

**Estudio comparativo del consumo energético y
huella de carbono producida por la depuración de
aguas residuales mediante EDAR frente a la
utilización de humedales artificiales, en la cuenca
de Carraixet, València España**

Mestrado em Energia da Energia e do Ambiente

Angelica Lucia Buitrago Coca

Leiria, junio de 2022



Estudio comparativo del consumo energético y huella de carbono producida por la depuración de aguas residuales mediante EDAR frente a la utilización de humedales artificiales, en la cuenca de Carraixet, València España.

Maestría en Ingeniería de la Energía y el Ambiente

Angélica Lucia Buitrago Coca

Proyecto de Maestría realizada con la orientación de la Doctora Sandra Mourato, Profesora de la Escuela Superior de Tecnología y Gestión del Politécnico de Leiria, el Doctor Vicent Benedito Durá y la Doctora Carmen Hernandez Crespo profesores del Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Escuela Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de la Universidad Politécnica de València, España.

Leiria, junio de 2022

Originalidad y Derechos de Autor

El presente informe de proyecto es original, elaborado únicamente para este fin, habiendo sido debidamente citados todos los autores cuyos estudios y publicaciones contribuyeron para su elaboración.

Reproducciones parciales de este documento serán autorizadas en la condición de que sea mencionada la autora y hecha referencia al ciclo de estudios en el que se realizó, a saber, Curso de Maestría en Ingeniería de la Energía y el Ambiente, en el año lectivo 2020/2022, de la Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Politécnico de Leiria, Portugal, y, así, en la fecha de las pruebas públicas que tuvieron por objeto la evaluación de estos trabajos.

Dedicatoria

“Si tú no emigraste, emigró tu padre, y si tu padre no necesitó mudar de sitio fue porque tu abuelo, antes que él, no tuvo otro remedio que irse, cargando la vida sobre sus espaldas, en busca del pan que su tierra le negaba.” – José Saramago.

Dedicado a mi hermana quien con su amor ha orientado gran parte de mi vida, a mi hermano quien trajo a mí una nueva motivación para vivir, a mis padres que siempre han estado conmigo, a todos los que han derramado una lagrima por ver a quien aman partir, a los que queriendo o no han salido de su hogar con la ilusión de mejores oportunidades y a un gobierno ausente que no ofrece oportunidades para cultivar en su país el talento de su tierra.

Agradecimientos

Agradezco a todos los que han sido parte de este proceso y en él me han acompañado, un agradecimiento muy especial a Vicent Benedito y Sandra Mourato; siempre he considerado que los profesores pueden cambiar vidas al sembrar ideas en sus estudiantes que cambian nuestra forma de pensar y ver el mundo, les agradezco inmensamente porque además de considerarme afortunada al tenerlos como tutores, ustedes han sido también mi apoyo, motivación y han orientado este estudio de manera tan apacible que da muestra de lo valiosos que son como seres humanos, generando aportes para cambios positivos en nuestro paso por la tierra. Así mismo agradezco a Eduardo Batalha quien nunca dejó de sorprenderme por su compromiso con su trabajo donde denota sin lugar a dudas que, así como es su trabajo, es también una mano amiga para muchos de los estudiantes internacionales que encontramos en él siempre una alternativa sin importar cuál sea el panorama.

De igual forma damos las gracias a al EPSAR (Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales de la Comunidad Valenciana), ayuntamiento de Moncada y ayuntamiento de Bétera por facilitarnos información para el desarrollo de este trabajo.

Finalmente agradezco a la selva, a las comunidades rurales y a los líderes ambientales quienes son parte de mi vida e inspiración por aprender, entender, compartir y aportar.

Resumen

El presente trabajo se centra en la valoración del consumo energético de la depuración de aguas residuales mediante dos propuestas, las EDAR convencionales, y por otra parte soluciones basadas en la naturaleza como son los humedales artificiales.

No obstante, se contextualizó la temática de la depuración de aguas dentro del territorio, de manera que además de los aspectos estrictamente energéticos, se ha valorado que en la depuración de las aguas residuales hay también otros aspectos que tienen relevancia ecológica y que merecen consideración. Así la depuración mediante humedales artificiales constituye una alternativa a las EDAR, que además mejora la biodiversidad y contribuya con la fijación de Carbono.

Este estudio se ha realizado en poblaciones de la zona norte de València, en el entorno territorial del Barranco de Carraixet, que es una rambla mediterránea de curso intermitente en un territorio, con una intensa actividad agrícola. El estudio se centró en la depuración de las aguas residuales de las poblaciones de Bétera, Moncada del área metropolitana de València. En la selección de las poblaciones se consideró que existieran redes de colectores de recogida de aguas residuales hasta las depuradoras.

Se compararon los consumos energéticos de la depuración de las aguas residuales para un habitante equivalente de estas localidades, mediante las EDAR actuales y por medio de la propuesta de depuración mediante humedales artificiales proyectados en los puntos de producción del agua residual.

En la actualidad, de manera prácticamente generalizada, el tratamiento de agua residual es realizado mediante EDAR, tanto en municipios pequeños como grandes. Las necesidades energéticas anuales de la red de suministro para el tratamiento con EDAR fueron evaluados teniendo en cuenta los consumos de la planta y los consumos de las estaciones de bombeo de agua residual – EBAR.

Los resultados del consumo energético de la red para Moncada fueron entre 12 kWh/hab eq año y 15,5 kWh/hab eq año, siendo que en Bétera el consumo es entre 31,1 kWh/hab eq año a 29,7 kWh/hab eq año. En relación al consumo total considerado como la energía de suministro por la red y por los mecanismos de producción como lo son cogeneración en la EDAR Cuenca del Carraixet y placas solares en la EDAR Bétera los resultados son entre 32,3 kWh/hab eq año y 28,9 kWh/hab eq año en los núcleos de Moncada y 33,6 kWh/hab eq año a 35 kWh/hab eq año en Bétera.

La propuesta alternativa a las EDAR fue la de sistemas de humedales artificiales de tipo Francés para los Municipios de Moncada y Bétera en zonas urbanas que se encuentran conectadas a las depuradoras mediante sistemas de colectores con bombeos. La exigencia energética para el funcionamiento de HAFSSV Francés es básicamente la necesaria para el

sistema de bombeo, para el que se calculó un consumo anual entre 0,1 kWh/hab eq año hasta 1,6 kWh/hab eq año en los diferentes humedales.

A partir de la energía necesaria en la depuración, la huella de Carbono depende del factor de emisión de la comercializadora que suministra la energía. Para el caso de tratamiento mediante EDAR se calcula un total de 227,1 ton CO₂/año para el conjunto de núcleos poblacionales estudiados y 0,84 kg CO₂/año para el sistema de humedales en caso de ser suministrados por la misma comercializadora de electricidad para el bombeo. Los humedales artificiales seleccionados son de tipo Francés, dado que en su sistema no se implementa tanque Imhoff para el tratamiento primario el cual genera emisiones de gases de efecto invernadero, lo que permite que este tipo de humedales actúe como sumidero de Carbono.

Este trabajo constituye una reflexión sobre el hecho de que implementar un sistema de humedales artificiales a lo largo de la cuenca del Barranco del Carraixet para los diversos núcleos de población contribuiría a mejorar ecológicamente este entorno territorial de diversas maneras:

- El tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales permitiría la depuración in situ, con menores costes energéticos.
- No sería necesario construir sistemas de colectores.
- Permitiría la reutilización in situ del agua regenerada y/o verterla al cauce del barranco para su renaturalización.
- Los propios humedales artificiales construidos como la revegetación en el barranco incrementarían la fijación de carbono y mejorarían la biodiversidad y adicionalmente favorecería el papel de corredor ecológico del barranco en un territorio en el que es el único ecosistema natural que queda.

Palabras clave: Tratamiento de agua residual, consumo energético, huella de carbono, humedales artificiales.

Abstract

The present work focuses on the assessment of the energy consumption of wastewater treatment through two proposals, the conventional WWTP, and on the other hand, solutions based on nature such as artificial wetlands.

