Estos puntos corresponden a los pozos situados en el Auditorio, en el parque Ribalta y el pozo Geólogo Royo y Mérida. Aunque deberían realizarse los controles de parámetros adicionales (se describen en apartados posteriores) en los tres PCad, se selecciona como punto clave para la evaluación del impacto del riego de jardines con agua regenerada sobre el acuífero situado bajo la ciudad de Castellón, el pozo ubicado en el Auditorio (PCad1).

Denominación	Descripción	Descripción ubicación	Coordenadas UTM-ETRS89 (h30)	
			X	Y
PEAR 1/PCUM1	Punto de cumplimiento y de entrega de aguas regeneradas 1	Salida ERA	756377,64	4430395,83
PEAR 2	Punto de entrega de aguas regeneradas 2	Depósito Pont de Ferro.	752430,40	4431329,70
PEAR 3	Punto de entrega de aguas regeneradas 3	Depósito UJI	749419,00	4431308,30
PEAR 4	Punto de entrega de aguas regeneradas 4	Depósito Parque Litoral	758069,17	4430415,36
PCad1	Punto de control adicional 1	Pozo Auditorio	753953,95	4431074,77
PCad2	Punto de control adicional 2	Pozo Ribalta	752194,32	4430550,88
PCad3	Punto de control adicional 3	Pozo Geólogo Royo y Mérida	752954,18	4429579,80

Tabla 50 Descripción de los puntos de interés: puntos de cumplimiento (Pcum), puntos de entrega (PEAR) y puntos de control adicional (PCad).

8.1.1.4.2. Calidad del agua regenerada

Para analizar de la calidad del agua regenerada con la tecnología utilizada actualmente, se han utilizado los resultados obtenidos en los controles de seguimiento en el período comprendido entre enero de 2022 a junio de 2023. Se ha evaluado el valor obtenido y el porcentaje de muestras que superan el VMA establecido por el RD 1641/2007 para los diferentes usos. En verde se señalan los parámetros que cumplen los requisitos de calidad, indicando esto que el 90% de las muestras evaluadas se sitúan por debajo del VMA y en rojo las que no los cumplen, indicando que más del 10% de las muestras evaluadas sobrepasan el VMA establecido.

Uso Urbano					
Calidad	Parámetro	Nem	<i>E. coli</i>	SS	TU
	Unidades	huevo/10L	UCF/100mL	mg/L	NTU
1.1 Residencial	VMA	1	0	10	2
1.2 Servicios	VMA	1	200	20	10
Uso Industrial					
Calidad	Parámetro	Nem	<i>E. coli</i>	SS	TU
	Unidades	huevo/10L	UCF/100mL	mg/L	NTU
3.1 Agua de proceso	VMA	No se fija	10.000	35	15
3.1 Industria alimentaria	VMA	1	1.000	35	No se fija
3.2 Torres de refrigeración	VMA	1	Ausencia	5	1
Uso Recreativo					
Calidad	Parámetro	Nem	<i>E. coli</i>	SS	TU
	Unidades	huevo/10L	UCF/100mL	mg/L	NTU
4.1 Campos de golf	VMA	1	200	20	10
4.2 Estanques	VMA	No se fija	10.000	35	No se fija

Tabla 51 Parámetros de calidad para usos urbano, uso industrial y recreativo (RD 1620/2007) y cumplimiento de los requisitos con el sistema de regeneración actual.

Para el análisis de viabilidad de utilización del agua regenerada con fines agrícolas, se ha analizado parámetros como *Legionella*, *E. coli*, Nemátodos, SS y TU. En este caso se establece como máxima calidad el agua clase A. Cabe destacar que el agua regenerada actual presenta una muy buena calidad, aunque no llega a la categoría A por presentarse incumplimientos en sólidos en suspensión, Tabla 54.

Parámetros							
Criterios	<i>E.coli</i>	<i>Legionella</i>	Nemátodos	DBO ₅	SS	Turbidez	Clase Total
90%	A	A	A	-	B, C, D	A	B, C, D
Desv. Máx	A	A	A	-	A	A	
Clase	A	A	A	-	A	A	B, C, D

Tabla 52 Tipo de calidad a la que se podría llegar si se tuviera en cuenta los criterios establecidos para uso agrícola en el Reglamento (UE) 2020/741.

8.1.1.4.2.1. Instalaciones de distribución y almacenamiento

El AYTO introdujo el uso de agua regenerada en zonas verdes con la tramitación de un expediente ante la CHJ en 2008. Así pues, durante los últimos años, se ha continuado trabajando en el estudio de fuentes alternativas para reducir la demanda de agua potable de uso municipal para el riego de jardines y zonas verdes, para más información se recomienda consultar el apartado 2. centrado en el estudio de la demanda de la ciudad. En el año 2022 el municipio de Castellón obtuvo una concesión total de 539.059 m³/año para el riego de nuevos parques y jardines de la ciudad. Sin embargo, solo se está utilizando un 23% del volumen concedido el cual se centra en el riego con agua regenerada de:

- Zona Litoral (concesión 2008): zona de riego ubicada en el Grao de Castellón destinada al riego del parque del Litoral.
- Zona Auditorio y Juzgados (concesión 2016): zona de riego ubicada en el centro urbano de Castellón que comprende los parques y jardines de la ronda Norte, Bv. Blasco Ibáñez, Auditorio, parque Rafalafena, parque Tombatossals, C/ Calderón de la Barca, parc dels Jocs Tradicionals y Avd. Mare de Deu del Lledó.

Teniendo en cuenta que estas dos zonas de riego conforman un 20% del total de zonas verdes existentes en el municipio, aún existe un margen disponible de optimización del volumen concedido por la CHJ para el aumento del número de parques y jardines que se puedan regar con agua regenerada. Con este objetivo de trabajo se ha analizado con detenimiento las características del municipio, así como las diferentes zonas verdes identificadas y se ha desarrollado una propuesta de red de infraestructuras futura, para más información se recomienda consultar el apartado 5..

Esta propuesta de red futura planteada cuenta con más de 15.000 m.l. de tubería para abastecer un total de 12 zonas de riego. Así pues, la propuesta de red futura presentada consta de los siguientes nuevos elementos:

- Sistema compuesto por una estación de bombeo independiente a la salida de la EDAR según el destino al que abastecen ya sea el centro urbano de la ciudad o en dirección al Grao de Castellón.
- Rebombeo intermedio en el Parque Pont de Ferro en dirección UJI e implantación de un depósito de regulación de 500 m³ a cota 73 m para permitir el riego por gravedad de aquellas superficies ajardinadas con cota mayor a 35 m.
- Segundo rebombeo en el Parque Pont de Ferro para el riego de las zonas de su alrededor como el parque Ribalta.
- Incorporación de válvulas de PRV y de compuerta para mantener presiones de funcionamiento adecuadas en la red.

La Figura 51 muestra la red de infraestructuras de agua regenerada existente en la actualidad, así como la propuesta de red futura según la tipología de red. Además, en

la figura también se representan los elementos hidráulicos que forman parte de la red y las doce zonas de riego a abastecer.

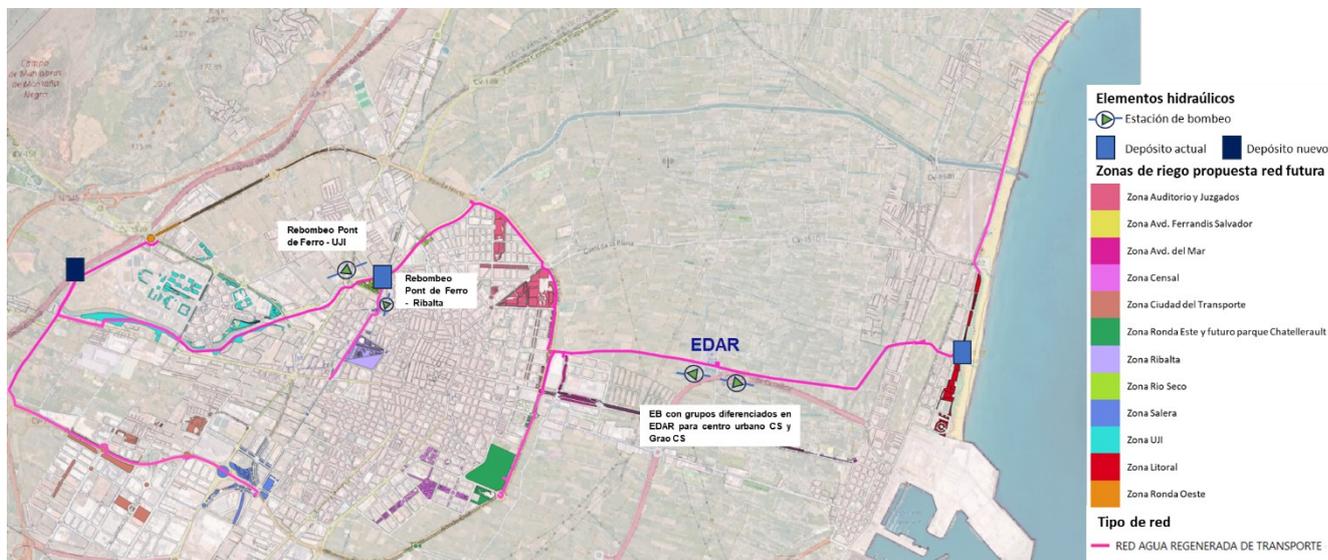


Figura 50. Propuesta de red de agua regenerada futura planteada para el municipio de Castellón de la Plana.

8.1.1.4.3. Tratamientos adicionales

Con el propósito de evitar la proliferación de bacterias en los sistemas de almacenaje de agua, en cada uno de los depósitos de la red de infraestructuras es necesario realizar tratamientos adicionales periódicos de desinfección. Así pues, como tratamiento adicional se considera oportuno efectuar una cloración en los tres depósitos presentes en la red futura.

8.1.1.4.4. Esquema resumen

A continuación, en la , se representa a través de un esquema las diferentes partes del sistema de regeneración. Del mismo modo, en la se presenta el sistema en el mapa del municipio. En ambas figuras se indican los PEAR, así como los PCad del sistema.

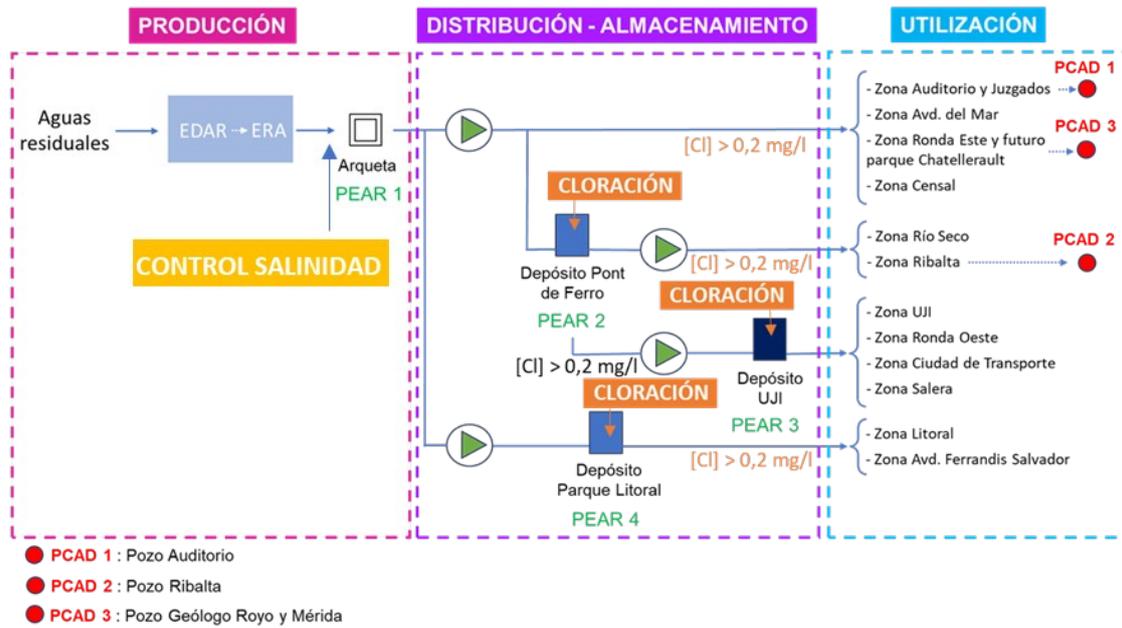


Figura 51. Esquema del sistema de reutilización

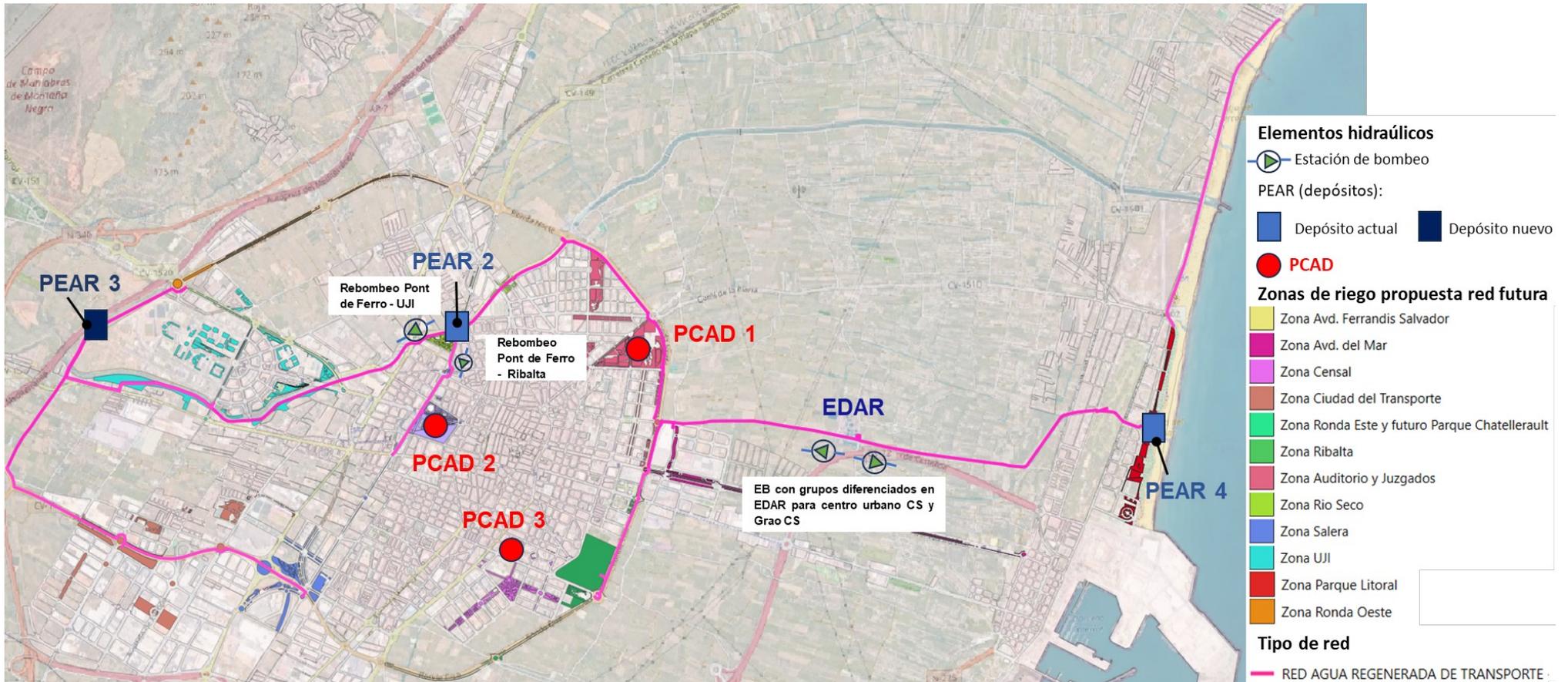


Figura 52. Ubicación de los diferentes elementos que componen el sistema de reutilización

8.1.2. Regadío

El uso del agua regenerada en la Ciudad de Castellón se limita al riego de jardines municipales. La ciudad de Castellón de la Plana cuenta con catorce parques principales destinados al recreo y al esparcimiento de la ciudadanía ¹⁶.

Los parques y jardines están distribuidos entre el casco urbano de la ciudad (parque Auditorio, parque de la Botánica Carmen Albert, parque Censal, parque Geólogo Royo, parque de los Juegos Tradicionales, parque Mérida, parque de la Plaza de las Comunicaciones, parque Pont de Ferro, parque Rafalafena y parque Ribalta) y del Grao (parque Litoral, parque de la Plaza de la Panderola y parque del Pinar); quedando el parque del Meridiano en la zona de la marjalería con motivo del cruce del meridiano de Greenwich y el paralelo 40. En la Figura 53 se representan las localizaciones de cada uno de los catorce parques en el municipio de Castellón de la Plana.



Figura 53. Ubicación de los catorce parques principales del municipio de Castellón.

El AYTO cuenta con el informe “*Estudio botánico para la implantación del riego con agua regenerada en los parques y jardines de Castellón de la Plana*” en el que se analiza las especies vegetales de los principales parques del municipio, y se realiza una catalogación de las zonas que actualmente están regadas con agua regenerada. Del estudio se concluye que “tras varios años usándose esta agua para riego en algunas zonas verdes de la ciudad de Castellón de la Plana, no se detectan sintomatologías de estrés salino en las especies ornamentales existentes en dichas zonas verdes.