However, the theme of water treatment within the territory was contextualized, so that in addition to the strict energy aspects, it has been valued that in the treatment of wastewater other aspects have ecological relevance and that deserve consideration. Thus, purification through artificial wetlands constitutes an alternative to WWTPs, which also improves biodiversity and contributes to carbon fixation.

This study has been carried out in towns in the northern area of Valencia, in the territorial environment of the Carraixet, which is an intermittent Mediterranean ravine in a territory with intense agricultural activity. The study focused on the purification of wastewater from the towns of Bétera, Moncada in the metropolitan area of Valencia. In the selection of the populations, it was considered that there were networks of collectors for collecting wastewater up to the treatment plants.

The energy consumption of wastewater treatment for an equivalent inhabitant of these localities was compared, through the current WWTP and the proposed treatment through artificial wetlands projected at the wastewater production points.

At present, in a practically generalized way, wastewater treatment is carried out using WWTP, both in small and large municipalities. The annual energy needs of the supply network for treatment with WWTP were evaluated taking into account the consumption of the plant and the consumption of the wastewater pumping stations - EBAR.

The results of the energy consumption of the network for Moncada were between 12 kWh/inhabitant eq year and 15.5 kWh/inhabitant eq year, while in Bétera the consumption is between 31.1 kWh/inhabitant eq year to 29.7 kWh/inhab eq year. About the total consumption considered as the energy supplied by the network and by production mechanisms such as cogeneration in the Cuenca del Carraixet WWTP and solar panels in the Bétera WWTP, the results are between 32.3 kWh/inhabitant eq year and 28.9 kWh/inhabitant eq year in the Moncada nuclei and 33.6 kWh/inhabitant eq year to 35 kWh/inhabitant eq year in Bétera.

The alternative proposal to the WWTP was French-type artificial wetland systems for the Municipalities of Moncada and Bétera in urban areas that are connected to the treatment plants through pumped collector systems. The energy requirement for the operation of the French HAFSSV is that necessary for the pumping system, for which an annual consumption

was calculated between 0.1 kWh/inhabitant eq year up to 1.6 kWh/inhabitant eq year in the different wetlands.

Based on the energy required for purification, the carbon footprint depends on the emission factor of the marketer that supplies the energy. For the case of treatment by WWTP, a total of 227.1 ton CO₂/year is calculated for the set of population centres studied and 0.84 kg CO₂/year for the wetland system in case they are supplied by the same electricity supplier. for pumping. The selected artificial wetlands are of the French type, given that their system does not implement an Imhoff tank for primary treatment, which generates greenhouse gas emissions, which allows this type of wetland to act as a carbon sink.

This work constitutes a reflection on the fact that implementing a system of artificial wetlands along the Carraixet basin for the various population centres would contribute to ecologically improving this territorial environment in various ways:

- The treatment of residual waters using artificial wetlands would allow purification in situ, with lower energy costs.
- It would not be necessary to build collector systems.
- It would allow the reuse of reclaimed water in situ and/or pour it into the bed of the ravine for its renaturalization.
- The constructed artificial wetlands themselves, such as the revegetation in the ravine, would increase carbon fixation and improve biodiversity and would additionally favour the ravine's role as an ecological corridor in a territory where it is the only remaining natural ecosystem.

Keywords: Wastewater treatment, energy consumption, carbon footprint, artificial wetlands.

Índice

Originalidad y Derechos de Autor	i
Dedicatoria	ii
Agradecimientos.....	iii
Resumen	iv
Abstract	vi
Lista de Figuras	x
Lista de tablas.....	xii
1. Introducción	1
1.1. Consideraciones generales	1
1.2 Objetivos.	2
1.3 Organización del texto.	2
2. La depuración de las aguas residuales.....	3
2.1. Procedimientos convencionales	3
2.2. Soluciones basadas en la naturaleza aplicadas al tratamiento de aguas residuales.....	6
2.2.1. Humedales Construidos.....	7
2.2.2. Humedal artificial de flujo subsuperficial vertical “sistema francés”.....	11
2.3. Consumo energético de la depuración de aguas en EDAR y sus efectos en la huella de carbono.	12
3. Descripción del caso de estudio	15
3.1. La situación de la depuración de aguas residuales en la Comunidad Valenciana.....	15
3.2 . La situación de la depuración de aguas residuales en la Cuenca del Carraixet. ...	17
3.2.1. Caracterización poblacional del Municipio de Moncada.	20
3.2.2. Caracterización poblacional del Municipio de Bétera.	21
3.3. Situación ambiental en el Barranco del Carraixet.....	23
4. Materiales y métodos.	25
5. Resultados y discusión.	27
5.1. Consumos de energía en el tratamiento convencional EDAR Cuenca del Carraixet...	28
5.1.1. Consumos energéticos del sistema de bombeo EDAR Cuenca del Carraixet.....	31

5.1.2. Consumos energéticos del sistema de bombeo por núcleo urbano.	36
5.1.3. Balance total del consumo energético para los diferentes núcleos poblacionales.	40
5.2. Consumos de energía para el tratamiento convencional EDAR Bétera.	42
5.2.1. Consumos energéticos del sistema de bombeo EDAR Bétera.	43
5.2.2. Balance total del consumo energético EDAR Bétera.	44
5.3. Consumo energético EDAR Cuenca del Carraixet y EDAR Bétera.	45
5.4. Diseño de humedales artificiales tipo Francés.	46
5.5. Humedales artificiales tipo Francés municipio de Moncada.	52
5.5.1. Consumos energéticos en los HAFSSV Francés municipio de Moncada.	55
5.6. Humedales artificiales tipo Francés municipio de Bétera.	57
5.7. Consumos energéticos anuales por alternativa de tratamiento.	59
5.8. Huella de Carbono.	62
5.8.1. Huella de Carbono EDAR.	62
5.8.2. Huella de Carbono HAFSSV Francés.	64
5.9. Discusión general.	66
6. Conclusiones.	71
Bibliografía.	73

Lista de Figuras

Figura 1 – Etapas de Tratamiento de Agua Residual.	4
Figura 2 - Esquema de una depuradora de aguas residuales.	5
Figura 3 - Potencia por unidad de tratamiento.	5
Figura 4 – Tipos de humedales artificiales.	8
Figura 5 - Diagrama de tratamiento de agua residual en la EDAR Carrícola.	8
Figura 6 - Humedal artificial subsuperficial de flujo vertical en Carrícola.	9
Figura 7 - Humedales artificiales subsuperficiales de flujo horizontal en Carrícola.	9
Figura 8 - Humedales Artificiales en el Parque Natural de La Albufera.	9
Figura 9 - Esquema de HAFSSV Francés.	11
Figura 10 - Sistema Francés de HHAA de FSS: 3 filtros para el tratamiento primario y 2 filtros para el tratamiento secundario, en Albondón (800 habitantes), España.	12
Figura 11 – Distribución porcentual de los costes de explotación de una EDAR.	13
Figura 12 – Zonas de saneamiento.	16
Figura 13 - Distribución espacial de las EDAR en la cuenca del Carraixet.	18
Figura 14 - Diagrama de tratamiento de agua residual en la EDAR de la cuenca del Carraixet.	18
Figura 15 - EDAR cuenca del Carraixet.	19
Figura 16 – Ubicación espacial de la EDAR de la cuenca del Carraixet antes de la desembocadura de la cuenca del Carraixet en el Mar Mediterráneo.	19
Figura 17 – EDAR Bétera.	19
Figura 18 - EDAR Bétera.	19
Figura 19 - Diagrama de tratamiento de agua residual en la EDAR Bétera.	20
Figura 20 – Ubicación espacial de Moncada.	20
Figura 21 - Evolución del número de habitantes de Moncada.	21
Figura 22 – Ubicación espacial de Bétera.	22
Figura 23 - Evolución del número de habitantes de Bétera.	22

Figura 24 - Barranco del Carraixet.	23
Figura 25 - Fragmento de humedal natural en el Barranco del Carraixet.	24
Figura 26 – Calles 138 y 158 en las cuales son realizados bombeos localizados.	27
Figura 27 - EDAR Cuenca del Carraixet y Municipios Servidos.	28
Figura 28 – Energía total de depuración EDAR Cuenca del Carraixet.	31
Figura 29 – Estaciones de bombeo para el transporte del agua residual a la EDAR Cuenca del Carraixet.	32
Figura 30 - Registro de consumo energético del bombeo de contadores kWh.	33
Figura 31 - Registro de consumo energético del bombeo de contadores kWh.	34
Figura 32 – Media de consumo anual por EBAR según la procedencia de los datos kWh.	35
Figura 33 – Energía anual kWh/hab eq registros.	39
Figura 34 - Consumos energéticos por núcleo poblacional.	42
Figura 35- Energía total de depuración EDAR Bétera.	43
Figura 36 - Consumo energético EDAR Cuenca del Carraixet y EDAR Bétera.	46
Figura 37- Esquema operativo de la primera etapa del sistema francés, con tres camas alternando los períodos de alimentación y descanso a lo largo de un ciclo completo.	47
Figura 38 - Ubicación espacial HAFSsV Francés calle 158.	54
Figura 39 - Ubicación espacial HAFSsV Francés calle 138.	55
Figura 40 - Esquema HAFSsV Francés.	55
Figura 41- Ubicación espacial HAFSsV Francés en Torren Conill.	58
Figura 42 - Producción de lodos EPSAR.	69
Figura 43 - Destino de los lodos en 2020.	69

Lista de tablas

Tabla 1 - Categorías de enfoques de SBN.....	6
Tabla 2 - Ventajas y dificultades de la implementación de los humedales artificiales.....	10
Tabla 3 - Instalaciones superiores a 15.000 habitantes equivalentes de la zona VI.....	17
Tabla 4 - EDAR del transcurso de la cuenca del Carraixet.....	17
Tabla 5 – Cantidad de superficie construida en Moncada.	21
Tabla 6 – Cantidad de superficie construida en Bétera.	23
Tabla 7 – Información general EDAR Cuenca del Carraixet.....	29
Tabla 8 - Municipios Servidos EDAR Cuenca del Carraixet.....	29
Tabla 9 – Centros poblados analizados.	30
Tabla 10 – Consumos energéticos EDAR Cuenca del Carraixet kWh/hab eq.....	31
Tabla 11 – Media de consumo anual de los contadores para cada estación de bombeo kWh.	33
Tabla 12 – Media de consumo anual de los registros para cada estación de bombeo kWh.	35
Tabla 13 – Procedencia de las aguas residuales por EBAR.	36
Tabla 14 – Energía por población kWh/hab eq año.	37
Tabla 15 - Consumo energético de bombeos locales mediante reporte de facturas.....	37
Tabla 16 - Consumo energético de bombeos locales por promedio.	38
Tabla 17 – Total de energía anual utilizada en el transporte del agua residual kWh/hab eq.	39
Tabla 18 – Consumos energéticos en la depuración mediante EDAR Cuenca del Carraixet.	40
Tabla 19 – Información general EDAR Bétera.	42
Tabla 20 - Consumos energéticos EDAR Bétera kWh/hab eq.....	43
Tabla 21 - Energía anual utilizada en el transporte del agua residual kWh/hab eq.	44
Tabla 22 - Consumos energéticos en la depuración mediante EDAR Bétera.	44
Tabla 23- Consumo energético EDAR Cuenca del Carraixet y EDAR Bétera.	45

Tabla 24 - Concentraciones de los contaminantes.....	48
Tabla 25 - Cargas máximas de diseño para el diseño clásico de humedales de FV tipo francés en condiciones de clima seco.	48
Tabla 26 - Especificaciones del medio filtrante para un diseño de humedal de FV tipo francés.....	50
Tabla 27- Flujo del afluente.....	53
Tabla 28 - Diseño primera etapa HAFSsV Francés Moncada.....	53
Tabla 29 - Diseño segunda etapa y área total HAFSsV Francés.	54
Tabla 30 - Cálculo de la potencia del sistema de bombeo HAFSsV Francés.	56
Tabla 31 - Consumo energético anual de los humedales de tipo Francés por habitante equivalente.....	57
Tabla 32 - Flujo del afluente.....	57
Tabla 33 - Diseño primera etapa HAFSsV Francés.	58
Tabla 34 - Diseño segunda etapa y área total HAFSsV Francés.	58
Tabla 35 - Cálculo de la potencia del sistema de bombeo HAFSsV Francés.	59
Tabla 36 - Consumo energético anual de los humedales de tipo Francés por habitante equivalente.....	59
Tabla 37- Consumos energéticos anuales por alternativa de tratamiento.	60
Tabla 38 - Huella de carbono por grupo poblacional EDAR.	63
Tabla 39 - Huella de carbono HAFSsV Francés.	64
Tabla 40 - Fijación de carbono HAFSsV Francés.....	66
Tabla 41 - Caudal de tratamiento mediante el sistema de HAFSsV Francés Moncada.	67
Tabla 42 - Caudal a tratar por la implementación de HAFSsV Francés Moncada.	67
Tabla 43 - Caudal de tratamiento mediante el sistema de HAFSsV Francés Bétera.....	68
Tabla 44 - Caudal a tratar por la implementación de HAFSsV Francés Bétera.....	68

1. Introducción

1.1. Consideraciones generales

En el transcurso de la historia las diferentes comunidades en el mundo se han ido congregando en centros poblados aumentando su población y así mismo requiriendo solventar diferentes necesidades que permitan mejores condiciones de vida. En la actualidad las actividades realizadas cotidianamente implican un consumo de energía, la cual ha sido obtenida de diferentes fuentes, siendo una de ellas mediante combustibles fósiles, lo cual de manera indirecta ha generado efectos en el calentamiento global. Por otra parte, la elaboración de productos requiere la transformación de materias primas, siendo que, en todas sus etapas, desde la recolección pasando por el procesamiento, distribución, uso y disposición final se requiere energía causando durante este proceso emisión de gases efecto invernadero. Así pues, en la lucha contra el cambio climático deberemos influir en costes energéticos, en ahorro de materiales y en elección de procesos.

Con el paso del tiempo se ha posicionado la importancia del cuidado y el uso eficiente de los recursos naturales, con lo cual podemos decir que, junto con el agua y la energía constituyen la base del funcionamiento de la sociedad.

Así, como se ha demostrado por parte de los reportes del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, en España el consumo energético asociado a la depuración de aguas residuales supone el 1% del consumo energético nacional (IDAE, 2010), lo que permite identificar la importancia energética de este sector en el país.

Al mismo tiempo, tanto el consumo energético como la mitigación a los efectos del cambio climático es otro de los aspectos en los cuales la unión europea, a partir de los desafíos asumidos en el pacto verde y con el objetivo una economía con cero emisiones netas de gases de efecto invernadero para el año 2050, ha hecho frente, para la conversión tecnológica y búsqueda de nuevas alternativas con menor impacto ambiental.

Uno de los principales objetivos de la Estrategia de Acción Climática de la Dirección General de Acción para el Clima de la Comisión Europea, es mantener los sistemas que resultan sumideros de carbono en este continente. En la práctica esto significa conservar los ecosistemas y el territorio en estado natural.

De igual manera, otro problema capital que guarda relación con lo anterior es la pérdida de biodiversidad en los países desarrollados y en los que se encuentran en vías de desarrollo, la cual está producida por la pérdida de hábitat natural debido a la presión existente por los diferentes usos del suelo para las actividades humanas.

Así, este trabajo se va a centrar en la temática del tratamiento de las aguas residuales urbanas, pero integrándolo con la emisión-fijación de carbono, con la conservación y mejora de la

biodiversidad mediante la restauración de hábitat. Tal que, en este proceso hay que considerar las circunstancias aludidas anteriormente en cuanto a la optimización de los costes energéticos de todo el proceso, las fuentes de energía utilizadas, las instalaciones y elementos necesarios, las emisiones existentes, la producción de agua de calidad aceptable y la renaturalización para mejora de ecosistemas.