Después del análisis exhaustivo del efecto del agua regenerada sobre las especies ornamentales de los diferentes jardines, se concluyó que no existía daño alguno a la vegetación, por lo que no supone ningún riesgo la ampliación el uso de esta agua a otras zonas ajardinadas de ciudad de Castellón.

¹⁶ Ayuntamiento de Castellón. Fichas de parques de la ciudad:
<https://www.castello.es/es/medioambiente#contenido3497352>

El AYTO concentra estos parques y jardines principales en catorce zonas de riego. La Figura 54 muestra la ubicación de estas zonas mientras que la Tabla 53 presenta los parques y jardines de cada una de las zonas de riego identificadas.



Figura 54. Localización de las zonas de riego del municipio de Castellón.

Zonas	Parques, jardines y zonas verdes	Concesión			
		2008	2016	2022	Futura
Zona Auditorio y Juzgados	Ronda Norte				
	Bv. Blasco Ibáñez				
	Auditorio				
	Parque Rafalafena				
	Parque Tombatossals				
	C/ Calderón de la Barca				
	Parc dels Jocs Tradicionals				
Av. Mare de Deu del Lledó					
Zona Avd. Ferrandis Salvador	Avd. Ferrandis Salvador				
Zona Avd. del Mar	Avd. del Mar				
Zona Avd. Valencia	Parque Santa Rosa				
	Parque de la Dolçaina y el Tabalet				
	Plaza del Mar de Barents				
Zona Censal	Río Nalón				
	Pau Censal I (Centro)				
	Pau Censal I (Sur)				
	Parque Geólogo José Royo				
Zona Ciudad del Transporte	Pau Censal I (Norte)				
	Jardines Ciudad del transporte				
Zona Litoral	Jardines Polígono San Lorenzo				
	Parque Litoral				



Zona Pequeños jardines verdes centro	Parques y jardines alejados de las otras zonas del municipio				
Zona Rafalafena	Jardines alrededor parque Rafalafena				
Zona Ribalta	Donoso Cortés Av. Barcelona Alcalde Vicente Meliá Parque Ribalta Paseo Morella Campsa				
Zona Río Seco	Pont de Ferro Río Sec Av. Barcelona Antiga Corona d'Aragó Bv. Río Seco y Ronda Oeste				
Zona Ronda Este y futuro parque Avd. Chatelleraut	Jardines ronda este Parque Avd. Chatelleraut				
Zona Salera	Boera Estepark				
Zona UJI	Roser UJI Raval Universitari Parque Carmen Albert Cementerio San José Corredor Río Seco				

Tabla 53. Parques, jardines y zonas verdes que incluyen cada zona de riego definida.

Así pues, tras el análisis de las zonas de riego a priorizar para la confección de la red de infraestructuras futura de agua regeneradas del municipio, se seleccionan doce zonas de riego a abastecer. En la Tabla 54 se presenta la caracterización de estas doce zonas de riego. Como se puede ver, todas las zonas de riego cuentan con el mismo tipo de cultivo, flores ornamentales, y requieren de una calidad de clase tipo urbano 1.2.

Zona de riego	Superficie (m ²)	Consumo (m ³ /año)	Tipo de cultivo	Clase requerida
Zona Auditorio, Juzgados	179.729	91.661,79	Ornamental	Urbano 1.2
Zona Avd. del Mar	41.257	21.041,29	Ornamental	Urbano 1.2
Zona Avd. Ferrandis Salvador	2.131	1.086,81	Ornamental	Urbano 1.2
Zona Censal	65.798	33.556,98	Ornamental	Urbano 1.2
Zona Ciudad del Transporte	120.202	61.303,18	Ornamental	Urbano 1.2
Zona Litoral	63.780	32.527,80	Ornamental	Urbano 1.2

Zona Ribalta	76.536	39.033,36	Ornamental	Urbano 1.2
Zona Río Seco	28.034	14.297,34	Ornamental	Urbano 1.2
Zona Ronda Este y futuro parque Avd. Chatellerault	157.736	80.445,20	Ornamental	Urbano 1.2
Zona Ronda Oeste	19.363	9.875	Ornamental	Urbano 1.2
Zona Salera	74.941	38.219,91	Ornamental	Urbano 1.2
Zona UJI	186.657	95.195,07	Ornamental	Urbano 1.2

Tabla 54. Caracterización de las doce zonas de riego incluidas en la propuesta de red de infraestructuras futura para el municipio.

En la Figura 50, se mostraba la propuesta de red de infraestructuras de agua regenerada junto con las diferentes zonas de riego, indicando los parques y jardines que pueden ser regados con estas aguas.

8.1.3. Descripción del entorno del sistema

8.1.3.1. Entorno y vías de comunicación

El municipio de Castellón de la Plana es cabecera comarcal de la Plana Alta y capital provincial de Castellón. El término linda con los municipios de Benicàssim por el Norte, Borriol por el Noroeste, l'Alcora por el Oeste y Onda y Almassora por el Sur.

8.1.3.2. Hidrología

Para entender el alcance del impacto negativo derivado de la utilización de agua regenerada para riego u otros fines industriales y/o recreativos, se debe realizar un estudio del entorno de la zona en la que van a ser utilizadas dichas aguas. En el apartado 3 de este PDAR se han descrito las características del acuífero de la Plana. Para entender cómo puede repercutir el agua de retorno (o lixiviados) sobre dicha masa de agua subterránea, debe conocerse en primer lugar su estado químico actual.

En la Tabla 55, se recoge la información del estado actual del acuífero de la Plana.

Masa de agua subterránea	Estado químico	Índice o parámetro de incumplimiento	Agente peligroso
MASubt 080.127	Mal estado químico	Nitratos	NO ₃ ⁻
		Intrusión marina	Cl ⁻

Tabla 55. Resumen características masa de agua subterránea sobre la que se asienta la ciudad de Castellón de la Plana.

Es interesante destacar que la MASubt 080.127 ésta está catalogada como zona vulnerable a nitratos y en la actualidad está considerada como masa de agua subterránea en mal estado cualitativo, por nitratos e intrusión marina (CHJ). Además, si se evalúa la conductividad eléctrica como marcador o indicador de la salinidad de las aguas regeneradas, se puede llegar a la conclusión de que el agua regenerada en la EDAR de Castellón puede ser considerada como agua de salinidad media a elevada, ya que los valores oscilan entre los 2.000 y 3.200 µS/cm. Además, los análisis de seguimiento han detectado picos bastante superiores a este nivel, registrándose valores de 5000 µS/cm, poniendo de manifiesto la problemática que

podría suponer a largo plazo la utilización de esta agua para el riego de parques y jardines.

8.1.3.3. Zonas de protección y de interés

En la identificación de riesgos para el público en general, es relevante que se evalúa las posibles vías de comunicación o caminos de acceso que faciliten el contacto de la ciudadana con las aguas regeneradas. Algunos de estos caminos pueden ser, vías pecuarias, espacios protegidos visitados por público en general, senderos, etc.

Como el riego se realizará en área urbana, se ha determinado que dentro del perímetro de riego no existen vías pecuarias. Dentro del perímetro de riego no existe ningún espacio RN 2000.

Zonas protegidas según Plan Hidrológico:

Como se ha descrito en apartados anteriores, Castellón de la Plana se sitúa sobre la masa de agua subterránea MASubt 080.127, catalogada como en mal estado químico por presencia de nitratos y cloruros.

8.1.4. Partes responsables

Se define “parte responsable” la que realiza una función o actividad como parte en el sistema de reutilización de aguas, incluido el operador de la estación regeneradora de aguas, el operador de la estación depuradora de aguas urbanas cuando no se trate del operador de la estación regeneradora de aguas, la autoridad pertinente que no sea la autoridad competente designada, el operador de la distribución de aguas regeneradas, o el operador del almacenamiento de aguas regeneradas.

En la Tabla 56 se identifican las partes responsables del sistema de reutilización, así como su responsabilidad.

Nombre de la organización	Rol	Responsabilidad
AYTO	Estación ERA	Elaboración, revisión y actualización del PGRAR respecto a la depuración/regeneración. Acreditar agua con calidad adecuada en el punto de cumplimiento (Pcum1) y su correcta entrega en el PEAR1.
AYTO	Distribución y almacenamiento	Acreditar agua con calidad adecuada en los puntos de entrega: PEAR2, PEAR3 y PEAR4.
AYTO	Riego	Coordinación directa con el resto de partes responsables para asegurar una correcta implementación del PGRAR. Correcta distribución del agua, manejo y control de las posibles mezclas que se puedan producir con agua de otras fuentes.

Tabla 56. Definición de las partes responsables del sistema de reutilización de agua y su responsabilidad.

8.1.5. Identificación de los agentes peligrosos, grupos y vías de exposición.

La utilización de aguas regeneradas puede conllevar riesgos asociados en diversos puntos del proceso si no se realiza un manejo adecuado. Por ello, en cada fase del sistema de reutilización deben identificarse los sucesos peligrosos y las vías de exposición de cada receptor (grupo o entorno de exposición). Los sucesos peligrosos pueden desembocar en la liberación de aguas regeneradas que contengan

microorganismos patógenos o sustancias químicas que podrían ser peligrosas para los receptores humanos y/o medioambientales. Por ello es de vital importancia en el análisis del riesgo de utilización de aguas regeneradas la identificación de los agentes peligrosos sanitarios o medioambientales.

8.1.5.1. Agentes peligrosos sanitarios

En general, las aguas procedentes de las EDAR poseen altas concentraciones de microorganismos patógenos (bacterias, virus, protozoos y helmintos) y sustancias químicas que pueden producir enfermedades o alteraciones a largo plazo. En el caso de los patógenos, los tratamientos de desinfección pueden reducir significativamente las concentraciones de algunos de estos agentes peligrosos impidiendo o reduciendo al máximo la posibilidad de transmisión de la enfermedad. En el caso de la estación de regeneración de Castellón de la planta, la desinfección se produce mediante radiación ultravioleta previa al sistema de cloración.

8.1.5.1.1. Identificación de agentes peligrosos sanitarios

A continuación, en la Tabla 57, se muestra un listado de agentes peligrosos sanitarios de origen microbiológico de acuerdo con lo expuesto en el cuadro 2.3 de las Directrices para apoyar la aplicación del Reglamento (UE) 2020/741 relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua. En esta guía se señalan agentes peligrosos de detectados de forma habitual en las aguas residuales sin tratar y los efectos sobre los receptores (en este caso el ser humano).

Agentes peligrosos. Riesgos sanitarios microbiológicos				
	Parámetro	Indicador	Vía de exposición	Posibles efectos
Bacterias	<i>E.coli</i>	Pueden estar presentes pero se utiliza como indicador " <i>E.coli</i> "	Contacto y/o ingestión	Gastroenteritis y septicemia
	<i>Legionella</i>		Inhalación	Legionelosis
	<i>Salmonella</i>		Contacto y/o ingestión	Salmonelosis
	<i>Vibrio cholera</i>			Cólera
	<i>Campilobacteria</i>			Gastroenteritis, síndrome de Reiter, etc
	<i>Shigella</i>			Shigelosis
	<i>Enterococos intestinales</i>			Endocarditis, infecciones urinarias e intraabdominales, prostatitis, bacteriemias concurrentes.
Protozoos	<i>Entamoeba</i>	Pueden estar presentes, pero se utiliza como indicador las esporas de <i>Clostridium perfringens</i>	Contacto y/o ingestión	Amebiasis (disentería amebiana)
	<i>Giardia</i>			Gastroenteritis
	<i>Cryptosporidium</i>			Criptosporidiosis, diarrea y fiebre
Helmintos	<i>Ascaris</i>	Pueden estar presentes, pero se utiliza como indicadores nemátodos intestinales (Huevos de Helmintos)	Contacto y/o ingestión	Ascariasis (infección por lombrices)
	<i>Anquilostoma</i>			Anquilostomiasis (infección por anquilostomos)
	<i>Necator</i>			Necatoriasis (infección por lombrices)
	<i>Trichuris</i>			Tricurosis (infección por tricocéfalos)

Virus	<i>Enterovirus</i>	Pueden estar presentes, pero se utiliza como indicadores los Bacteriófagos	Contacto y/o ingestión	Gastroenteritis
	<i>Adenovirus</i>			Enfermedad respiratoria, infección ocular, gastroenteritis
	<i>Rotavirus</i>			Gastroenteritis

Tabla 57. Listado de agentes peligrosos sanitarios de origen microbiológico detectados de forma habitual en las aguas residuales sin tratar y los efectos que pueden causar sobre los seres humanos.

Aparte de los microorganismos patógenos que causan enfermedades, en las aguas residuales sin tratar se pueden encontrar algunas sustancias químicas susceptibles de causar enfermedades o alteraciones sobre los elementos receptores, Tabla 58.

En el RD 3/2023 por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de la calidad del agua de consumo, se señalan algunas sustancias que podrían tener un impacto sobre la salud humana.

Agentes peligrosos. Riesgos sanitarios químicos		
Agente peligroso	Vía de exposición	Posibles efectos
Metales pesados y sus derivados	Ingestión	Acumulación en los tejidos
Ftalatos y fenoles	Ingestión	Alteradores endocrinos
Hidrocarburos halogenados: Dioxinas, Furanos, PCB	Ingestión	No son absorbidos por las plantas y pueden quedar adheridos en la superficie de frutas y verduras.
Nonifenoles	Recarga de acuíferos	Disruptores endocrinos. Incluidos en las listas de observación del anexo IV del <i>Real Decreto 3/2023</i>
Fármacos y sus metabolitos: Antibióticos, AINES, Hormonas	Recarga de acuíferos	Incluidos en las listas de observación del anexo IV del <i>Real Decreto 3/2023</i> : Azitromicina, Diclofenaco y 17β-Estradiol

Tabla 58. Listado de agentes peligrosos sanitarios de origen químico detectados de forma habitual en las aguas residuales sin tratar y los efectos que pueden causar sobre los seres humanos.

8.1.5.1.2. Grupos y vías de exposición

- **Cultivos**

La vía de exposición para los consumidores de los productos agrícolas puede ser la ingestión de productos regados con aguas regeneradas que no cumplan los estándares legales o por contaminación cruzada. En el caso del riego en Castellón de la plana, no existe riesgo alguno ya que se prevé el riego de especies ornamentales.

- **Operarios de la planta de tratamiento**

En el caso de los operarios de la planta, las vías de exposición pueden ser:

- Contacto con el agua residual y regenerada durante la realización de sus labores diarias
- Existe riesgo por inhalación (en el caso de producirse aerosolización durante el tratamiento).
- La ingestión puede ocurrir de forma accidental al no respetarse las medidas de higiene oportunas

- **Operarios del sistema de almacenamiento y distribución**

En los operarios que controlan las infraestructuras de almacenamiento y distribución las vías de exposición pueden ser:

- Contacto con el agua regenerada durante la realización de sus funciones diarias
- Existe riesgo por inhalación (en el caso de producirse aerosolización durante el almacenamiento y/o distribución).
- La ingestión puede ocurrir de forma accidental al no respetarse las medidas de higiene oportunas
- **Usuario final: Responsable riego**

En el caso de los usuarios finales, las vías de exposición pueden ser:

- Contacto con el agua regenerada al realizar las tareas diarias.
- Posible contacto por roturas de los sistemas de riego.
- En los puntos en los que utiliza el riego por aspersión, existe riesgo de inhalación por aerosolización del agua regenerada.
- La ingestión puede ocurrir de forma accidental al no respetarse las medidas de higiene oportunas.
- **Personas externas al sistema**

La ciudadanía en general pueden disfrutar de las zonas de recreo y ajardinadas que serán regadas con el agua regenerada. En el caso de las zonas de distribución y almacenamiento, el riego se supone bajo ya que las tuberías se encuentran enterradas y los depósitos sellados y vallados presentando un difícil acceso a los mismos.

8.1.5.2. Agentes peligrosos ambientales

La utilización de aguas regeneradas también puede tener efectos negativos sobre el medioambiente y los ecosistemas si no son tratadas adecuadamente.

8.1.5.2.1. Identificación de agentes peligrosos ambientales

En la Tabla 59 se muestran algunos agentes peligrosos medioambientales que podrían tener un impacto sobre el suelo, sobre las aguas subterráneas y/o superficiales y sobre los cultivos.

Agentes peligrosos ambientales		
Parámetro	Grupo de exposición	Posibles efectos
Nitrógeno	Suelo, cultivo, agua superficial, agua subterránea	Desequilibrio de nutrientes en cultivos; eutrofización, efecto tóxico en la biota terrestre, contaminación, eutrofización
Fósforo	Suelo, aguas superficiales	Eutrofización, efecto tóxico en la biota
Residuos de desinfección del cloro	Aguas superficiales, cultivos	Toxicidad para la biota acuática. Toxicidad de los cultivos
Salinidad	Suelo (salinización), aguas superficiales, aguas subterráneas	Daños al suelo, estrés en los cultivos, aumento salinidad
Boro	Acumulación suelo	Toxicidad en los cultivos
Cloruro	Suelo, cultivo, agua superficial, agua subterránea	Toxicidad de los cultivos, a través de absorción de las raíces y para biota acuática

Sodio	Cultivos, Suelo	Toxicidad en los cultivos y daños en el suelo
Nitrato	Suelo, cultivo, agua superficial, agua subterránea	Acumulación en el suelo, daño biota, eutrofización
Amonio	Suelo, cultivo, agua superficial, agua subterránea	Desequilibrio de nutrientes en cultivos; acidificación del suelo
Nitritos	Suelo, cultivo, agua superficial, agua subterránea	Desequilibrio de nutrientes
Sulfato	Suelo, cultivo, agua superficial, agua subterránea	Desequilibrio nutrientes en el suelo

Tabla 59. Listado de agentes peligrosos ambientales y los efectos que pueden causar sobre los diferentes receptores.