1.2 Objetivos

Objetivo general

Comparar los consumos energéticos y la huella de carbono del tratamiento de aguas residuales por medio de EDAR de oxidación total versus la implementación de humedales artificiales, que permitieran además la reutilización del agua para renaturalización mejorando la biodiversidad y atenuando la huella de carbono.

Objetivos específicos

- Estimar los consumos actuales de energía y la huella de carbono emitida por el tratamiento de aguas residuales mediante las EDAR de oxidación total existentes.
- Estimar los consumos actuales de energía y la huella de carbono emitida por los bombeos de agua residual existentes para su transporte a las EDAR de oxidación total.
- Evaluar los consumos de energía y la huella de carbono emitida por el tratamiento de aguas residuales si se realiza mediante humedales artificiales de tipo francés.
- Analizar los balances de energía y huella de carbono de los procesos de tratamiento de agua residual convencionales y los de humedales artificiales de tipo Francés proyectados en este estudio.

1.3 Organización del texto

Una vez realizada la introducción a la investigación realizada, este trabajo se desarrolla en diferentes capítulos, siendo que en la sección que corresponde a la depuración de las aguas residuales, se presenta la ejemplificación de los procesos convencionales y mediante humedales artificiales para la depuración de aguas residuales, para continuar con el contexto actual de los procesos de depuración y situación ambiental de la cuenca del Carraixet.

Seguidamente se presenta la descripción del caso de estudio en el cual se realizó contextualización de Moncada, Bétera y cuenca del Carraixet, en relación al tratamiento de agua residual que actualmente es realizado mediante EDAR.

De manera que se presenta la descripción de la metodología y las fuentes de suministro de información para el desarrollo de la investigación, para finalmente, presentar los resultados, análisis, discusión y conclusiones del estudio.

2. La depuración de las aguas residuales

2.1. Procedimientos convencionales

El proceso de depuración de aguas residuales en Estación Depuradora de Agua Residual – EDAR, consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en el agua procedente de los usos en actividades domésticas y económicas. Las EDAR son las instalaciones en las que se reciben las aguas residuales y las tratan para devolverlas al medio ambiente en un estado óptimo o, en su caso, para reutilizarlas en otros usos, además de estabilizar y disponer de los fangos extraídos durante el tratamiento (iAgua, 2021).

Existen diferentes tipos de EDAR, las de tipo físico-químico en las cuales la depuración se produce mediante un tratamiento en el que se le añaden al agua reactivos químicos para favorecer la decantación de sólidos en suspensión presentes en el agua, y las de tipo biológico en las cuales la depuración tiene lugar mediante procesos biológicos, donde los microorganismos actúan sobre la materia orgánica e inorgánica, disuelta y en suspensión presente en el agua, transformándola en sólidos sedimentables más fáciles de separar.

De acuerdo a la población servida y los caudales de tratamiento, no todas las EDAR utilizan los mismos tipos de tratamiento, Se pueden distinguir tecnologías de tratamiento de aireación prolongada, procesos biológicos de soporte sólido, fangos activos, tratamiento extensivo y procesos mixtos que combinan algunos tipos de los anteriores.

Las características de la generación de agua residual dependen principalmente del tamaño de la población, del sistema de alcantarillado empleado, del grado de industrialización y de la incidencia de la pluviometría. Por ello, siendo así, pueden establecerse unos rangos de variación habituales, tanto para los caudales como para las características fisicoquímicas de estos vertidos, donde el conocimiento de los caudales y características de las aguas residuales generadas en los núcleos de población es básico para el correcto diseño de los sistemas de recogida, tratamiento y evacuación de las aguas residuales cumpliendo los requisitos de vertido (CENTA, 2008).

En la figura 1, se ejemplifican las diferentes etapas de los procesos de tratamiento de agua residual.



Figura 1 – Etapas de Tratamiento de Agua Residual.

Fuente: Centro de Nuevas Tecnologías del Agua de Sevilla (CENTA, 2008).

La primera fase correspondiente al tratamiento primario se define como “*el tratamiento de aguas residuales urbanas mediante un proceso físico o fisicoquímico que incluya la sedimentación de sólidos en suspensión, u otros procesos, en los que la DBO5 de las aguas residuales que entren se reduzca, por lo menos, en un 20% antes del vertido y el total de sólidos en suspensión en las aguas residuales de entrada se reduzca, por lo menos, en un 50%*” según el Real Decreto 11/1995.

En esta primera etapa en la EDAR, el agua residual inicia su proceso de tratamiento con un desbaste, seguido de un desarenador y desengrasador y finalmente pasa por un decantador lo que permite la eliminación de sólidos en suspensión (flotantes y sedimentables), logrando, además, una cierta reducción de la contaminación biodegradable, dado que una parte de los sólidos que se eliminan está constituida por materia orgánica.

En plantas convencionales el tratamiento primario se realiza por decantación, es decir, los sólidos precipitan al fondo de la cuba y un puente móvil con unas rasquetas en el fondo barre la cuba eliminando los sólidos decantados y los dirige a línea de fangos mediante purgas. También es posible eliminar sólidos mediante flotación y en este caso se eliminan sólidos con densidad parecida a la del agua mediante inyección de burbujas muy finas que hacen que estos sólidos floten en superficie.

El tratamiento secundario está constituido por un reactor biológico y un decantador. Con estos tratamientos se pretende la reducción de la contaminación orgánica y la coagulación y eliminación de sólidos coloidales no decantables.

Finalmente, el agua residual es sometida al tratamiento terciario el cual consiste en filtración y rayos ultravioleta. La figura 2 muestra el proceso de tratamiento del agua residual, del cual se generan subproductos como lodos primarios, lodos secundarios o biológicos, los cuales son destinados a agricultura o valorización energética en caso de no cumplir con los requisitos y cualidades físico-químicas del Real Decreto 1310/1990.



Figura 2 - Esquema de una depuradora de aguas residuales.

Fuente: Ayuntamiento de Constantina (Ayuntamiento de Constantina, 2021).

En el proceso de depuración de las aguas residuales mediante EDAR, en la mayoría de los casos requiere de consumos energéticos en el sistema de bombeo existente en la red de colectores para el transporte del agua y fangos dentro de la planta, en motores, para el accionamiento de equipos mecánicos (eliminación de gruesos, sedimentos, flotantes), y en soplantes o aireadores superficiales que aportan oxígeno para el tratamiento biológico.

Como es posible observar en la figura 3, la potencia media de consumo por unidad de tratamiento es de 5,8 W/hab eq, siendo el mayor consumo energético en el tratamiento biológico, el cual corresponde al tratamiento secundario, que tiene por objetivo la eliminación de la materia orgánica disuelta.

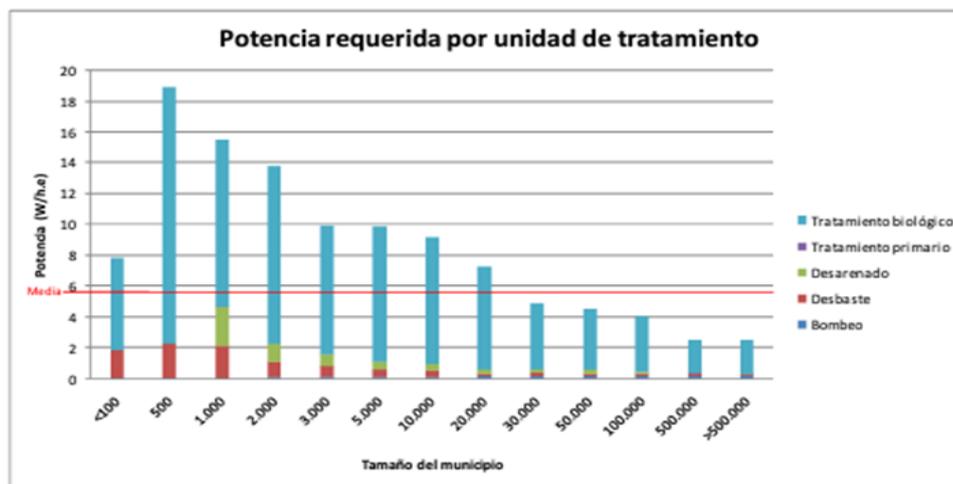


Figura 3 - Potencia por unidad de tratamiento.