8.1.5.2.2. Agua

Dentro del sistema de riego abastecido por la nueva red diseñada en el presente documento, no existen puntos de retornos a aguas superficiales. Por lo tanto, se considera que no hay agentes peligrosos para aguas superficiales derivados del riego de jardines con las aguas regeneradas de la EDAR de Castellón.

Si evaluamos los posibles riesgos sobre el agua subterránea, según CHJ la masa de agua subterránea sobre la que encuentra la ciudad de Castellón, está catalogada como en mal estado químico por presencia de nitratos y cloruros, presentando una alta conductividad eléctrica. Por lo tanto, se consideran que estos elementos deben considerarse como agentes peligrosos ambientales por la susceptibilidad de la masa de agua subterránea situada debajo de la zona en la que se van a emplear las aguas regeneradas en el riego de parques y jardines.

8.1.5.2.3. Suelo y zona no saturada y cultivos

Se han seleccionado elementos tales como nitrógeno, fósforo, elevada salinidad, alta concentración de cloruro, nitrato, amonio, nitritos, que pueden afectar al suelo y a las plantas regadas con el agua regenerada. Estos elementos o se aportan al suelo mediante el agua regenerada y su acumulación a largo plazo puede ocasionar problemas sobre suelo-planta o suponen actualmente un problema para las masas de agua subterráneas y por tanto deben ser monitoreados.

8.1.5.2.4. Fauna

La fauna es un elemento más a considerar, ya que también puede verse afectada por la utilización de aguas regeneradas, en mayor o menor medida dependiendo de si se trata de fauna terrestre, acuática o de aves. Las principales vías de exposición serían las siguientes:

- Contacto con el agua regenerada por inmersión o aerosoles.
- Ingesta de agua regenerada.
- Ingesta de alimentos regados con agua regenerada.

8.1.5.3. Tabla resumen selección de agentes peligrosos

A continuación, en la Tabla 60, se indican los agentes peligrosos seleccionados, para los que se definirá en el apartado siguiente un plan analítico, así como una evaluación de los riegos ocasionados sobre los diferentes grupos de exposición.

Riesgo	Parámetro	Grupo de exposición	Ruta de exposición
--------	-----------	---------------------	--------------------

Sanitario	<i>E.coli</i> <i>Legionella</i> <i>Enterococos</i> <i>intestinales</i> <i>Clostridium</i> <i>perfringens</i>	Trabajadores EDAR/ERA	Inhalación, ingestión y contacto con el agua regenerada
		Operarios sistema distribución y almacenamiento	
		Responsable distribuidor final	
		Ciudadanía y personas transeúntes	
Ambiental	Nitrógeno Fósforo Salinidad Cloruro Nitrato Amonio Nitritos Sulfato	Agua superficial	Contacto, acumulación, inmersión en el agua regenerada
		Agua subterránea	
		Suelo	
		Zona no saturada	
		Cultivos	
		Fauna	

Tabla 60. Resumen de los agentes peligrosos seleccionados

8.1.6. Requisitos del sistema

En el siguiente apartado se van a describir los requisitos del sistema de regeneración en términos de calidad del agua regenerada. Se va a distinguir entre:

- **Requisitos mínimos:** son los exigidos por el RD 1620/2007. Se trata de requisitos para uso urbano, calidad 1.2 y que deben cumplirse en los puntos de cumplimiento (Pcum) y en los puntos de entrega (PEAR).
- **Requisitos adicionales:** son todos aquellos requisitos seleccionados para su seguimiento, distintos a los requisitos mínimos. Pueden derivarse de otras normas de aplicación nacional, autonómico, regional o local. Pueden requerirse en el punto de cumplimiento o establecerse otros puntos de control adicional (PCAD).

8.1.6.1. Requisitos mínimos

El RD 1620/2007 establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas y determina los criterios de calidad a alcanzar en el agua regenerada para los distintos usos. En la Tabla 61 se encuentran resumidos los valores máximos admisibles (VMA), y la frecuencia de las analíticas en el caso de agua regenerada para uso urbano, calidad 1.2, para la que el AYTO posee autorización de uso. También se incluyen los puntos de control, definidos como puntos de cumplimiento y entrega (PEAR) del agua regenerada. Estos puntos son claves en términos de control de calidad del proceso, ya que determinan los lugares en los que se deben cumplir los criterios de calidad establecidos antes de ser entregada el agua regenerada a la siguiente parte responsable. La denominación de los puntos de control, así como los criterios mínimos requeridos por el RD 1620/2007 se describen a continuación.

Requisitos mínimos RD 1620/2007					
Punto de control calidad		Uso Urbano 1.2			
Puntos de cumplimiento y de entrega (PEAR)		Parámetros	Unidades	VMA	Periodicidad
PEAR1: Salida ERA	PEAR2: Depósito Pont de Ferro	Nematodos	Huevos / 10 L	1	Quincenal
		<i>E. coli</i>	UFC / 100 mL	200	2 x semana

	PEAR3: Depósito UJI PEAR4: Depósito Parque litoral	Sólidos en Suspensión	mg/L	20	Semanal
		Turbidez	NTU	10	Semanal
		<i>Legionella spp.</i>	UFC/L	100	Mensual
Otros parámetros					
PEAR1: Salida ERA		Caudal	m ³ /h	-	Diario
		pH	-	-	2 x semana
		Conductividad d	μS/cm	-	2 x semana

Tabla 61. Requisitos mínimos de los puntos de cumplimiento (Pcum) y los puntos de entrega del agua regenerada (PEAR), VMA y frecuencia de los análisis.

8.1.6.2. Requisitos adicionales

En la Tabla 62 se especifican los parámetros que se propone para su seguimiento por haber sido seleccionados como agentes peligrosos sanitario y ambientales en el apartado anterior. Estos parámetros no son exigidos por la normativa de aguas regeneradas, pero se han determinado como potencialmente peligrosos, bien por su presencia en las aguas regeneradas (cloruros y nitratos), por producir un daño grave si entran en contacto con operarios o transeúntes (agentes patógenos) o por ser indicadores de la calidad de las aguas subterráneas según el RD 1514/2009 (conductividad, pH, nitrógeno total, fósforo total, etc.). El seguimiento de estos parámetros se realizará tal y como se indica en la Tabla 62, en la que quedan recogidos los puntos de control (PEAR1: Arqueta EDAR) y los puntos de control adicionales (PCAD1: Pozo Auditorio), los parámetros adicionales a analizar en cada uno de ellos y los valores máximos admisibles.

Requisitos adicionales. Control de calidad			
Puntos de Control	Nombre del parámetro	VMA	Frecuencia de muestreo
PEAR1: Arqueta salida ERA	NO ₃ ⁻	50 mg/L	1 x mes
	Cl ⁻	-	1 x mes
	Nitrógeno total	15 mg/L	1 x mes
	Fósforo total	2 mg/L	1 x mes
PCad1: Pozo Auditorio	<i>E.coli</i> (UFC /100 ml)	0	1 x trimestral
	<i>Legionella spp</i> (UFC/l)	100	1 x trimestral
	<i>Enterococos intestinales</i> (UFC /100 ml)	0	1 x trimestral
	<i>Clostridium Perfringens</i> (UFC /100 ml)	0	1 x trimestral
	Conductividad	-	1 x trimestral
	pH	-	1 x trimestral
	NO ₃ ⁻	50 mg/L	1 x trimestral
	Cl ⁻	-	1 x trimestral
	Nitrógeno total	15 mg/L	1 x trimestral
	Fósforo total	2 mg/L	1 x trimestral

Tabla 62. Requisitos de calidad adicionales en los Pcum y los PCad, frecuencia de las analíticas y VMA.

8.1.7. Evaluación del riesgo de los agentes peligrosos seleccionados y mecanismos de control

El análisis de riesgos es un proceso que se utiliza para identificar y evaluar los posibles riesgos que pueden afectar a una organización, proyecto o actividad. El

objetivo principal es encontrar las vulnerabilidades y debilidades en el sistema y determinar cómo reducir o mitigar estos riesgos. El análisis de riesgos consiste en identificar los posibles eventos que pueden ocurrir, evaluar su probabilidad de ocurrencia y determinar las posibles consecuencias. Con esta información, se pueden identificar los riesgos más críticos y desarrollar planes de acción para mitigarlos.

Antes de realizar un análisis específico sobre los diferentes agentes peligrosos seleccionados, se detallan los mecanismos de los que dispone actualmente la ERA de Castellón para el control de los volúmenes y la calidad del agua regenerada.

- **Control de volúmenes y caudales:** mediante caudalímetros instalados en las impulsiones que guían el agua hasta los diferentes puntos de entrega.
- **Plan de seguridad ante contingencias**

La estación de regeneración de la EDAR de Castellón cuenta con un Plan de Emergencias que contempla las seguridades ante la pérdida de calidad del influente de la estación de regeneración, así como las posibles averías de los equipos instalados en la misma. La estación de regeneración cuenta con los siguientes equipos y seguridades que garantizan el buen funcionamiento de las unidades de tratamiento:

- Control de la turbidez del influente terciario.
- Control de sólidos en suspensión del influente a desinfección UV.
- Control de transmitancia en la desinfección ultravioleta.
- Control del cloro residual libre en el canal de cloración.

- **Evaluación de la calidad de las aguas regeneradas**

La evaluación de la calidad se basa en la aplicación de criterios de conformidad y medidas de gestión frente a posibles incumplimientos que garantizan cumplimiento de los estándares de calidad establecidos.

Según el RD 1620/2007, se considera adecuada la calidad del agua regenerada cuando se cumplan los siguientes aspectos de forma simultánea:

- 1- El 90% de las muestras analizadas presentan valores inferiores a los Valores Máximos Admisibles (VMA) en todos los parámetros especificados en el Anexo I.A para el uso 1.2 (Tabla 15).
- 2- Las muestras que superan el VMA del Anexo I.A para el uso 1.2. no sobrepasan los límites de desviación máxima (LDM) establecidos en el Anexo I.C. (Tabla 16).
- 3- Se asegura el cumplimiento de las Normas de Calidad Ambiental (NCA) para las sustancias peligrosas en el punto de entrega de las aguas regeneradas.

- **Protocolo de actuación frente a incumplimientos o desviaciones**

Siguiendo las especificaciones de la guía de aplicación del RD 1620/2007, se describen los pasos a seguir en dos situaciones de incumpliendo distintas:

- 1- El agua regenerada no cumple los requisitos exigidos en Tabla 15 del presente informe. Pasos a seguir:

- Detección:
 - Interrupción del suministro de agua regenerada
 - Comunicación de la interrupción del suministro de agua regenerada
 - Análisis de las causas del incumplimiento
 - Subsanación de las causas del incumplimiento o desviación
 - Reapertura del suministro de agua regenerada
 - Comunicación de la reapertura del suministro de agua regenerada
- 2- Una muestra puntual presenta valores fuera de los LDM, descritos en Tabla 16.
Pasos a seguir:
- Detección de un incumplimiento o desviación:
 - Realización de una segunda analítica al agua regenerada 24 h después del incumplimiento detectado, SI:
 - PERSISTE EL INCUMPLIMIENTO: se continúa con el siguiente paso del presente protocolo.
 - NO PERSISTE EL INCUMPLIMIENTO: se da por finalizado este incumplimiento o desviación y se finaliza el protocolo.
 - Comunicación de la interrupción del suministro de agua regenerada
 - Análisis de las causas del incumplimiento
 - Subsanación de las causas del incumplimiento o desviación
 - Reanudación del suministro de agua regenerada
 - Comunicación de la reanudación del suministro de agua regenerada

8.1.7.1. Justificación del riesgo y medidas preventivas

8.1.7.1.1. Agentes peligrosos riesgo sanitario

En la Tabla 60 quedan recogidos los agentes peligrosos seleccionados en este estudio, cuyo riesgo y mecanismos de control se describen a continuación. El monitoreo de *E.coli* para la utilización de aguas regenerada en uso urbano (calidad 1.2) queda marcado en el RD 1620/2007 y corresponde a uno de los requisitos mínimos de control en los puntos de cumplimiento y de entrega del agua regenerada. Además, también se han introducido como agentes peligrosos los indicadores de contaminación fecal *Enterococos intestinales* y *Clostridium perfringens*. Por último, se ha seleccionado *Legionella spp*, cuyo seguimiento y control se realiza en base a lo descrito en el RD 487/2022 y que se detalla a continuación.

8.1.7.1.1.1. Control de Legionella

El RD 487/2022 se centra en garantizar la prevención y el control de la legionella en instalaciones que utilicen agua en su funcionamiento y que, por tanto, sean susceptibles de generar esta peligrosa bacteria. El RD 487/2022 marca los “requisitos sanitarios para la prevención y el control de la legionelosis”, que deroga el anterior RD 865/2003, se basa en la UNE 100030:2017 sobre “Prevención y control de la proliferación y diseminación de Legionella en instalaciones”. En este decreto se establece un listado de posibles instalaciones susceptibles de riesgo, y que pueden ser susceptibles de convertirse en focos de exposición humana a la bacteria y, por tanto, de propagación de la enfermedad de la legionelosis, y en este listado aparece de

forma explícita en el puesto noveno los sistemas de riego por aspersión en el medio urbano o en campos de golf o deportes y en el duodécimo las máquinas de riego o baldeo de vías públicas y vehículos de limpieza viaria. En general el sistema será considerado dentro del epígrafe E Otras instalaciones que puedan producir aerosolización, y específicamente dentro del E.4 Instalaciones sin recirculación de agua. Este decreto marca los requisitos específicos de las instalaciones, la calidad del agua y el plan de control de las instalaciones. El AYUCAS, como titular de la instalación, estará obligada a controlar y prevenir la aparición y proliferación de Legionella. Para ello, el AYUCAS cuenta con herramientas como el Plan de Prevención y Control de Legionella (PPCL) que defina acciones para minimizar la presencia, proliferación y dispersión de Legionella, estableciendo una serie de medidas preventivas en las instalaciones de riesgo que garanticen la eliminación o reducción de zonas sucias, el acumulo de suciedad, así como los estancamientos mediante un buen diseño y el mantenimiento de las instalaciones y equipos, eviten las condiciones que favorecen la supervivencia y multiplicación de Legionella, mediante el control de la temperatura del agua y la desinfección de la misma, y minimicen la emisión de aerosoles.

EL valor máximo admisible en la concentración de legionela spp para calidad del agua que se utiliza para riego de zonas ajardinadas es de 100 UFC/L y viene marcado por el RD 1620/2007. Los puntos de muestro mínimos de la instalación en los que se analizará la presencia de legionela serán:

- PEAR 1 Salida ERA.
- PEAR 2 Depósito Pont de Ferro.
- PEAR 3 Depósito UJI.
- PEAR 4 Depósito Parque Litoral.

Y en ellos se mantendrá el programa de muestreo mínimo que se presenta en la Tabla 63.

Requisitos control de Legionella en instalaciones de riego por aspersión			
Punto de Control	Nombre del parámetro	VMA	Frecuencia de muestreo
PEAR 1: Salida ERA PEAR 2: Depósito Pont de Ferro PEAR 3: Depósito UJI PEAR 4: Depósito Parque Litoral	Legionella spp (UFC/L)	x	Anual
	Aerobios (UFC/mL)	-	-
	pH	x	Mensual
	Temperatura (°C)	x	Mensual
	Turbidez (UNF)	-	
	Biocida	x	Mensual
	Hierro Total (mg/L)	-	
	Conductividad	-	

Tabla 63. Parámetros de control, requisitos de calidad exigidos y frecuencia de las analíticas para el control de legionella en las instalaciones de riego por aspersión.

Además, se realizará una determinación de Legionella spp. en muestras de puntos representativos de la instalación como mínimo 15-30 días después de la realización del tratamiento de limpieza y desinfección.

Cuando el tiempo de parada de la instalación supere la vida media del biocida empleado y aunque no la supere, no haya habido recirculación del agua con el biocida

en 24 horas, se comprobará el nivel del biocida y la calidad microbiológica (*Legionella* spp) del agua antes de su puesta en funcionamiento.

En todo caso, será el PPCL adoptado por AYUCAS quien debe regir el protocolo de actuaciones, pero en términos generales, las acciones para tomar en función del resultado del recuento de *Legionella* en los puntos de control se resumen en la Tabla 64 según RD 487/2022:

Legionella spp (UFC/L)	Medidas a adoptar
< 100	<ul style="list-style-type: none"> Mantener los programas actuales
≥ 100 y <1.000	<ul style="list-style-type: none"> Se revisará el programa de mantenimiento, a fin de establecer acciones correctoras que disminuyan la concentración de <i>Legionella</i> spp. Limpieza y desinfección. Realizar una nueva toma de muestra entre 15 y 30 días tras la limpieza y desinfección: <ul style="list-style-type: none"> Si esta muestra no detecta, continuar con el mantenimiento previsto. Si la muestra da presencia, revisar el programa de mantenimiento e introducir las reformas estructurales necesarias. Proceder a realizar una limpieza y desinfección y realizar una nueva toma de muestras a los 15-30 días.
≥ 1.000	<ul style="list-style-type: none"> Parar el funcionamiento de la instalación. Realizar limpieza y desinfección y una nueva toma de muestras a los 15-30 días tras la limpieza y desinfección.

Tabla 64. Acciones a ejecutar en función del recuento de *Legionella* en los puntos de control según RD 487/2022.

8.1.7.1.1.1. Criterios generales exigibles para el diseño para las redes de agua regenerada para la minimización de la presencia de *Legionella*:

- Con carácter general

Reducir al mínimo la emisión de aerosoles al ambiente, especialmente en los puntos terminales y en los elementos de protección exterior de las instalaciones. Evite áreas donde el agua pueda estancarse, como tuberías de desviación (by-pass), equipos y aparatos en reserva, y tramos de tuberías con fondo ciego.

En la medida de lo posible y si las condiciones climáticas lo permiten, evitar que la temperatura del agua supere los 20 °C mediante el aislamiento térmico de equipos, aparatos, depósitos y tuberías, entre otros, cuando sea necesario.

limpiar la entrada de materiales extraños a las instalaciones mediante dispositivos adecuados en las acometidas, depósitos previos, tomas de aire y aberturas al exterior. En caso de que la calidad del agua de entrada lo requiera debido a un alto contenido de partículas en suspensión, se instalará un filtro.

Facilitar el acceso a los equipos, depósitos y aparatos para llevar a cabo tareas de revisión, mantenimiento, limpieza, desinfección y toma de muestras.

Asegurar de que las instalaciones cuenten con válvulas de retención y aislamiento para prevenir retornos de agua y mezclas de agua procedentes de diferentes sistemas.

Las redes de tuberías deben contar con válvulas de drenaje en todos los puntos bajos. Estos drenajes deben conducirse a un lugar visible y, si es necesario, autorizado, y

deben tener el tamaño adecuado para permitir la eliminación de los sedimentos acumulados.

Si se utilizan filtros de punto final, asegurar de que eviten el retorno del agua y no contaminen microbiológicamente las aguas arriba.

En particular, los equipos, depósitos y aparatos en reserva, en caso de existir, deben contar con válvulas de corte de cierre hermético y con una válvula de drenaje ubicada en el punto más bajo.

- Conductos y trazados:

Las tuberías y accesorios se fabricarán de color violeta (PANTONE 2577U ó RAL 4001) al igual que los aspersores, por ser el color más consensuado entre los países que ya han implantado el sistema de regeneración de aguas

Todas las válvulas, grifos y cabezales de aspersión deberán estar marcados adecuadamente con objeto de advertir al público que el agua no es potable, debiendo ser además de un tipo que sólo permita su utilización por personal autorizado

Las tuberías y las tapas de las arquetas tendrán una leyenda fácilmente legible "AGUA REGENERADA. AGUA NO POTABLE".

La separación en planta a las redes de distribución de agua potable será la máxima posible recomendándose que sea como mínimo de 1,5 m. De no ser posible, se adoptarán las medidas de protección necesarias para que no se produzca conexión alguna entre ambas redes.

La profundidad mínima de las conducciones de reutilización se determinará de forma que se garantice que la conducción quede protegida frente a las acciones externas, especialmente el tráfico rodado y preservada de las variaciones de temperatura.

No obstante, como criterio general, la profundidad mínima de enterramiento será de 1 m o un valor igual al diámetro exterior (el mayor de ambos). Cuando no puedan respetarse estos recubrimientos mínimos deberán tomarse las medidas de protección necesarias.

El trazado en alzado no deberá estar por encima del nivel de oscilación de la línea interanual piezométrica y deberá ser tal que se garanticen en todas las secciones de la red las condiciones de presión establecidas.

Dicha obligación afecta también al usuario del agua regenerada que deberá identificar con violeta las infraestructuras de canalización, las tapas de arqueta, las bocas de riego, aspersores, valvulería y otros elementos del sistema de riego para que sean debidamente identificadas. Las canalizaciones se pintarán de violeta en toda su longitud.

Además, el público y los usuarios serán informados mediante carteles indicativos de que se está utilizando agua regenerada no potable para el uso correspondiente. Para ello se colocarán las señales en lugares fácilmente visibles en todos los casos, de

conformidad a lo previsto en el RD 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.

Tanto las canalizaciones como todos los elementos del sistema de riego deberán estar señalizados con la leyenda “AGUA REGENERADA NO POTABLE”.

Cuando se informe de la prohibición de beber el agua se utilizará la señal de prohibición de forma redonda que corresponde a “Agua no potable” recogida en el Anexo III: Señales en forma de panel del Real Decreto 485/1994. La señal se enmarcará en un rectángulo con fondo violeta (PANTONE 2577U ó RAL 4001) remarcado con una línea blanca. En la parte superior pondrá la leyenda “AGUA REGENERADA NO POTABLE” y en la parte inferior lo mismo, pero en el idioma de la Comunidad Autónoma, si procede.

- Elementos de maniobra y control

Las redes de agua regenerada deben contar con válvulas de seccionamiento (compuerta y mariposa), aireación, control y seguridad necesarias para optimizar la operación de la red y responder a situaciones súbitas que puedan dañar la conducción. Estas válvulas deben cumplir con los requisitos de diseño y funcionamiento establecidos por las normas UNE-EN 736 y UNE-EN 1074. Además, los elementos metálicos de las válvulas que lo requieran deben tener una protección epoxi-poliamida, y se aplicará un revestimiento de color violeta, similar al utilizado en las tuberías, en su parte exterior.

Cada elemento de las válvulas llevará una etiqueta adherida de forma permanente en la que se indique claramente "AGUA REGENERADA NO POTABLE".

Para prevenir episodios de reflujo (backflow), que es la circulación de un fluido en dirección opuesta a la prevista, se debe considerar especialmente en conexiones donde el agua regenerada puede entrar en contacto con el agua potable. Este reflujo podría contaminar el agua potable. Por lo tanto, es fundamental contar con válvulas de seguridad o antirretorno para mitigar este riesgo en las conducciones de agua.

- Depósitos de agua regenerada no potable:

Los depósitos que se construyan en los sistemas de reutilización deberán cumplir con lo especificado al respecto por la norma UNE-EN 1508:1999, “Abastecimiento de agua. Requisitos para sistemas y componentes para el almacenamiento de agua”. Además, deben diseñarse para prevenir el deterioro del agua que almacena y, para ello, evitar los cambios químicos, físicos o biológicos perjudiciales para la salud humana o medio ambiente. Asimismo, hay que evitar pérdidas por infiltraciones de agua regenerada al suelo.

Para ello, se tendrán en cuenta los siguientes criterios de diseño:

- El depósito, en la medida de lo posible, estará cubierto y dispondrá de una lámina de impermeabilización sobre cubierta.
- Deben estar claramente señalizados como instalaciones de "AGUA REGENERADA NO POTABLE".

- Los materiales en contacto con el agua deben cumplir los requisitos para evitar el deterioro del agua regenerada.
- Las superficies interiores deben ser lisas y sin poros para facilitar la limpieza.
- Todas las partes metálicas deben protegerse contra la corrosión.
- Se reducirán al mínimo las zonas estancadas mediante un diseño adecuado.
- Se dispondrán pantallas o tabiques de guía para forzar la circulación del agua.
- Habrá huecos en la parte superior del depósito para la ventilación, protegidos contra el acceso no autorizado.
- Las tuberías de entrada y salida deben tener grifos para la extracción de muestras.
- Se diseñarán con al menos dos compartimentos para permitir llenado o vaciado independiente.
- El acceso a diferentes zonas del depósito se dimensionará para garantizar la seguridad y facilitar la explotación.
- Las ventanas de iluminación no serán practicables y tendrán seguridad.
- El llenado se realizará con mecanismos de regulación y válvulas de flotador.
- Cada compartimiento tendrá tuberías de entrada, salida, y una de vaciado y desagüe.
- La tubería de salida contará con un filtro para evitar sedimentos.
- Se instalarán canaletas en la solera de cada compartimiento para el vaciado.
- El desagüe se garantizará mediante solera superior al punto de vertido o soluciones alternativas.
- Se dispondrá de un vertedero de emergencia para evitar rebose en caso de falla en los mecanismos de regulación.
- Se instalarán dispositivos medidores de volumen o caudal y dispositivos eléctricos de control del nivel del agua.
- El perímetro del depósito estará protegido por un cerramiento con puerta de acceso cerrada con llave.

8.1.7.1.1.1.2. Criterios para el riego de jardines

Los sistemas de riego localizado son los más apropiados para la utilización de agua regenerada. Es recomendable emplear elementos de riego que reduzcan las pérdidas por evaporación, escorrentía e infiltración, como reguladores de presión, goteros autocompensantes, válvulas antidrenaje y sensores de lluvia, entre otros. Se debe minimizar el riesgo de encharcamiento y garantizar que la escorrentía superficial permanezca confinada en el propio terreno, para lo cual la automatización de los sistemas de riego resulta beneficiosa.

En áreas frecuentadas por el público, los puntos de suministro de agua regenerada deben contar con dispositivos de cierre que impidan el acceso no autorizado del público a dichos puntos.

Cuando se emplea un sistema de riego por aspersión, existe la posibilidad de aerosolización, por lo que es crucial cumplir con ciertos requisitos para prevenir o minimizar el contacto de las personas con el agua.

En este contexto, se recomienda realizar el riego preferentemente durante la noche o cuando las instalaciones estén cerradas al público. Además, la programación debe permitir que las plantas tengan tiempo suficiente para secarse antes de que los usuarios accedan al área regada.

Es esencial utilizar aspersores de tipo emergente que, bajo la presión, permanezcan tapados a nivel del suelo cuando no están en funcionamiento. Las fuentes de agua potable deben estar protegidas contra los aerosoles de agua regenerada que puedan caer directamente o ser dispersados por el viento. Los aerosoles generados por los aspersores no deben alcanzar de manera permanente a los trabajadores, vías de comunicación asfaltadas o áreas habitadas. En caso necesario, se deben establecer obstáculos o pantallas que limiten la propagación. Además, se deben seleccionar aspersores de corto alcance o baja presión.

Por último, es fundamental respetar las distancias de seguridad de 30 m con respecto a áreas accesibles al público.

La desinfección del agua puede realizarse en un depósito previo para permitir el tiempo de contacto necesario mediante un biocida autorizado o un sistema físico o físico-químico. En este caso deberá comprobarse que el sistema de desinfección utilizado, en la dosis de aplicación, no sea perjudicial para las especies vegetales existentes en la zona de riego.

Evitar prolongados períodos de paro ya que favorecen el estancamiento del agua y la proliferación de microorganismos. Siempre que sea posible instalar un programador que ponga en funcionamiento diariamente la instalación. El riego por aspersión se realizará preferentemente en horarios en los que el paso de personas sea mínimo para evitar la exposición de la población a los aerosoles.

8.1.7.1.1.3. Criterios para el Baldeo

El baldeo se debe realizar de noche.

8.1.7.1.1.4. Mantenimiento y revisión de equipos e instalaciones

En general, se debe comprobar el correcto funcionamiento de las instalaciones y revisar el estado de conservación y limpieza.

Se revisará el estado de conservación y limpieza general, con el fin de detectar la presencia de sedimentos, incrustaciones, productos de la corrosión, lodos y cualquier otra circunstancia que altere o pueda alterar el buen funcionamiento de la instalación.

Si se detecta algún componente deteriorado se procederá a su reparación o sustitución.

Las instalaciones se limpiarán y desinfectarán una vez al año, cuando se pongan en marcha la instalación por primera vez, tras una parada superior a un mes, tras una

reparación o modificación estructural, cuando una revisión general así lo aconseje y cuando así lo determine la autoridad sanitaria, y, además:

- I. cuando se ponga en marcha la instalación por primera vez,
- II. tras una parada superior a un mes (excepto que la autoridad sanitaria determine un periodo diferente),
- III. tras una reparación o modificación estructural,
- IV. cuando una revisión general de la instalación lo aconseje, o
- V. cuando así lo determine la autoridad sanitaria.

Una desinfección no será efectiva si no va acompañada de una limpieza exhaustiva previa.

En el uso del desinfectante debe asegurarse un tiempo mínimo de contacto entre el agua y el desinfectante, teniendo en cuenta, en su caso, los niveles de pH acorde con las indicaciones de fabricante del desinfectante.

Los productos químicos se dosificarán preferentemente, siempre que sea posible, de forma automática, mediante sistemas con monitorización o control telemático que contará con un programa de calibración. En todo caso, en su uso se seguirán las indicaciones del fabricante.

Cuando se detecte presencia de suciedad, incrustaciones o sedimentos, se procederá a su limpieza y, en su caso, desinfección.

Las piezas desmontables serán limpiadas a fondo y desinfectadas, sumergiéndolas con el biocida, aclarando posteriormente con abundante agua fría. Los elementos difíciles de desmontar o de difícil acceso se pulverizarán con biocida o se cubrirán con un paño limpio impregnado en desinfectante durante el tiempo necesario en función del biocida elegido.

Deben tomarse las medidas adecuadas para que las limpiezas o desinfecciones no afecten a los usuarios de la zona tratada. Respecto a los sistemas de climatización o acondicionamiento del aire, deberá ventilarse el sistema de climatización antes de su reutilización en condiciones normales.

Para todas las instalaciones el procedimiento de limpieza y desinfección a seguir será el siguiente:

- I. Limpiar a fondo las paredes de los depósitos, eliminando incrustaciones y realizando las reparaciones necesarias. Aclarar con agua limpia.
- II. Desinfección con biocidas durante el tiempo establecido en función del desinfectante utilizado, controlando pH (si la efectividad del biocida depende del pH).
- III. Neutralizar la cantidad de biocida y vaciar.
- IV. Volver a llenar con agua y restablecer las condiciones de uso normales.

La revisión general de funcionamiento de la instalación, incluyendo todos los elementos, así como los sistemas utilizados para el tratamiento del agua se presenta en la Tabla 65. Se revisará el estado de conservación y limpieza general, con el fin de detectar la presencia de sedimentos, incrustaciones, productos de la corrosión, lodos, algas y cualquier otra circunstancia que altere o pueda alterar el buen funcionamiento de la instalación.

Elemento	Acción	Periodicidad
Circuito de riego	Se controlará regularmente el correcto funcionamiento del sistema y la ausencia de fugas en el circuito	6 meses
Boquillas	Debe comprobarse mediante inspección visual exterior que no presentan suciedad general, corrosión, o incrustaciones. La pulverización debe ser homogénea.	6 meses
Filtros Aspersores	Revisar que no se encuentren obstruidos. Limpiar o sustituir cuando sea necesario.	Si existe filtro de protección general
		Si NO existe filtro de protección general
Equipos trata- miento de agua	Comprobar su correcto funcionamiento.	Equipos desinfección
		Otros equipos

Tabla 65. Acciones a ejecutar para la revisión del funcionamiento general de la instalación.

8.1.7.1.2. Agentes peligrosos riesgo ambiental

8.1.7.1.2.1. Efecto de los nitratos en los lixiviados del retorno del riego:

La ciudad se asienta sobre el acuífero de La Plana, MASubt 080.127, declarado como catalogada como zona vulnerable a nitratos y en la actualidad está considerada como masa de agua subterránea en mal estado cualitativo, por nitratos e intrusión marina^{17,18}. Esta designación fija sobre todo la calidad del lixiviado en el riego de los jardines. Este hecho debe marcar el plan de fertiirrigación de las zonas verdes. En la Orden 10/2018, de 27 de febrero, de la Conselleria de Agricultura, Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Rural, sobre la utilización de materias fertilizantes nitrogenadas en las explotaciones agrarias de la Comunidad Valenciana se establecen las cantidades de nitrógeno que se consideran óptimas para cubrir las necesidades de los principales cultivos de la Comunidad Valenciana, con el objetivo de obtener una producción óptima y evitar carencias que afecten al normal desarrollo de las plantas, a su rendimiento y a la calidad de la cosecha. Para el caso de los cítricos, se indica un intervalo de valores comprendidos entre los 180 y 220 kg N/ha y año, para riego localizado en zonas vulnerables a la contaminación de las aguas por nitratos. En esta misma Orden se establece que, considerando un suelo con un contenido en nitrógeno disponible de 20 kg/ha y un agua de riego con una concentración de nitratos de 15 mg/L, las dosis máximas de N a aplicar en zonas vulnerables con riego localizado serán de 145-185 kg N/ha y año. Este límite está pensado para el cultivo de cítricos, mucho más demandante de N que las zonas verdes de la ciudad, pero en todo caso se deberá atender a los límites que marque la legislación. Por ello, el control del aporte de nitratos al medioambiente debe controlarse mediante el ajuste del nitrógeno dentro de los programas de fertilización de las diferentes especies regadas con las aguas

¹⁷ Plan hidrológico de la demarcación hidrográfica del Júcar memoria - anejo 4 registro de zonas protegidas Ciclo de planificación hidrológica 2022 - 2027

¹⁸ Decreto 86/2018, de 22 de junio, del Consell, por el que se designan municipios como zonas vulnerables a la contaminación de las aguas por nitratos procedentes de fuentes agrarias en la Comunitat Valenciana

regeneradas a fin de optimizar al máximo la relación necesidad-aporte de cada una de ellas, teniendo en cuenta la presencia de este nutriente en las aguas regeneradas. Para ello, será clave el seguimiento de este nutriente en influente y efluente de la ERA.