Fuente: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE, 2010).

Las depuradoras para poblaciones de menos de 100 hab eq, generalmente son operadas por gravedad y en los casos en los que se requiere bombeo son implementados de menor potencia en comparación a los municipios de mayor tamaño, asimismo, para este tipo de poblaciones en el mayor de los casos carece de depuración biológica aerobia, evitando así los consumos energéticos de la transferencia de oxígeno, razón por la cual el consumo de energía por habitante en este rango es bajo.

En depuradoras pequeñas, el peso del desbaste y desarenado en el consumo energético de la depuradora es relativamente grande ya que el correcto funcionamiento de estos equipos requiere de una potencia mínima de los motores y bombas, con el fin de evitar malfuncionamientos debido a atascos. Por ello el diseño, no guarda una relación directa con el tamaño de la instalación, sino que se parte de una potencia mínima, lo cual hace que en pequeñas poblaciones en debido a la eficiencia energética por habitante equivalente resulte más ventajosa la implementación de sistemas alternativos de tratamiento del agua residual.

Es importante resaltar que los consumos energéticos expresados en la figura 3, son aún mayores teniendo en cuenta que además de la energía consumida en la EDAR se requiere energía en las estaciones de bombeo para el transporte del agua residual a la planta. Con todo puede concluirse que el sector del tratamiento de agua residual es un gran consumidor de energía.

2.2. Soluciones basadas en la naturaleza aplicadas al tratamiento de aguas residuales

El término "Soluciones Basadas en la Naturaleza" fue presentado por iniciativa de UICN y el Banco Mundial a finales de la década de 2000 y posteriormente adoptado por los responsables de la Comisión Europea. Hoy en día las Soluciones Basadas en la Naturaleza están perfectamente alineadas con el programa de la Agenda 2030 y pueden contribuir a que una región alcance distintos Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Así mismo, sus principios están también recogidos en la Nueva Agenda Urbana y trasladados al contexto español en la Agenda Urbana Española (Congreso Nacional del Medio Ambiente , 2019).

La Comisión Europea define a las Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN) como “soluciones a desafíos a los que se enfrenta la sociedad que están inspiradas y respaldadas por la naturaleza; que son rentables y proporcionan a la vez beneficios ambientales, sociales y económicos, y ayudan a aumentar la resiliencia” (European Commission, 2020). En la tabla 1 se presentan las categorías de acuerdo a sus enfoques y algunos ejemplos.

Tabla 1 - Categorías de enfoques de SBN.

Categoría de enfoques de SBN	Ejemplos
Enfoques de restauración de ecosistemas	Restauración ecológica; Ingeniería ecológica; Restauración del paisaje forestal
Enfoques relacionados con ecosistemas específicos de la problemática	Adaptación basada en el ecosistema; Mitigación basada en los ecosistemas; Servicios de adaptación climática; Reducción del riesgo de desastres basada en los ecosistemas
Enfoques relacionados con la infraestructura	Infraestructura natural; Infraestructura verde
Enfoques de en el gestión basados ecosistema	Manejo integrado de la zona costera; Gestión integrada de los recursos hídricos
Enfoques de protección del ecosistema	Enfoques de conservación basados en áreas que incluyen el manejo de áreas protegidas

Fuente: Soluciones Basadas en la Naturaleza, Rumbo 30.20 (CONAMA, 2018).

Se distinguen tres tipos de SBN:

Tipo 1 – Intervención mínima en ecosistemas: consiste en una intervención nula o mínima, con los objetivos de mantener o mejorar la entrega de un rango de servicios ecosistémicos tanto dentro como fuera de estos ecosistemas. Este tipo de SBN está conectado, por ejemplo, con el concepto de Reservas de la Biosfera que incorpora áreas núcleo protegidas para la conservación de la naturaleza y zonas de amortiguación y áreas de transición donde las personas viven y trabajan de manera sostenible.

Tipo 2 - Algunas intervenciones en ecosistemas y paisajes: corresponde a los enfoques de gestión que desarrollan ecosistemas y paisajes sostenibles y multifuncionales (de manejo extensivo o intensivo). Estos tipos mejoran la entrega de servicios ecosistémicos seleccionados en comparación con lo que se obtendría con una intervención más convencional. Este tipo de SBN está fuertemente relacionado con conceptos como agricultura de sistemas naturales.

Tipo 3 - Gestión de los ecosistemas de forma extensa: consiste en manejar los ecosistemas de maneras muy extensas o incluso crear nuevos ecosistemas por ejemplo, ecosistemas artificiales con nuevas comunidades de organismos para techos verdes y paredes para mitigar el calentamiento de la ciudad y limpiar el aire contaminado, este tipo de SBN está vinculado a conceptos como infraestructuras verdes y azules y objetivos como la restauración de áreas muy degradadas o contaminadas y ciudades más verdes (CONAMA, 2018).

Algunas de las SBN para la gestión del agua en España son protección estratégica de terrenos (incluyendo compra de tierras), revegetación (incluyendo reforestación y conversión forestal), restauración de riberas (incluyendo corredores de ribera), restauración-recuperación de humedales y construcción de humedales artificiales.

2.2.1. Humedales Construidos

Los humedales artificiales son sistemas de depuración constituidos por lagunas o canales poco profundos (de menos de 1 m) plantados con vegetales propios de las zonas húmedas y en los que los procesos de descontaminación tienen lugar mediante las interacciones entre el agua, el sustrato sólido, los microorganismos, la vegetación e incluso la fauna (Pidre, Salas, & Sánchez, 2007).

Este tipo de alternativa cuenta con un alto potencial para la descentralización del tratamiento de aguas residuales en EDAR, debido a sus características de bajas exigencias operativas y energéticas.

Se clasifican según el tipo y la dirección del flujo del agua como se presenta en la figura 4. Se pueden dividir en humedales artificiales de flujo superficial (HAFS) y subsuperficial (HAFSs). Luego, a los de flujo subsuperficial se los subdivide según la dirección del flujo, en horizontal (HAFSsH) y vertical (HAFSsV). Dentro de los HAFSsV se encuentra la

variante de humedales de tipo Francés, que proporcionan un tratamiento integrado de lodos y aguas residuales en un solo sistema, permitiendo prescindir del tratamiento primario (Dotro, 2017).

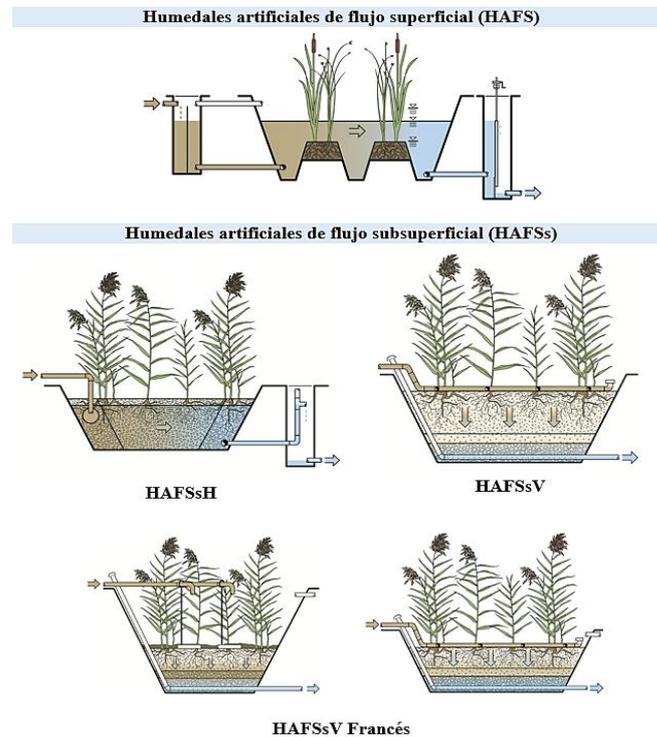


Figura 4 – Tipos de humedales artificiales.