8.1.7.1.2.2. Efecto de los cloruros en los lixiviados del retorno del riego

En el “Estudio botánico para la implantación del riego con agua regenerada en los parques y jardines de Castellón de la Plana”, se incide en que todos los parámetros analizados en el agua procedente de la depuradora EDAR Castellón son aceptables para su uso como agua de riego. Tan solo la conductividad eléctrica presenta unos valores altos, casi al límite de la tolerancia, por lo que sería conveniente realizar análisis periódicos que permitan controlar la evolución del contenido de sales en el tiempo y realizar algunas de las recomendaciones expuestas en el presente documento para poder seguir utilizando esta agua en las zonas verdes”. Se han observado picos de salinidad de más de 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, esto supera el límite aconsejable para el riego. Una medida de control en este sentido, podría ser el seguimiento en continuo de la conductividad eléctrica del agua regenerada, de tal forma que, si en el momento de riego se detectan valores de conductividad eléctrica que superan los 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, esta agua será mezclada con agua conectada a la red para que se produzca una reducción de la cantidad de sales en el agua de riego. Si se compara la conductividad eléctrica del agua subterránea que, en la zona de estudio, varía entre 746 a 1.054 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que el agua regenerada presenta una conductividad promedio entono a 3.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, pero en el momento en que se produzca la mezcla de estas dos aguas se obtendría, probablemente, una agua de mezcla subterránea con valores inferiores a 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (valor guía utilizado indicador de calidad según en el RD 3/2023 en el cual se establecen los criterios técnico-sanitarios de la calidad del agua de consumo, su control y suministro).

El método de riego frecuentemente es a goteo y se optimiza al máximo para que la cantidad de agua administrada sea la que necesita la vegetación. Por tanto, sería muy limitado el efecto del retorno de riegos a las aguas subterráneas, debido a que, por ellas mismas, esas pequeñas cantidades no pueden alcanzar la zona saturada del acuífero ya que toda sería absorbida por la vegetación y, adicionalmente, el agua estaría sometida al proceso de evapotranspiración. Además, en el caso de que las aguas de riego, después de atravesar la zona no saturada, lleguen a la zona saturada, éstas entrarían en contacto con las aguas subterráneas y se mezclarían, disminuyendo su concentración por un proceso de dilución. Cabe destacar que la columna de agua del acuífero en la zona de estudio tiene un espesor medio 60 m, por tanto, la cantidad de agua de riego que pueda alcanzar la zona saturada, frente al espesor saturado del acuífero (columna de agua) es mínima. Hay que considerar que el agua y las sales acumuladas en el suelo (primeros metros de terreno) únicamente se movilizarían con la presencia de precipitaciones intensas, éstas sí que pueden lixiviar las sales acumuladas en el terreno y arrastrarlas hacia zonas más profundas, aunque no necesariamente hasta la zona saturada.

8.1.8. Medidas a implementar

8.1.8.1. Recomendaciones generales

Después de recopilar toda la información, se podría concluir que el impacto del retorno de riego de los parques y jardines sería mínimo y previsiblemente no afectaría a las características físico-químicas del agua subterránea.

A pesar de ello, para realizar un seguimiento de los agentes peligrosos tanto sanitarios como ambientales relacionados con el uso de agua regenerada, se proponen algunas recomendaciones para evitar que los riesgos producidos por los agentes peligrosos se mantengan en niveles aceptables.

- Continuar con la realización de analíticas periódicas de control de calidad del agua regenerada teniendo en cuenta los requisitos mínimos de calidad (Tabla 61).
- Realizar analíticas oportunas para el seguimiento y control de los requisitos de calidad adicionales (Tabla 62).

8.1.8.2. Recomendaciones para el control de agentes peligrosos sanitarios, Legionella; Control de la cloración: Utilización del Cloro como biocida

La utilización del cloro como biocida en la higienización del agua regenerada está ampliamente extendida. Se trata de un sistema robusto y muy conocido, ampliamente utilizado en las redes potables. No puede ser sustituto de equipos como los UV por su menor eficacia en la inactivación de virus y protozoos patógenos como *Cryptosporidium* y *Gardia*. Su concentración residual se ha de mantener siempre entre valor muy estrechos, pero tampoco puede ser alta por el efecto que puede causar sobre la fauna y flora, y por su reacción con materia orgánica que puede producir trihalometanos.

El cloro residual asegura el mantenimiento de un nivel de desinfección adecuado en:

- La salida de la ERA.
- Las infraestructuras de almacenamiento y distribución de las aguas regeneradas.

El RD 3/2023 establece límites específicos para los niveles de cloro libre y cloro combinado residual en el agua de consumo. Este RD establece un valor de 1,0 mg/L para el cloro libre residual en el agua de consumo, que es de aplicación en red de distribución, cisterna, depósito de distribución o de regulación y grifo, con un valor de no aptitud del agua es de 5,0 mg/L de cloro libre residual.

En el RD 3/2023, se recomienda que, de forma general, existan al menos niveles de 0,2 mg/L en todos los puntos de la red de distribución, y para garantizar la eficacia de la desinfección, se recomienda que durante 30 min se mantengan unos niveles de cloro libre residual de al menos 0,5 mg/L con un pH inferior a 8,0 y como máximo, una turbidez de 1 UNF. La turbidez del agua y el cloro libre residual están relacionados, en el sentido de que la turbidez puede afectar la eficacia del cloro como desinfectante y, por lo tanto, influir en la calidad del agua de consumo. En aguas con alta turbidez, es

posible que se necesite ajustar la dosis de cloro para compensar la interferencia de las partículas y garantizar una desinfección efectiva. Hay que tener en cuenta que en los depósitos PEAR2, PEAR3 y PEAR4, se exige una turbidez máxima de 10 NTU, esto puede colisionar con la disminución del efecto de la cloración y se debe analizar.

En el caso de desinfección en aguas residuales se mantiene la recomendación de unos niveles mínimos de 0,2 mg/L en todos los puntos de la red de distribución. Será necesario establecer puntos de reclusión en los PEAR2, PEAR3 y PEAR4 con control de la concentración de cloro necesario para mantener en cualquier punto de la red de riego y transporte con un valor de Cl superior a 0,2 mg/L.

En la Figura 55 se presentan los puntos de reclusión del sistema de reutilización propuesto.

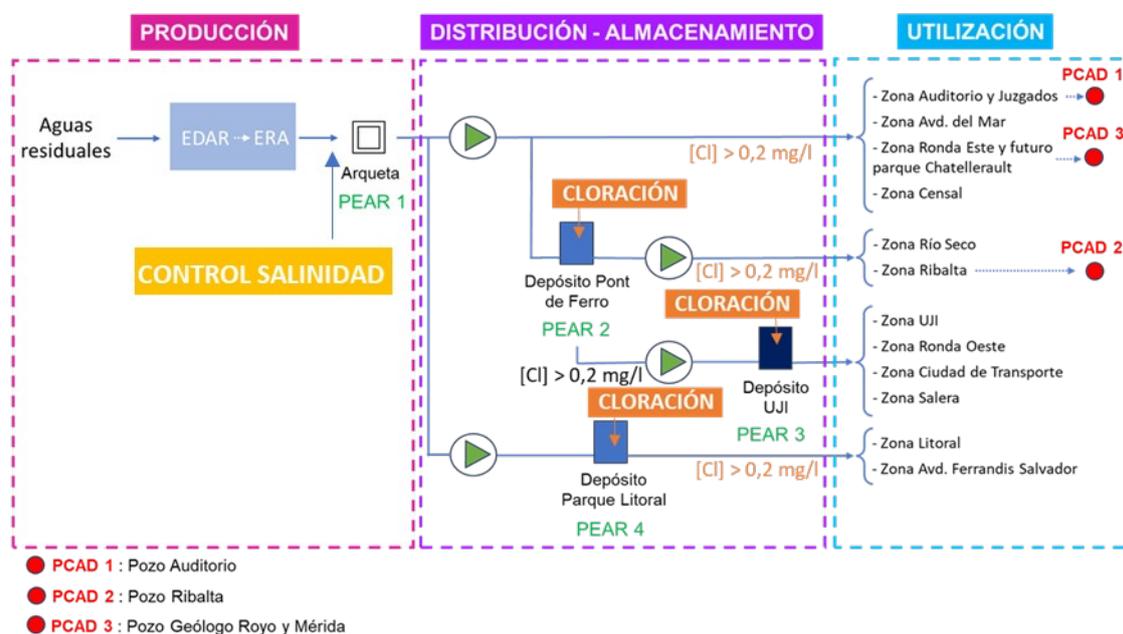


Figura 55. Esquema del sistema de reutilización con la identificación de los puntos de reclusión de la propuesta de red de infraestructuras futura.

8.1.8.3. Recomendaciones para el control de agentes peligrosos medioambientales, Nitratos y Cloruros: evaluación del impacto del riego con agua regenerada sobre el agua subterránea.

Para controlar el posible efecto negativo derivado de la utilización de aguas regeneradas sobre las aguas subterráneas, se recomienda llevar a cabo un seguimiento de las características del agua que se infiltra a través de la zona no saturada (agua lixiviada).

Por un lado, se debe incluir un sistema de mezclado del agua en la arqueta que alimenta al sistema de agua regenerada que controle en continuo que la salinidad no supere los límites establecidos, y evite perjuicio a la vegetación y un aumento de los cloruros en el agua subterránea. El sistema debería incorporar medias en continuo.

Por otro lado, sería necesario recolectar esta agua de lixiviación a través de muestreadores que se pueden instalar a diferentes profundidades a lo largo del perfil

de la zona no saturada (por ejemplo, cada 20 cm hasta los 2 m de profundidad) para de este modo comprobar cambios en las concentraciones de los iones de control y, por lo tanto, poder comprobar si existen procesos de atenuación y su grado de efectividad. Para la toma de muestras de agua lixiviada se puede hacer uso de muestreadores diseñados para este fin como son las capsulas de succión de cerámica porosa o incluso sistemas de control de la zona no saturada en tiempo real que permiten el análisis de parámetros y la toma de datos in situ (Real-time Data and Sampling from the Unsaturated Zone¹⁹).

En el agua subterránea, sería necesario realizar un control de los parámetros de calidad en diferentes pozos que se ubicarían en la línea del flujo del agua subterránea que procede de las áreas que se regarían con el agua residual regenerada. Así, por ejemplo, el pozo Ribalta captaría flujo que procede la zona de la UJI, los pozos denominados Geólogo Royo y Mérida, que se ubican aguas abajo de la zona verde del río Seco en la dirección del flujo del agua subterránea captaría agua de esta zona, y el pozo del Auditorio podría captar agua en el sector que en la actualidad se riega con aguas residuales regeneradas. De todos ellos en la actualidad es el pozo del Auditorio, Tabla 66, de titularidad municipal el que posee la infraestructura más adecuada para realizar el muestreo periódico:



Tabla 66. Descripción del PCad, localización y columna litográfica (Fuente FACSA)

El pozo tiene una captación de agua situada a 16 m, por lo que lo habilitaría como punto de control para analizar el efecto del retorno de riego. Este pozo ha sido seleccionado como punto adicional de control (PadC1) y los parámetros para evaluación de calidad de las aguas subterráneas, así como la frecuencia de los análisis necesarios para desarrollar un buen seguimiento se describen en la Tabla 62.

19 The Vadose-zone Monitoring System VMS <https://sensoil.com/technology/>

8.1.9. Resumen del plan analítico y agentes catalogados como peligrosos

A continuación, en la Tabla 67, se muestra un resumen de los puntos clave para el seguimiento de la calidad del agua regenerada y así como puntos de control estratégicos para la evaluación del impacto que pudiera tener el uso de esta agua regenerada sobre las aguas subterráneas. También se indican los valores máximos admisibles de los criterios de calidad y la periodicidad de las analíticas para su control.

Plan analítico seguimiento calidad					
Punto de control calidad	Requisitos				
PEAR1: Salida ERA	Requisitos mínimos				
	Parámetros	Unidades	VMA	Periodicidad	
	Nematodos	Huevos / 10 L	1	Quincenal	
	<i>E. coli</i>	UFC / 100 mL	200	2 x semana	
	Sólidos en Suspensión	mg/L	20	Semanal	
	Turbidez	NTU	10	Semanal	
	<i>Legionella spp.</i>	UFC/L	100	Mensual	
	Otros parámetros				
	Caudal	m ³ /h	-	Diario	
	pH	-	-	2 semana	
	Conductividad	µS/cm	-	2 semana	
	Control Legionella spp				
	Legionella spp	UFC/L	-	1 año	
	Aerobios	UFC/mL	-	-	
	pH	udpH	-	Mensual	
	Temperatura	°C	-	Mensual	
	Turbidez	UNF	-	-	
	Biocida	-	-	Mensual	
	Hierro Total	mg/L	-	-	
	Requisitos adicionales: control de riesgos ambientales				
NO ₃ -	mg/L	50	Mensual		
Cl-	mg/L	-	Mensual		
Nitrógeno total	mg/L	-	Mensual		
Fósforo total	mg/L	-	Mensual		
Punto de control calidad	Requisitos				
PEAR2: Depósito Pont de Ferro PEAR3: Depósito UJI PEAR4: Depósito Parque litoral	Requisitos mínimos				
	Parámetros	Unidades	VMA	Periodicidad	
	Nematodos	Huevos / 10 L	1	Quincenal	
	<i>E. coli</i>	UFC / 100 mL	200	2 x semana	
	Sólidos en Suspensión	mg/L	20	Semanal	
	Turbidez	NTU	10	Semanal	
	<i>Legionella spp.</i>	UFC/L	100	Mensual	
	Requisitos adicionales: control de riesgos ambientales				
	NO ₃ -	mg/L	50	Mensual	
	Cl-	mg/L	-	Mensual	
	Nitrógeno total	mg/L	15	Mensual	
	Fósforo total	mg/L	2	Mensual	
	Punto de control calidad	Requisitos adicionales			
	PCad1: Pozo Auditorio	Parámetros	Unidades	VMA	Periodicidad
<i>E. coli</i>		UFC /100 ml	0	Trimestral	
Legionella spp		UFC /L	100	Trimestral	
<i>Enterococos intestinales</i>		UFC /100 ml	0	Trimestral	
<i>Clostridium perfringens</i>		UFC /100 ml	0	Trimestral	
Conductividad		µS/cm	-	Trimestral	



	pH	udPH	-	Trimestral
	NO ₃ ⁻	50 mg/L		Trimestral
	Cl ⁻	-		Trimestral
	Nitrógeno total	15 mg/L		Trimestral
	Fósforo total	2 mg/L		Trimestral

Tabla 67. Resumen del Plan analítico de seguimiento con los puntos de control, parámetros, VMA y periodicidad de las muestras.

De la misma manera, en la Tabla 68 se indican las medidas a implementar para el control de los diferentes agentes catalogados como peligrosos, por producir daños a nivel sanitario, así como medioambiental.

Riesgo	Parámetro	Grupo de exposición	Control
Sanitario	<i>E.coli</i> <i>Legionella</i> <i>Enterococos intestinales</i> <i>Clostridium perfringens</i>	Trabajadores EDAR/ERA	Medidas preventivas a nivel de funcionamiento de las instalaciones.
		Operarios sistema distribución y almacenamiento	
		Responsable distribuidor final	Control de la calidad mediante seguimiento de requisitos mínimos y adicionales en los diferentes puntos de muestreo.
		Ciudadanía y personas transeúntes	Cloración a la salida de la ERA y en los diferentes tanques de almacenamiento (PEAR2, 3 y 4).
Ambiental	Nitrógeno Fósforo Salinidad Cloruro Nitrato Amonio Nitritos Sulfato	Agua superficial	Evaluación de la calidad del agua lixiviada.
		Agua subterránea	
		Suelo	Evaluación de la calidad del agua subterránea por análisis periódicos de diferentes parámetros en el PCad1: Pozo Auditorio.
		Zona no saturada	
		Cultivos	
		Fauna	

Tabla 68. Medidas de control para los agentes identificados como peligrosos a nivel sanitario y medioambiental.

8.2. ANEXO 2: Detalle del trazado de la propuesta de red de agua regenerada futura

Como consecuencia de las tres actuaciones principales propuestas:

- Mantener el riego por bombeo directo para las rondas Norte y Este fundamentalmente y descargar el sobrante al depósito de Pont de Ferro.
- Rebombear el caudal sobrante desde el depósito de Pont de Ferro hasta el nuevo depósito de regulación a la cota 73 m, siguiendo el curso del Río Seco, para alimentar la zona ajardinada de la UJI y las rondas Sur y Oeste por gravedad.
- Rebombear un caudal auxiliar desde el depósito de Pont de Ferro para alimentar los jardines en torno a dicho deposito.

surge el trazado de las nuevas tuberías que definen la propuesta para la ampliación de la red de riego actual.

A continuación, se describe cada uno de los trazados con más detalle.

8.2.1. Nueva tubería de acceso hasta el depósito de Pont de Ferro

Actualmente existe una tubería de 90 mm, que parte de la tubería de 250 mm que discurre por la ronda Este, y recorre el paseo del Periodista P. Pascual, y el Bulevar del Río Seco, para alimentar el parque de la antigua Corona de Aragón, la cual puede descargar un caudal sobrante al depósito de Pont de Ferro.

Dicha tubería es insuficiente para alimentar el depósito de Pont de Ferro con el caudal que posteriormente será elevado al nuevo depósito de la UJI, el cual puede alcanzar los 30 l/s. Por ello se propone construir un nuevo tramo en paralelo de diámetro 250 mm entre el depósito y el punto de conexión con la arterial actual del mismo diámetro, en la plaza de los Caballos Solidarios, y siguiendo el mismo recorrido que la tubería actual de 90 mm, tal como se observa en la Figura 56.

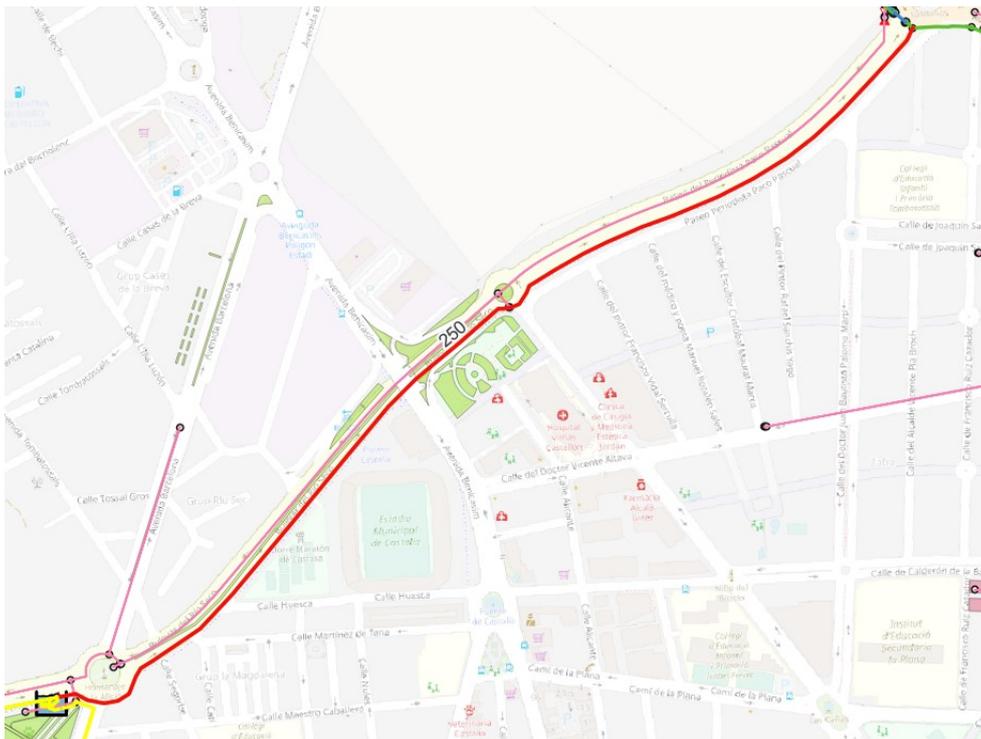


Figura 56. Nuevo tramo de aducción de 250 mm para conectar la ronda Norte a la altura de Caballos Solidarios con el depósito intermedio de Pont de Ferro.

La actual tubería de 90 mm se desconectaría en su entronque con el 250 mm de la ronda, y pasaría a alimentarse en sentido contrario desde el rebombeo auxiliar del depósito de Pont de Ferro.

8.2.2. Nueva tubería de impulsión del depósito de Pont de Ferro al nuevo depósito de la UJI

El llenado del nuevo depósito de regulación, situado en la periferia de la UJI a cota 73 m, requiere también la construcción de una nueva tubería de impulsión que recorrería el caudal del Río Seco por el margen derecho, tal como se muestra en la Figura 57. Esta tubería será únicamente de transporte, sin servicios en ruta, salvo temporal si el depósito no estuviera aún construido, o esporádicamente si quedara fuera de servicio. El caudal a transportar será algo menor que el de llenado del depósito de partida, en particular se estima un caudal máximo de bombeo de 25 l/s, con lo que un diámetro de 200 mm puede ser suficiente.

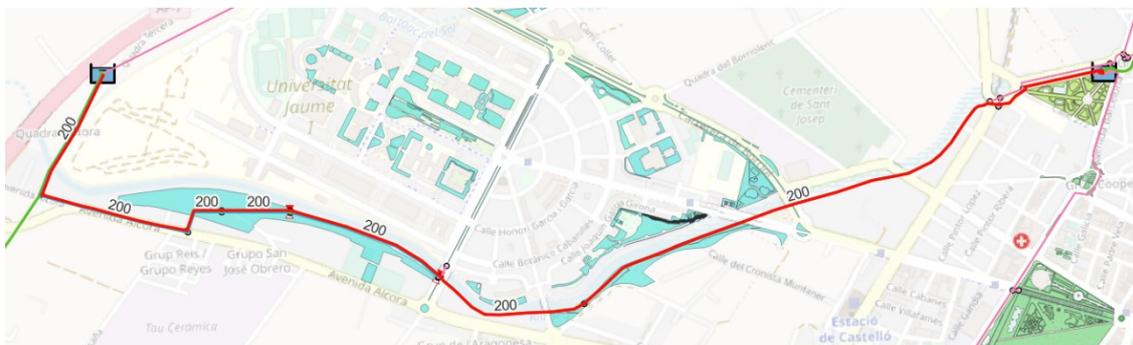


Figura 57. Nueva tubería de impulsión para alimentar el depósito de regulación a cota 73 m, desde el depósito de Pont de Ferro por bombeo.

En paralelo a este trazado, aunque no se aprecia en la figura anterior pero sí parcialmente en la Figura 58, discurrirá otra tubería, esta de servicio, para abastecer por gravedad desde el nuevo depósito UJI los riegos en torno al curso del Río Seco, para lo que sería necesario un diámetro de 125 mm. El trazado paralelo de la tubería de servicio se ha prolongado hasta la Av. Vicent Sos Baynat, para su posterior conexión con las redes de riego existentes en los alrededores del raval universitari. Se ha previsto también conectar esta tubería de servicio con la tubería de impulsión en un par de puntos estratégicos mostrados en la misma Figura 58, para su posible alimentación por bombeo directo, como alternativa en caso necesario.



Figura 58. Tubería de servicio (en azul) paralela a la tubería de impulsión y puntos de conexión estratégicos

8.2.3. Tubería por gravedad por la Ronda Sur

Una vez llegue el caudal de agua regenerada al nuevo depósito de cota 73 m, el objetivo es distribuirla por gravedad a lo largo de la ronda Sur (sector industrial) y ronda Oeste, y también por el propio cauce del Río Seco mencionado en el subapartado anterior. El trazado para la tubería que recorre la ronda Sur se muestra en la Figura 59.

Un primer tramo debe llevar el agua hasta la rotonda en que se encuentran la ronda Sur con la Nacional 340. Este tramo apenas tiene desnivel, pero tampoco hay que suministrar agua de riego en su recorrido. A continuación, arranca el segundo tramo, ya con pendiente descendente. A partir de la cota 60 m se encuentra la Ciudad del Transporte y el Polígono Industrial, ambos potenciales usuarios del agua regenerada.

Más adelante, ya a partir de la cota 45 m, se encuentra la zona Salera, el segundo gran demandante de agua regenerada para este ramal. Más abajo aún se encuentra la zona de la Av. Valencia y la zona Censal. La propuesta es regar esta última directamente con el agua procedente del bombeo de la EDAR, por lo que la tubería de la ronda Sur terminaría por ahora en la zona Salera. No se descarta prolongarla en el futuro para regar la Av. Valencia.

Los caudales a transportar se estiman en 12 l/s en el primer tramo, hasta la rotonda del Arco de derrota, y 4 l/s a partir de ese punto, por lo que se considera adecuado

equipar el primer tramo con 200 mm y el segundo con 160 mm, todos ellos en PEAD, como se indica en la Figura 59.

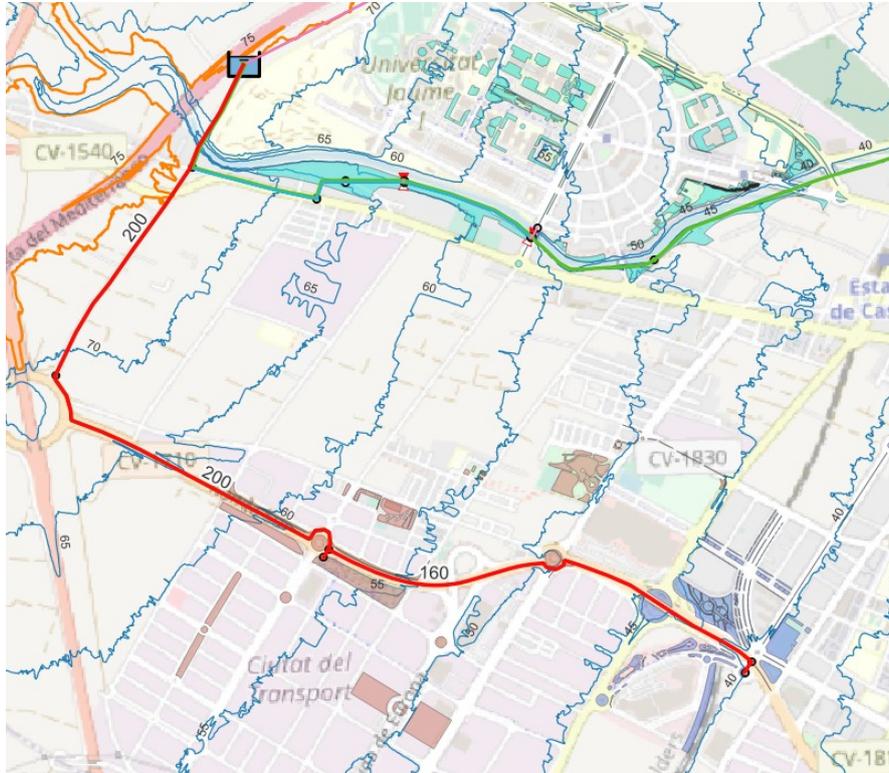


Figura 59. Trazado del tramo de tuberías de la ronda Sur alimentadas por gravedad desde el nuevo depósito UJI para abastecer las zonas industriales.

8.2.4. Tuberías en torno al depósito de Pont de Ferro alimentadas por el rebompeo auxiliar

En la Figura 60 se muestra el detalle de las tuberías y elementos hidráulicos ubicados en los alrededores del parque Pont de Ferro.



Figura 60. Detalle del trazado de tuberías, depósitos y válvulas en las inmediaciones de la EB de Pont de Ferro.

En total, para el riego de la zona de Río Seco y la zona del Ribalta se necesita 20,873 m³/h de agua regenerada, empleando solamente para este último unos 15,277 m³/h.

- **Tramo desde Avd. del Mar hasta cruce con camí d'Almalafa:** a la salida de la rotonda que intersecta la ronda de Circumvalación con la Av. del Mar se coloca una válvula de PRV para reducir la presión por debajo de 3 bar. Esta red de riego cuenta con un diámetro de 200 mm.
- **Tramo camí d'Almalafa hasta destinos:** para este tramo se ha dimensionado unas tuberías de menor diámetro pues se la red se va dividiendo en diferentes tramos para abastecer las demandas individuales de los parques, jardines y zonas verdes que esta recorre. Así pues, a partir de la intersección entre la ronda Este y el camí d'Almalafa se definen diámetros de tuberías de 75 mm (rotonda Avd. Chatellerault) y 63 mm (futuro parque en la Avd. Chatellerault) de PEAD permitiendo la circulación de las demandas identificadas en todos los casos.

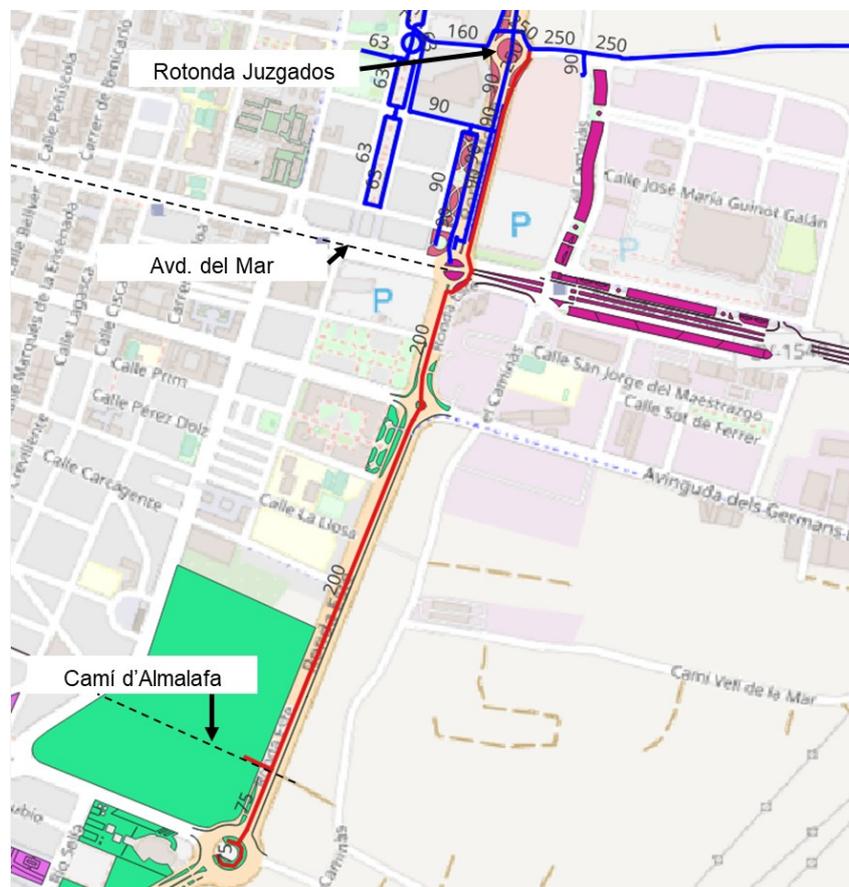


Figura 62. Trazado de la prolongación de la red de transporte para el riego con agua regenerada de la zona Este y el parque en la Avd. Chatellerault.

8.2.6. Derivación del camí Fondo hacia la Avd. del Mar

Para realizar el riego de las superficies ajardinadas de la Avd. del Mar se emplea la derivación existente en el camí Fondo a la altura del camí del Caminás. En la actualidad, ya existe una red de riego de 90 mm PEAD por lo que solamente se debería efectuar la conexión para poder regar la zona con agua regenerada. En la Figura 63 se presenta la red de riego de agua regenerada para abastecer la Avd. del Mar.

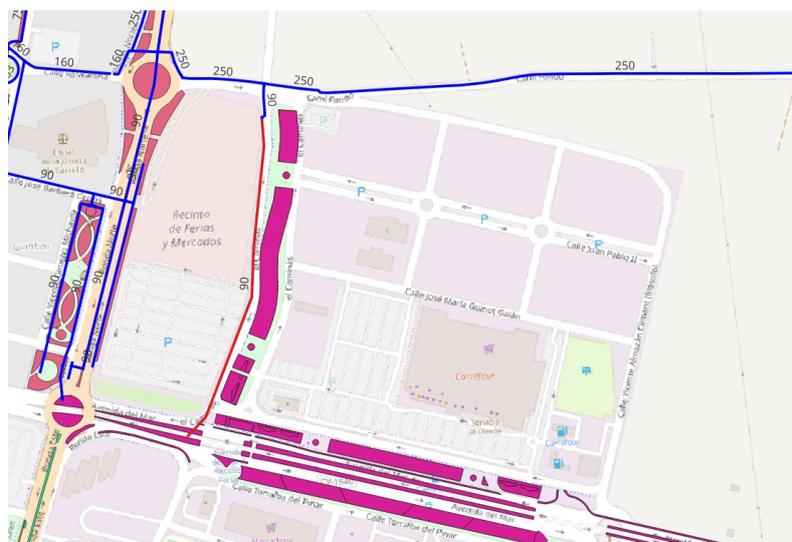


Figura 63. Derivación del trazado de la red de riego para las superficies ajardinadas a lo largo de la Avd. del Mar.

8.2.7. Prolongación de la tubería por Avd. Ferrandis Salvador

Con la nueva configuración en la EB de la EDAR se dispone de las tres bombas actuales en paralelo las cuales proporcionan un caudal máximo de 45 m³/h. No obstante, el consumo estimado para abastecer la zona del parque del Litoral y la Avd. Ferrandis Salvador es de alrededor de 13 m³/h por lo que solo se prevé funcionar con una bomba en marcha. Gran parte de este consumo estimado tiene como destino el parque del Litoral, utilizando solamente un 0,425 m³/h para el riego de las superficies ajardinadas a lo largo de la Avd. Ferrandis Salvador hasta su cruce con el camí la Ratlla. Así pues, a pesar de la baja demanda de agua en dicha zona, se selecciona un diámetro de 40 mm de PEAD por contar con una longitud mayor de 2,5 km. En la se presenta el detalle de la ampliación de la red de riego en el Grao de Castellón.