Fuente: *Biological wastewater treatment series* (Dotro, 2017).

Dentro de las soluciones basadas en la naturaleza, los humedales artificiales son una alternativa utilizada principalmente en pequeñas poblaciones con diferentes ejemplos de implementación, en España, Portugal, Italia, Francia, entre otros. En el municipio de Carrícola perteneciente a la Comunidad Valenciana en España en el año 2012 se implementó un sistema de humedales artificiales para mejorar el sistema de depuración de las aguas residuales del municipio con una población de 81 habitantes (EPSAR, 2021), en las figura 5 se presenta el esquema de depuración de Carrícola y en las figuras 6 y 7 la integración en el paisaje del sistema de humedales artificiales implementados, en el cual la especie vegetal utilizada fue Carrizo (*Phragmites australis*).

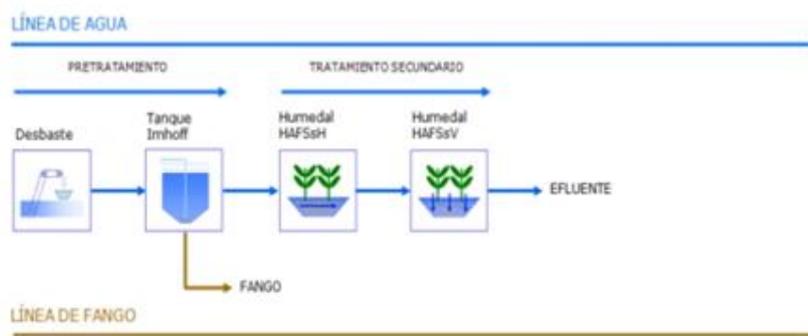


Figura 5 - Diagrama de tratamiento de agua residual en la EDAR Carrícola.

Fuente: (EPSAR, 2021).



Figura 6 - Humedal artificial subsuperficial de flujo vertical en Carrícola.



Figura 7 - Humedales artificiales subsuperficiales de flujo horizontal en Carrícola.

Fuente: Blanca de la Cruz. (Vicente, 2015).

De forma similar, desde el año 2011 en el Parque Natural de La Albufera, localizado a 10 km de la ciudad de València, se diseñaron tres humedales artificiales, el tancat de l'Illa, el Tancat de la Pipa, y el tancat de Milia, construidos sobre antiguos campos de arroz en los que se ha plantado vegetación autóctona (figura 8). Estos humedales permiten recircular el agua del lago, reduciendo su carga de contaminación orgánica. En tancat de Illa i Milia también pueden recibir agua residual de EDAR.

Algunos de los aportes de la implementación de los humedales artificiales en el Parque Natural de La Albufera es que ha permitido mejorar la calidad del agua de la laguna contribuyendo a restaurar hábitats característicos de los humedales. Estas infraestructuras han incrementado la superficie naturalizada y de propiedad pública, con la regeneración de hábitats palustres, constituyéndose en reservas naturales donde se incrementan los índices de biodiversidad, recuperación de especies vulnerables, como pato colorado, focha común, galápago europeo o samaruc y un nuevo paisaje social. Con la creación de estos humedales se introducen nuevas formas de gestión y la figura de custodia del territorio, con una administración pública, generando también beneficios socioeconómicos asociados al mantenimiento de estos espacios, como actividades económicas del entorno, entre ellos paseos en barca, la restauración o el turismo ornitológico (Lucía Moreno, 2016).



Figura 8 - Humedales Artificiales en el Parque Natural de La Albufera.

Fuente: LIFE Albufera (Lucía Moreno, 2016)

Algunas de las ventajas y dificultades de la implementación de los humedales artificiales se presentan en la tabla 2.

Tabla 2 - Ventajas y dificultades de la implementación de los humedales artificiales.

Ventajas	Dificultades
Sencillez operativa, al limitarse las labores de explotación a la retirada de residuos del pretratamiento y al corte y retirada de la vegetación una vez seca	Exigen más superficie de terreno para su implantación que las Tecnologías Convencionales de depuración, lo que puede repercutir grandemente en los costes de construcción si conlleva la adquisición de los terrenos.
Consumo energético nulo si las aguas residuales a tratar pueden circular por gravedad hasta los humedales	Larga puesta en marcha que va desde meses a un año en sistemas de flujo subsuperficial, hasta varios años en los sistemas de flujo superficial.
Inexistencia de averías al carecer de equipos mecánicos	Los humedales de flujo subsuperficial presentan riesgos de colmatación del sustrato. Si este no se elige convenientemente, si no funcionan correctamente las etapas de pretratamiento y tratamiento primario, o si la instalación recibe vertidos anómalos con elevadas concentraciones de sólidos en suspensión o grasas.
En el caso de los HAFS y de los HAFSs de flujo horizontal, al operar con elevados tiempos de retención, se toleran bien las puntas de caudal y de carga.	Pérdidas de agua por evapotranspiración, lo que incrementa la salinidad de los efluentes depurados.
Escasa generación de lodos en el tratamiento primario. Si se emplean fosas sépticas o tanques Imhoff, la retirada de los lodos se espacia en el tiempo.	Posible aparición de mosquitos en los humedales de flujo libre.
Posible aprovechamiento de la biomasa vegetal generada (ornamentación, alimentación animal)	Los humedales artificiales presentan pocas posibilidades de actuación y control ante modificaciones de las condiciones operativas, por lo que es muy importante que estén bien concebidos, dimensionados y construidos.
Los humedales de flujo superficial permiten la creación y restauración de zonas húmedas aptas para potenciar la vida salvaje, la educación ambiental y las zonas de recreo.	
Mínima producción de olores al no estar expuestas al aire las aguas a tratar en los humedales de flujo superficial y por alimentarse con efluentes ya depurados los humedales de flujo superficial.	
Perfecta integración ambiental.	

Fuente: Adaptado del Manual de depuración de aguas residuales urbanas (CENTA, 2008).

2.2.2. Humedal artificial de flujo subsuperficial vertical “sistema francés”

En Francia, alrededor de 1990 se creó un tratamiento especial de flujo vertical con humedales artificiales de flujo subsuperficial para aguas residuales crudas llamado "sistema francés". Este sistema cuenta con las características de no generar lodos ni biogás, además, no requiere de un pretratamiento o tratamiento primario, dado que estos procesos integran el sistema. Existen cerca de 500 humedales de este tipo en Francia, también algunas de estas plantas son usadas en Alemania, Portugal y España (Hoffmann & Platzer, 2011).

Estos sistemas como se ejemplifica en la figura 9, se conforman por grupos de celdas verticales dispuestas en paralelo con alimentación intermitente (funcionan como tratamiento primario), y celdas verticales en serie con las anteriores que funcionan como tratamiento secundario. Para su operación y mantenimiento, se requiere de un sistema de control electromecánico (bombeo, válvulas, etc.), o de existir cota suficiente, de sifones autodescargantes, y mano de obra cualificada (Dotro, 2017).

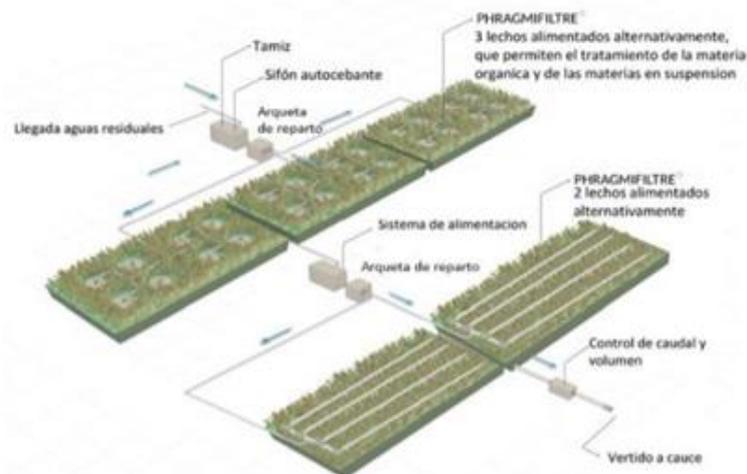


Figura 9 - Esquema de HAFSSV Francés.
Fuente: IAGUA (Salas, 2018).