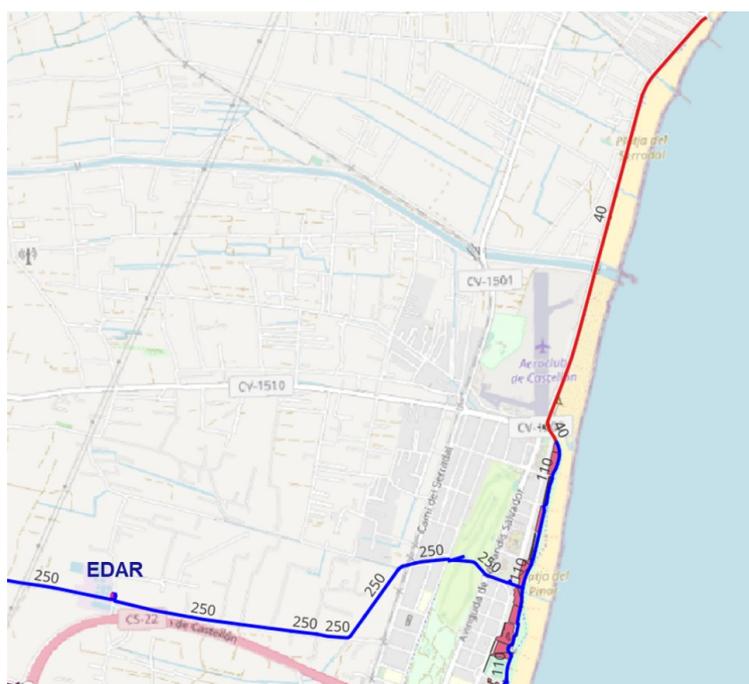


Figura 64. Ampliación del trazado de la red de riego del Grao de Castellón por la Avd. Ferrandis Salvador.



8.3. ANEXO 3: Precios descompuestos

M.L. Tubería de polietileno alta densidad PE 100		
<p>Tubería de polietileno alta densidad PE 100, con una presión de trabajo de 10 Kg/cm²., homologada, UNE-EN-12201, colocada en zanja sobre cama de arena de río de 10 cm. de espesor y recubrimiento del mismo material, incluso p. p. de elementos de unión, piezas especiales, anclajes y medios auxiliares, totalmente colocada y probada, según NTE IFA-13, sin incluir la excavación ni el relleno posterior de la zanja. Incluye cuadrilla (1 Of. 1ª + 2 Peón esp.), Tub. Polietileno 10 atm, arena de río silíceo (0-5mm) Pequeño material para instalaciones de abastecimiento %. C/indirectos y m. auxiliares. En la siguiente tabla se muestra el coste por metro lineal asociado a cada tubería en función de su diámetro incluyendo las partidas descritas.</p>	Diámetro	€ / m.l
	40 mm	3,53
	63 mm	7,34
	75 mm	9,13
	90 mm	12,37
	110 mm	17,4
	125 mm	21,42
	160 mm	31,56
200 mm	44,53	
250 mm	63,19	
UD. M³ Excavación zanja para tubería		
<p>M³ Excavación manual o con retroexcavadora, en cualquier tipo de terreno, en apertura de zanjas y pozos en zonas urbanas o urbanizadas, para renovación de redes de abastecimiento, saneamiento e instalación de canalizaciones de alumbrado, telefonía y otros servicios, incluso agotamiento de agua, catas para localización de canalizaciones existentes, carga y transporte de los productos de la excavación a vertedero o lugar de empleo y m. auxiliares. Incluye Cuadrilla tipo (1 Ot la + 2 Peón esp.) Retroexcavadora mixta Grupo con motobomba sumergible hasta 10 CV Camión dumper 3 ejes 10 M3 %. C/indirectos y m. auxiliares.</p>	18,85 €	
UD. M³ Relleno localizado de zanjas con áridos tamaño		
<p>Relleno localizado de zanjas con áridos tamaño 40/80 mm procedentes de reciclado de hormigón, incluso extendido, humectación, compactación en capas de menos de 20 cm. de espesor, con un grado de compactación del 98 % del Próctor modificado y m. auxiliares. Incluye Cuadrilla tipo (1 Of. 1ª + 2 Peon esp.), equipo completo con cuba de riego Dumper de obra 1 m³, Retroexcavadora mixta Pisón compactador gasolina Material reciclado de hormigón 40/80 mm a pie de obra %. C/indirectos y m. auxiliares. C/indirectos y m. auxiliares.</p>	23,92	
UD. Válvula reductora presión DN250 PN16		
<p>Válvula reductora presión pistón DN250 PN16 A040801001 Ud Válvula reductora de presión DN 250, PN 16, pilotada, de pistón, incluyendo tornillería de acero inoxidable, juntas de bridas, elastómeros de estanquidad, elementos de medición y pilotos de regulación. Con instalación y pruebas. Incluye Oficial de primera, Oficial de 2º. C/indirectos y m. auxiliares.</p>	17.256 €	
UD. Válvula de compuerta de asiento elástico en PN10/16		
<p>Válvula de compuerta de asiento elástico en PN10/16 con unión mediante bridas y orificios según UNE-EN 1092-2 con distancia entre ellas según serie 14 según UNE EN 558-1, con cuerpo, tapa y compuerta en fundición dúctil EN-GJS-500 (GGG-50), eje de acero inoxidable, con recubrimiento en pintura epoxi, tornillos en acero inoxidable incluso juntas elastoméricas de estanqueidad y volante de maniobra. Totalmente instalada y probada hidráulicamente según UNE EN 1074 y EN 12266. Incluye Oficial 1º. C/indirectos y m. auxiliares.</p>	Diámetro	€ / m.l
	80 mm	268,46 €
	200 mm	782,53 €
	250 mm	1.905,37 €
UD. Equipo de presión, compuesto por 3 bombas centrífugas multicelulares de eje vertical		
<p>Ud. Equipo de presión, compuesto por 3 bombas (dos de servicio + una de reserva) centrífugas multicelulares de eje vertical capaces de bombear 60 l/s de agua a 55 m.c.a., con potencia nominal de 41,33 kW a 380 V. en conexionado estrella-triángulo, incluso zócalo de soporte, bancada de anclaje, acoplamientos hidráulicos, colector de aspiración y de impulsión en acero galvanizado, válvulas de corte de compuerta, válvulas de retención, conexionado a cuadro eléctrico, totalmente conexionado y puesto en servicio y probado.</p>	65.487 €	
UD. Equipo de presión, compuesto por 3 bombas centrífugas multicelulares de eje vertical		
<p>Ud. Equipo de presión, compuesto por 3 bombas (dos de servicio + una de reserva) centrífugas multicelulares de eje vertical capaces de bombear 30 l/s de agua a 55 m.c.a., con potencia nominal de 22,5 kW a 380 V. en conexionado estrella-triángulo, incluso zócalo de soporte,</p>	98.625 €	

bancada de anclaje, acoplamientos hidráulicos, colector de aspiración y de impulsión en acero galvanizado, válvulas de corte de compuerta, válvulas de retención, conexionado a cuadro eléctrico, totalmente conexionado y puesto en servicio y probado.	
UD. Equipo de presión, compuesto por 2 bombas centrífugas multicelulares de eje vertical,	
Ud. Equipo de presión, compuesto por 2 bombas centrífugas multicelulares de eje vertical, capaces de bombear 6 l/s. de agua a 37 m.c.a., con potencia nominal de 3,1 kW a 380 V. en conexionado estrella-triángulo, incluso zócalo de soporte, bancada de anclaje, acoplamientos hidráulicos, colector de aspiración y de impulsión en acero galvanizado, válvulas de corte de compuerta, válvulas de retención, conexionado a cuadro eléctrico, totalmente conexionado y puesto en servicio y probado.	19.184 €
UD. Depósito regulador de 500 m³ para abastecimiento de agua regenerada a red de riego	
Depósito regulador de 500 m ³ . de capacidad, para abastecimiento de agua regenerada a red de riego de zonas verdes, ejecutado in situ mediante estructura de hormigón armado HA-30/P/20 l y armadura de 60 kg/m ³ , impermeabilización de cubierta mediante lámina asfáltica, impermeabilización de paramentos interiores del vaso mediante revestimiento elástico, caseta de válvulas., realizada mediante fábrica de bloques de hormigón gris enfoscada fratasada, y pintura acrílica plástica en todos los paramentos exteriores, excepto valvulería y obras de conexión a la red.	85.967 €
UD. Sistema de tratamiento terciario para agua residual mediante membranas de ultrafiltración	
Sistema de tratamiento terciario para agua residual decantada mediante membranas de ultrafiltración con las siguientes especificaciones: Caudal diario de diseño: 250 m ³ /h. El sistema está compuesto por: 1 unidad de módulo compacto montado sobre un bastidor de dimensiones. Este módulo incluye una línea de filtración con módulos de membrana diseñados para producir 250 m ³ /h de agua ultrafiltrada con un tamaño nominal de poro de 0,034 micras. Módulos de membrana de ultrafiltración tipo ZeeWeed 500 o similar. Estos módulos son de fibra hueca, no iónica e hidrófila, con un diámetro nominal de poro de 0,034 micras. Son sumergidos en un tanque rectangular fabricado en AISI 316 L con el equipo de montaje de la membrana. 1 bomba centrífuga de contralavado, junto con válvulas y conducciones asociadas. 1 bomba centrífuga de permeado, con válvulas y conducciones asociadas. Tanque de contralavado con capacidad construido en PE. Soplante de aire, completo con válvulas y conducciones asociadas. Panel de control de proceso junto con un Centro de Control de Motores (CCM) para operar el sistema de ultrafiltración, así como el cableado necesario entre el panel y los diferentes motores e instrumentación del módulo. Servicios de transporte, montaje y mantenimiento preventivo.	950.000 €
UD. Filtro de carbón activo	
Filtro de carbón activo, fabricado con resinas de poliéster de uso alimentario reforzado con fibra de vidrio, de diámetro 1,6 m, y 2,5 m de altura, con 2 metros de altura de lecho de carbón activo, para presión de trabajo de 6 kg/cm ² , velocidad de filtración de 50 m ³ /h/m ² . y caudal de 61 m ³ /h., incluido frente de válvulas equipado con manómetro, purga de aire, tapa de registro en ABS, tapón para vaciado de arena y agua, racordaje interior, boca de descarga de 4", kit de crepinas superiores e inferiores, con soporte, montado y probado. Se incluye el carbón activo instalado y lavado. Incluye oficial de primero y ayudante. Servicios de transporte, montaje y mantenimiento preventivo.	34.200 €

8.4. ANEXO 4: Coste tuberías por fases, tipo de redes, diámetros y longitudes

A continuación, se detallan las características técnicas y coste total de las tuberías según las fases de ejecución.

Fase 0:

ID Tub	L (m)	DN	Descripción	Coste €/m.l	Total Tub. €
P1551	3,26	250	Cambio EB EDAR	63,19	206,00 €
P15551	3,45	250	Cambio EB EDAR	63,19	218,26 €
P15542	3,49	250	Cambio EB EDAR	63,19	220,79 €
P15541	3,69	250	Cambio EB EDAR	63,19	232,86 €
P15531	4,22	250	Cambio EB EDAR	63,19	266,72 €
P15532	4,32	250	Cambio EB EDAR	63,19	273,23 €
P15533	5,30	250	Cambio EB EDAR	63,19	334,65 €
P15543	5,62	250	Cambio EB EDAR	63,19	355,13 €
P15521	5,69	250	Cambio EB EDAR	63,19	359,42 €
P1553	6,61	250	Cambio EB EDAR	63,19	417,62 €
P1554	6,90	250	Cambio EB EDAR	63,19	436,01 €
P1552	6,96	250	Cambio EB EDAR	63,19	439,49 €
P18563	9,59	250	Cambio EB EDAR	63,19	512,34 €
P18693	11,01	250	Cambio EB EDAR	63,19	549,56 €
P18691	11,32	250	Cambio EB EDAR	63,19	585,71 €
P18562	17,02	250	Cambio EB EDAR	63,19	651,62 €
P1856	17,04	250	Cambio EB EDAR	63,19	206,00 €
TOTAL					6.059,42 €

Fase 1:

ID Tub	L (m)	DN	Descripción	Coste €/m.l	Total Tub. €
P1559	122,11	40	Avd. Ferrandis Salvador	3,53	431,06 €
P1560	2.643,25	40	Avd. Ferrandis Salvador	3,53	9.330,67 €
TOTAL					9.761,73 €

Fase 2:

ID Tub	L (m)	DN	Descripción	Coste €/m.l	Total Tub. €
P1824	17,420	63	Red hasta Ribalta	7,34	127,86 €
P1821	420,945	63	Red hasta Ribalta	7,34	3.089,74 €
P1906	14,999	90	Red hasta Ribalta	12,37	185,54€
SalReb_Ribalta	16,684	90	Red hasta Ribalta	12,37	206,38 €
P1822	818,399	90	Red hasta Ribalta	12,37	10.123,60 €
SalReb_DepUJI_SPL1	1,417	200	Red hasta Pont de Ferro	44,53	63,10 €
P189261	1,882	200	Red hasta Pont de Ferro	44,53	83,81 €
P18926	2,225	200	Red hasta Pont de Ferro	44,53	99,08 €
P189241	2,851	200	Red hasta Pont de Ferro	44,53	126,96 €
P189251	2,906	200	Red hasta Pont de Ferro	44,53	129,40 €
P18924	3,069	200	Red hasta Pont de Ferro	44,53	136,66 €
P18925	3,309	200	Red hasta Pont de Ferro	44,53	147,35 €
P189264_SPL3_V1	5,378	200	Red hasta Pont de Ferro	44,53	239,48 €
P189279	5,874	200	Red hasta Pont de Ferro	44,53	261,57 €
P1911	6,265	200	Red hasta Pont de Ferro	44,53	278,98 €
P1892	7,037	200	Red hasta Pont de Ferro	44,53	313,36 €
P189264_SPL3_V2	12,279	200	Red hasta Pont de Ferro	44,53	546,78 €
P189278	3,639	250	Red hasta Pont de Ferro	63,19	229,95 €
EntBomb_EDAR_SPL2	5,140	250	Red hasta Pont de Ferro	63,19	324,80 €
P1891	5,652	250	Red hasta Pont de Ferro	63,19	357,15 €
P189264_SPL1	1.231,206	250	Red hasta Pont de Ferro	63,19	77.799,91 €
TOTAL					94.871,44 €

Fase 3:

ID Tub	L (m)	DN	Descripción	Coste €/m.l	Total Tub. €
P189270_V2_3_V1	3,052	90	Red Pont de Ferro hasta UJI Sos Baynat	12,37	37,75 €
P189270_V2_3_V2	3,905	90	Red Pont de Ferro hasta UJI Sos Baynat	12,37	48,30 €
P189271	45,352	90	Red Pont de Ferro hasta UJI Sos Baynat	12,37	561,00 €
P189263_SPL3	5,113	200	Red Pont de Ferro hasta UJI Sos Baynat	44,53	227,68 €
P189263_SPL1	484,327	200	Red Pont de Ferro hasta UJI Sos Baynat	44,53	21.567,08 €
P189264_SPL5	1785,761	200	Red Pont de Ferro hasta UJI Sos Baynat	44,53	79.519,94 €
TOTAL					101.961,76 €



Fase 4:

ID Tub	L (m)	DN	Descripción	Coste €/m.l	Total Tub. €
P189273_V2	3,377	90	Red UJI Sos Baynat hasta camino cuadra Natora	12,37	41,77 €
P189266_SPL4	146,734	125	Red UJI Sos Baynat hasta camino cuadra Natora	21,42	3.143,04 €
P189266_SPL4_20DP	204,580	125	Red UJI Sos Baynat hasta camino cuadra Natora	21,42	4.382,10 €
P189268_SPL1	464,154	125	Red UJI Sos Baynat hasta camino cuadra Natora	21,42	9.942,18 €
P189266_SPL2	495,741	125	Red UJI Sos Baynat hasta camino cuadra Natora	21,42	10.618,77 €
P189273_V1	3,561	200	Red UJI Sos Baynat hasta camino cuadra Natora	44,53	158,57 €
P189263_SPL1_MO28_SPL2	149,039	200	Red UJI Sos Baynat hasta camino cuadra Natora	44,53	6.636,71 €
P189263_SPL1_MO28_SPL1	204,565	200	Red UJI Sos Baynat hasta camino cuadra Natora	44,53	9.109,28 €
P189263_SPL1_X520_SPL1	457,349	200	Red UJI Sos Baynat hasta camino cuadra Natora	44,53	20.365,75 €
P189263_SPL5	503,769	200	Red UJI Sos Baynat hasta camino cuadra Natora	44,53	22.432,83 €
TOTAL					86.831,01 €

Fase 5:

ID Tub	L (m)	DN	Descripción	Coste €/m.l	Total Tub. €
P1786	17,413	90	Red ronda	12,37	215,40 €
P17821	18,716	90	Red ronda	12,37	231,52 €
P1782	904,569	90	Red ronda	12,37	11.189,52 €
P1785	97,019	110	Red ronda	17,4	1.688,13 €
P189268_SPL2	416,227	125	Red ronda	21,42	8.915,58 €
P189276	5,514	200	Red ronda	44,53	245,54 €
P1909	7,931	200	Red ronda	44,53	353,17 €
P189269	411,823	200	Red ronda	44,53	18.338,48 €
P1777	1.308,868	200	Red ronda	44,53	58.283,89 €
TOTAL					99.461,22 €

Fase 6:

ID Tub	L (m)	DN	Descripción	Coste €/m.l	Total Tub. €
P1781	32,868	75	Industrial	9,13	300,08 €
P1780	44,173	75	Industrial	9,13	403,30 €
P17772	1.672,292	160	Industrial	31,56	52.777,54 €
P17773	1.282,093	200	Industrial	44,53	57.091,60 €
TOTAL					110.572,52 €

Fase 7:

ID Tub	L (m)	DN	Descripción	Coste €/m.l	Total Tub. €
P1835	15,816	63	Zona ronda Este	7,34	116,09 €
P18351	34,724	63	Zona ronda Este	7,34	254,87 €
P1830	17,253	75	Zona ronda Este	9,13	157,52 €
P18292	84,538	75	Zona ronda Este	9,13	771,83 €
P18291	146,134	75	Zona ronda Este	9,13	1.334,20 €
P1828	36,878	200	Zona ronda Este	44,53	1.642,18 €
P18281	233,587	200	Zona ronda Este	44,53	10.401,63 €
P1829	718,358	200	Zona ronda Este	44,53	31.988,48 €
P1827	418,133	250	Zona ronda Este	63,19	26.421,82 €
TOTAL					73.088,63 €

8.5. ANEXO 5: Detalle de inversiones por fase

FASE 0

Descripción:

Esta fase previa se centra en la implantación de las tuberías adicionales y la separación de la EB de la EDAR en dos ramales con la adición de las 3 bombas centrífugas (2B + 1R) para la impulsión del tramo EDAR-centro urbano Castellón y las dos bombas centrífugas (1B+1R) del tramo EDAR-Grao Castellón.