La siguiente descripción del sistema de HAFSSV utilizados en dos etapas se basa principalmente en una publicación de (Molle *et al*, 2005).

La primera etapa del sistema Francés es un HAFSSV, pero con grava de lecho filtrante, la cual ha sido diseñada para el pretratamiento del agua residual cruda. Las aguas residuales pueden pasar o no, previamente, por cribas o rejas, para separar los sólidos más grandes, y luego ser bombeadas a la superficie del primer humedal a través de tuberías de distribución de aproximadamente de 100 mm de diámetro.

Estas tuberías están abiertas para descargar las aguas residuales crudas en diversos puntos y distribuir las directamente en la superficie del lecho. Los sólidos se acumulan y se oxidan en contacto con el oxígeno del aire, mientras el agua filtra hacia el fondo del humedal para

seguir su tratamiento. El agua pretratada pasa en la segunda etapa, a un HFV “convencional” con arena gruesa como lecho filtrante (Hoffmann & Platzer, 2011).

Según, Molle *et al* (2005), se recomienda dividir la primera fase (para el tratamiento de aguas residuales crudas) en 3 filtros, la segunda fase (tratamiento secundario del efluente) en 2 filtros como se observa en el ejemplo de implementación de este tipo de humedales en el municipio de Albodón (Andalucía España), en la figura 10.



*Figura 10 - Sistema Francés de HAA de FSS: 3 filtros para el tratamiento primario y 2 filtros para el tratamiento secundario, en Albodón (800 habitantes), España.
Fuente: Water Sci Technol (Molle et al, 2005).*

Este tipo de humedales cuenta con la ventaja de que la eliminación de los fangos que se depositan en la superficie de las balsas se realiza solamente cada aproximadamente 8 años, por lo que se requiere menores costos de mantenimiento.

Se diferencian de los sistemas de flujo horizontal por las distintas características del material filtrante, que está compuesto por algunas capas de gravas de diámetro variable, desde una capa fina en la superficie hasta llegar a una capa de piedras sobre el sistema de drenaje del fondo, siendo otra diferencia la altura de las balsas, ya que es mayor que en los sistemas sumergidos de flujo horizontal y vertical convencionales. La modalidad de distribución del líquido sobre la superficie de las balsas, se realiza de forma intermitente, y el flujo hidráulico, es de forma vertical (Ecodena Ecología y Depuración, 2021).

2.3. Consumo energético de la depuración de aguas en EDAR y sus efectos en la huella de carbono

Dada la importancia del agua y la preocupación actual por el cambio climático, se hace relevante conocer el uso de energía en el ciclo del agua. Basados en los estudios agua – energía realizados por la California Energy Comisión, se desarrolló una investigación para la estimación del consumo de energía ligado al uso del agua en la ciudad de València, la cual permitió identificar que la mayor parte de la inversión energética dentro del ciclo del agua urbano del agua en la ciudad de València se destina a los procesos de depuración con 18.1 GWh/año (Murgui Mezquita, Cabrera Marcet, Pardo Picazo, & Cabrera Rochera, 2009).

Desde otro punto de vista se estimó que dentro de las EDAR el coste de la energía es el mayor de todos, pues supone más del 56% de los costes totales de operación y mantenimiento (Albadalejo Ruiz, 2013). Según el estudio realizado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía en España, el consumo energético asociado a la depuración de las Aguas Residuales Urbanas supone el 1% del consumo energético nacional (IDAE, 2010).

La energía necesaria para el funcionamiento de una EDAR es casi exclusivamente eléctrica, siendo los objetos de consumo principales los motores de los equipos electromecánicos como bombas de transporte de agua y lodos, equipos de aireación, ya sean superficiales o sumergidos, soplantes o turbocompresores, siendo éstos los que mayor consumo demandan de la instalación.

El estudio de consumo de energía para la depuración de agua en España permite distinguir la forma en que la energía repercute en la distribución de costos para el funcionamiento de una EDAR, basados en la influencia de las tarifas eléctricas en los costes de operación y mantenimiento de las depuradoras de aguas residuales, conforme se muestra en la figura 11 (Albadalejo Ruiz & Trapote Jaume, 2013).

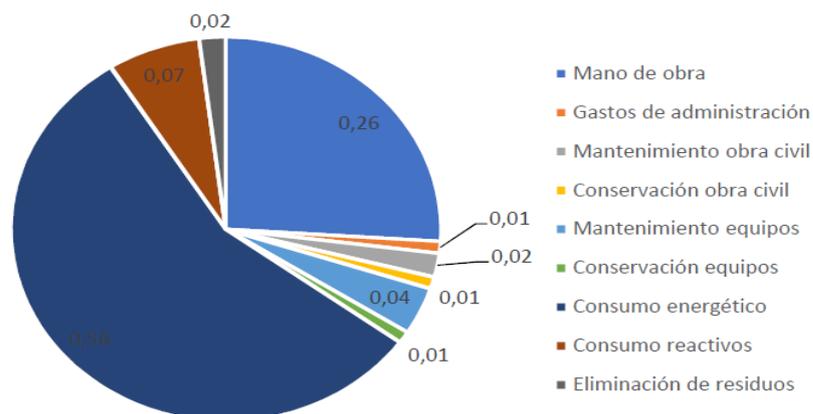


Figura 11 – Distribución porcentual de los costes de explotación de una EDAR.
Fuente: (Albadalejo Ruiz, 2013).

Teniendo en cuenta la importancia del consumo energético en las EDAR, se han diseñado diferentes estrategias para su disminución, y por lo tanto reducir la huella de carbono, que van desde el aumento en la eficiencia de los procesos de aireado o bombeo, hasta la producción energética dentro de la planta, bien sea por la implementación de placas solares o el aprovechamiento del biogás generado en el proceso de digestión anaerobia.

A la vista de los desafíos marcados por el pacto verde de la UE, con el objetivo una economía con cero emisiones netas de gases de efecto invernadero para el año 2050, las empresas suministradoras de energía para las EDAR deben promover la transición a tecnologías limpias para la obtención de energía. Siendo así, se reportan anualmente los factores de emisión del mix eléctrico de las comercializadoras, el cual permite expresar las emisiones de CO₂ asociadas a la generación de la electricidad que se consume.

La transición a tecnologías más limpias de obtención de la energía eléctrica por parte de las entidades suministradoras del servicio, la valorización energética dentro de las EDAR por aprovechamiento del biogás por cogeneración o la producción energética por placas fotovoltaicas, del mismo modo que las demás estrategias para la eficiencia energética, contribuyen a disminuir el consumo energético y sus efectos en cuanto a huella de carbono.

3. Descripción del caso de estudio

El entorno geográfico en el que se encuadra este estudio corresponde al ámbito de la cuenca del barranco de Carraixet y concretamente en las depuradoras de Bétera y de Alboraya, y los núcleos de población que mediante una red de colectores llevan las aguas a dichas depuradoras.

3.1. La situación de la depuración de aguas residuales en la Comunidad Valenciana

En la Comunidad Valenciana el tratamiento de aguas residuales es realizado mediante EDAR que se dedican al tratamiento de aguas residuales de tipo industrial, urbano o una combinación de ambos tipos. Una vez realizado los procesos de separación y eliminación de sustancias que contienen las aguas residuales, los cuales pueden ser físicos, químicos o biológicos, el efluente es vertido de nuevo al medio natural o reutilizado.

Los parámetros que principalmente se tienen en cuenta para la evaluación del adecuado funcionamiento de las EDAR en relación a la calidad del agua residual son, Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅) y los sólidos en suspensión (SS).