Inversiones:

Tuberías fase 0	8.672,1 €
Obra civil fase 0	4.930,5 €
V.Reg/V.Ais/Bombeo/Depósitos	65.487,0 €
Inversión Fase 0	79.089,6 €
Inversión Total Fase 0 (% GG, BI, IVA)	110.725,4 €

ml fase 0	137,2
Inversión por m.l	806,8 €
Demandas fase 0 (m3/año)	0,00
Inversión por m3	0,0 €

Resumen:

110.725,4 €
Inversión total

137,2 m. l.
tuberías

2B + 1R
Bombeo cabecera a centro CS

1B + 1R
Bombeo cabecera a Grao



FASE 1

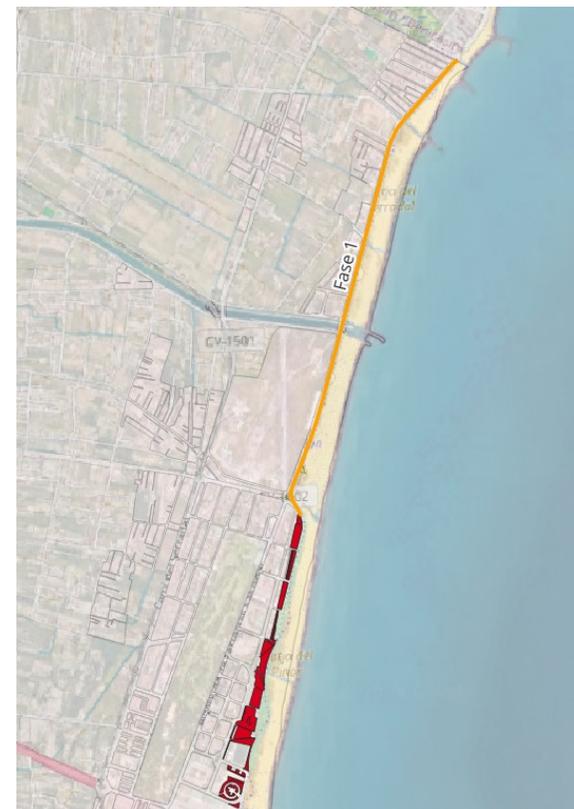
Descripción:

La ejecución de esta fase se centra en la ampliación de la red de riego del parque del Litoral hasta la Avd. Ferrandis Salvador.

Inversiones:

Tuberías 1a fase	9.761,7 €
Obra civil 1a fase	99.350,7 €
V.Reg/V.Ais/Bombeo/Depósitos	0,0 €
Inversión Fase 1	109.112,4 €
Inversión Total Fase 1 (% GG, BI, IVA)	152.757,4 €

ml 1a fase	2.765,4
Inversión por m.l	55,2 €
Demandas 1a fase (m3/año)	1.086,81
Inversión por m3	140,6 €



Resumen:

152.757,4 €
Inversión total

2.765,4 m. l.
tuberías

140,6 €/m3

0,18%
riego parques y jardines municipales

FASE 2

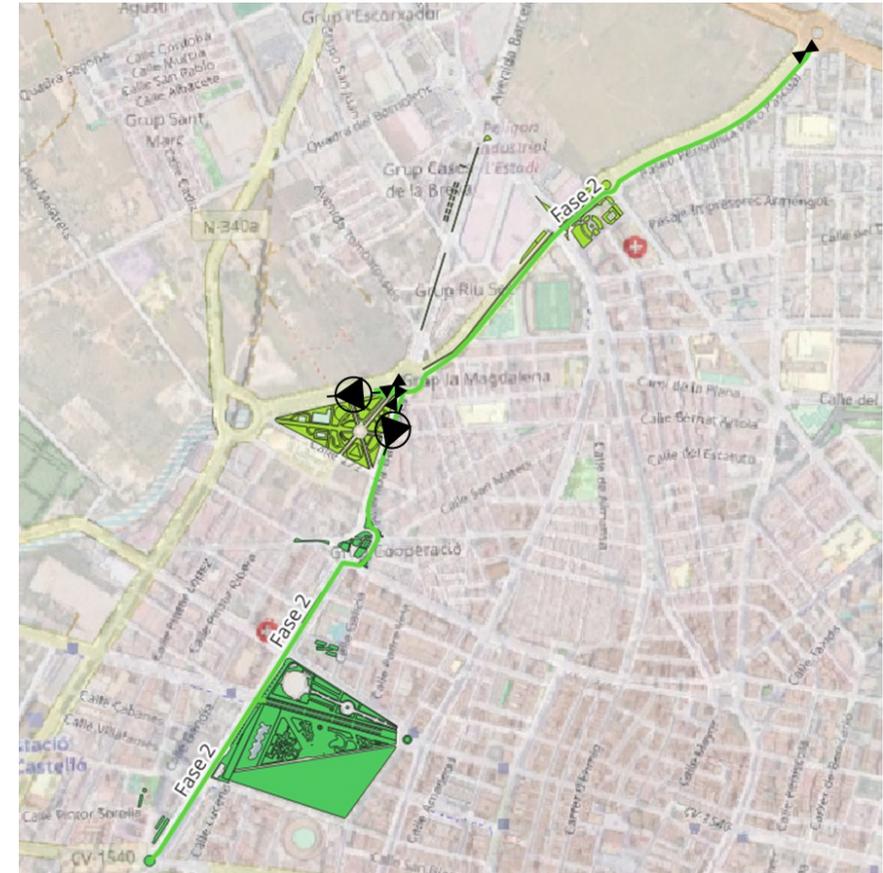
Descripción:

A lo largo de esta fase se realiza la construcción de la red de transporte desde la rotonda de los Caballos Solidarios hasta el parque Pont de Ferro, así como la red de distribución y riego desde dicho parque hasta el Ribalta. Además, durante la 2ª fase se lleva a cabo la instalación de la EB en el parque Pont de Ferro que integrará el bombeo intermedio, el depósito ya existente y una pequeña bomba para abastecer la zona del Ribalta. En la red de la fase 2 también se añaden tres válvulas de tipo compuerta para habilitar/deshabilitar el riego de las zonas.

Inversiones:

Tuberías 2a fase	94.871,4 €
Obra civil 2a fase	92.999,3 €
V.Reg/V.Ais/Bombeo/Depósitos	120.765,4 €
Inversión Fase 2	308.636,1 €
Inversión Total Fase 2 (% GG, BI, IVA)	432.090,5 €

ml 2a fase	2.588,6
Inversión por m.l	166,9 €
Demandas 2a fase (m³/año)	53.330,70
Inversión por m³	8,1 €



Resumen:

432.090,5 €
Inversión total

2.588,6 m. l.
tuberías

8,1 €/m³

8,67%
riego parques y jardines municipales

FASE 3

Descripción:

En esta fase se realiza la ampliación de la red de transporte desde el parque Pont de Ferro hasta la intersección con la Avd. Vicent Sos Baynat donde comienza la red de riego para abastecer el consumo de la zona UJI. En esta fase se añade una válvula de compuerta para habilitar/deshabilitar el riego de los alrededores de la UJI.

Inversiones:

Tuberías 3a fase	101.961,8 €
Obra civil 3a fase	83.620,0 €
V.Reg/V.Ais/Bombeo/Depósitos	268,5 €
Inversión Fase 3	185.850,2 €
Inversión Total Fase 3 (% GG, BI, IVA)	260.190,3 €

ml 3a fase	2.327,5
Inversión por m.l	111,8 €
Demandas 3a fase (m ³ /año)	95.195,07
Inversión por m ³	2,7 €



Resumen:

260.190,3 €
Inversión total

2.327,5 m. l.
tuberías

2,7 €/m³

15,47%
riego parques y jardines municipales

FASE 4

Descripción:

En la fase 4 se continua con la prolongación de la red de transporte de la UJI construida en la fase anterior hasta el cruce de la Avd. de Alcora con el camino cuadra Natora. En esta fase se añade otra válvula de compuerta para habilitar/deshabilitar el riego de los alrededores de la UJI.

Inversiones:

Tuberías 4a fase	86.831,0 €
Obra civil 4a fase	94.590,6 €
V.Reg/V.Ais/Bombeo/Depósitos	268,5 €
Inversión Fase 4	181.690,0 €
Inversión Total Fase 4 (% GG, BI, IVA)	254.366,0 €

ml 4a fase	2.632,9
Inversión por m.l	96,6 €
Demandas 4a fase (m ³ /año)	0,00
Inversión por m ³	0,00 €



Resumen:

254.366,0 €
Inversión total

2.632,9 m. l.
tuberías

FASE 5

Descripción:

Esta fase se centra en la ampliación de la red de agua regenerada desde la Avd. de Alcora por toda la ronda hasta la CV-1520 y la otra prolongación de la red hasta el inicio de la ronda sur. La fase 5 requiere la construcción del depósito de 500 m³, así como otras dos válvulas de compuerta.

Inversiones:

Tuberías 5a fase	99.461,2 €
Obra civil 5a fase	114.537,5 €
V.Reg/V.Ais/Bombeo	65.487,0 €
Inversión Fase 5	279.485,7 €
Inversión Total Fase 5 (%GG, BI, IVA)	391.280,0 €

ml 5a fase	3.188,1
Inversión por m.l	122,7 €
Demandas 5a fase (m ³ /año)	8.216,98
Inversión por m ³	47,62 €



Resumen:

391.280,0 €
Inversión total

3.188,1 m. l.
tuberías

47,62 €/m³

16,18%
riego parques y jardines municipales

FASE 6

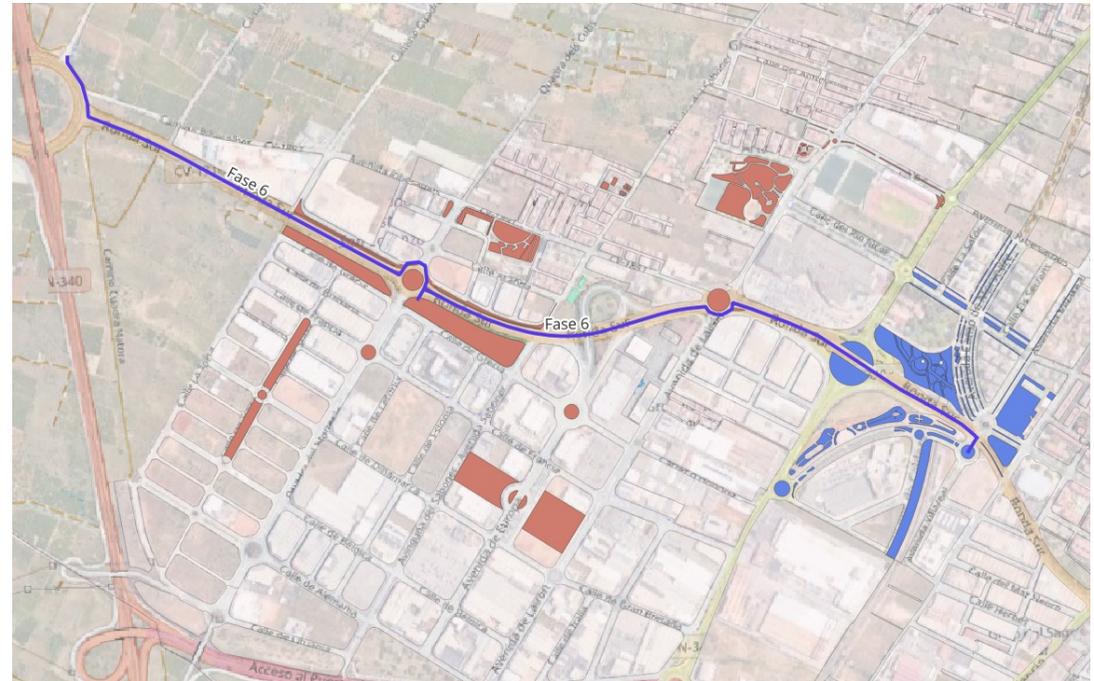
Descripción:

En la fase 6 se implementan las redes que abastecen las áreas industriales de la ciudad, es decir, la zona Ciudad de Transporte y la zona Salera. Esta fase no necesita ningún elemento hidráulico adicional.

Inversiones:

Tuberías 6a fase	110.572,5 €
Obra civil 6a fase	108.909,4 €
V.Reg/V.Ais/Bombeo	0,0 €
Inversion Fase 6	219.482,0 €
Inversión Total Fase 6 (%GG, BI, IVA)	307.274,7 €

ml 6a fase	3.031,4
Inversión por m.l	101,4 €
Demandas 6a fase (m ³ /año)	99.523,09
Inversión por m ³	3,09 €



Resumen:

307.274,7 €
Inversión total

3.031,4 m. l.
tuberías

3,09 €/m³

16,18%
riego parques y jardines municipales

FASE 7

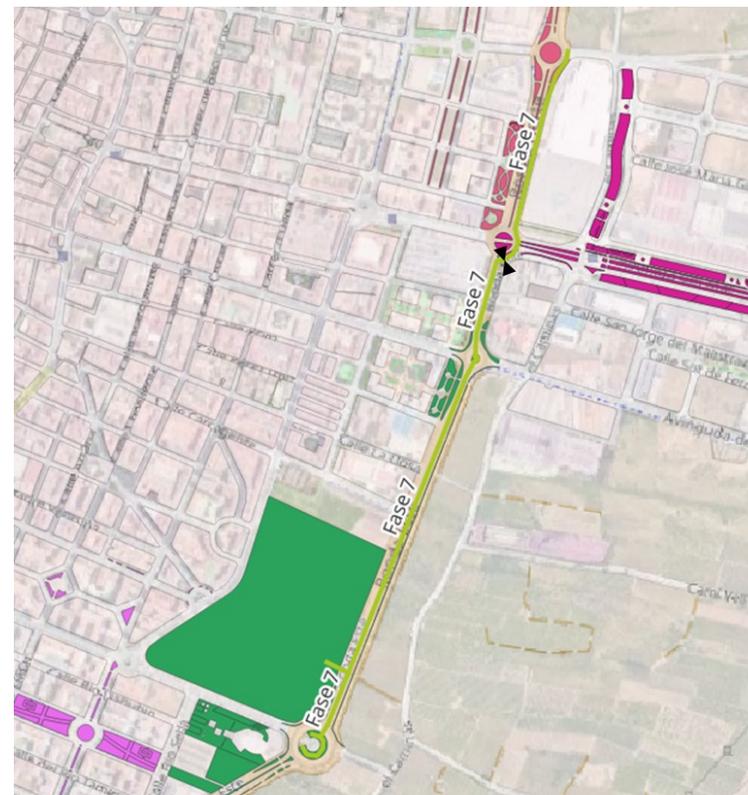
Descripción:

Esta fase se ejecuta tiene como objetivo la construcción de la red de transporte para abastecer con agua regenerada la zona de la ronda Este y futuro parque de la Avd. Chatellerault. En esta fase se añade como elemento hidráulico adicional a la red una válvula PRV para asegurar una presión menor de 3 bar a la salida de la red de transporte.

Inversiones:

Tuberías 7a fase	73.088,6 €
Obra civil 7a fase	61.270,3 €
V.Reg/V.Ais/Bombeo	17.256,0 €
Inversión Fase 7	151.615,0 €
Inversión Total Fase 0 (%GG, BI, IVA)	212.260,9 €

ml 7a fase	1.705,4
Inversión por m.l	124,5 €
Demandas 7a fase (m ³ /año)	80.445,20
Inversión por m ³	2,64 €



Resumen:

212.260,9 €
 Inversión total

1.705,4 m. l.
 tuberías

2,64 €/m³

13,08%
 riego parques y jardines municipales



**Ayuntamiento
de Castellón**



Dirección
de Servicios Urbanos
Infraestructuras
y Medio Ambiente