La DBO₅ es la demanda bioquímica de oxígeno que tiene un agua, y se refiere a la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias (aeróbicas o anaeróbicas), hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra. Generalmente cuanta más contaminación, más DBO.

Por otra parte, la DQO es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica por medios químicos y convertirla en CO₂ y H₂O. Cuanto mayor es la DQO, más contaminada está el agua.

La diferencia principal entre la DBO₅ y la DQO es, que la segunda engloba a la primera, e incluye más cosas. En la DBO₅ sólo se detecta el material orgánico degradado biológicamente o que es biodegradable, mientras que en la DQO se busca la oxidación completa de la muestra, de manera que todo el material orgánico, biodegradable y no biodegradable, es químicamente oxidado. Para una muestra dada de agua, el valor de DQO siempre ha de ser mayor que el de DBO₅.

Se denomina SS, a la fracción de los sólidos totales que quedan retenidos por una membrana filtrante de un tamaño determinado (0,45 µm). Dentro de los sólidos en suspensión se encuentran los sólidos sedimentables y los no sedimentables (CENTA, 2008).

Según lo establecido en el II Plan Director de Saneamiento y Depuración de la Comunidad Valenciana para el año 2003, existían 199 sistemas de depuración, capaces de tratar anualmente un volumen de 430,6 hm³, afectando a una población equivalente de seis millones y medio de habitantes.

España se encuentra sectorizado en XIV zonas de saneamiento, la zona en la que se localiza la cuenca del Carraixet es denominada la zona VI, donde se encuentran 10 EDAR con capacidad de tratamiento superiores a 15.000 habitantes equivalentes. En la figura 12 se presenta la ubicación espacial de las zonas de saneamiento.

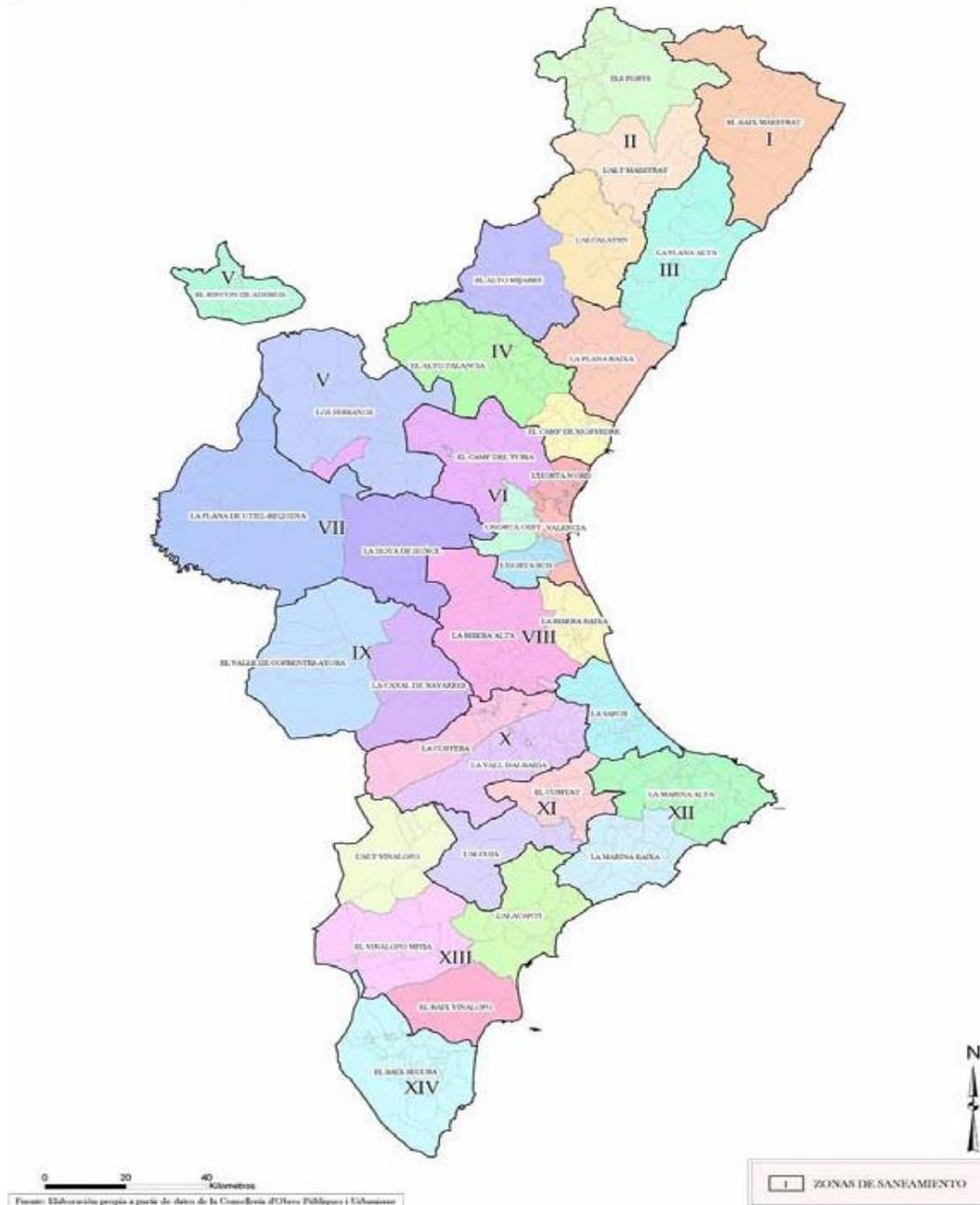


Figura 12 – Zonas de saneamiento.

Fuente: II Plan Director de Saneamiento y Depuración de la Comunidad Valenciana (Generalitat Valenciana, 2003).

En la tabla 3 se presentan las EDAR existentes en la zona donde se ubica la cuenca del Carraixet (zona de estudio) y los respectivos municipios servidos, según lo establecido en el II Plan director de saneamiento y depuración de la Comunidad Valenciana, siendo las EDAR de Alboraya y Bétera las analizadas en esta investigación.

Tabla 3 - Instalaciones superiores a 15.000 habitantes equivalentes de la zona VI.

ZONA VI			
EDAR	Municipios Servidos	Volumen Tratado (m³/año)	Hab eq
Alboraya (Cuenca del Carraixet)	Albalat dels Sorells, Rocafort, Tavernes Blanques, Moncada, Meliana, Godella, Foios, Bonrepos i Mirambell, Almàssera, Alfara del Patriarca, Alboraya, Vinalesa, València(Benifaraig, Borbotó, Carpesa, Cases de Bárcena, Malvarrosa, Massarojos)	11.554.353	120.703
Bétera	Bétera	876.000	15.000
Horta Nord	Albuixech, Emperador, Massamagrell, Massalfassar, Museros, La Pobla de Farnals, Puçol, El Puig, Rafelbunyol	8.082.788	111.181
Mancomunitat del Camp de Túria 1	Benaguasil, Benisanó, Lliria, La Pobla de Vallbona	2.446.381	38.977
Mancomunitat del Camp de Túria 2	Riba-roja del Túria, l'Eliana, Vilamarxant	2.452.618	38.271
Paterna	Paterna, San Antonio de Benagéber.	11.680.000	235.000
Quart – Benàger	Alaquàs, Aldaia, Manises, Mislata, Quart de Poblet, València(Patraix, La Luz, Fuensanta, Tres Forques, Vara de Quart, Safranar, San Isidro), Xirivella	12.779.155	217.736
Torrent	Torrent	5.402.410	86.747
València(Pinedo 1)	València	56.084.119	507.483
València(Pinedo 2)	València, Burjassot, Mislata, Picanya, Albal, Alcàsser, Alfafar, Benetússer, Beniparrell, Catarroja, Lloc Nou de la Corona, Massanassa, Paiporta, Picassent, Sedaví, Silla	58.881.028	619.000

Fuente: Adaptado del II Plan director de saneamiento y depuración de la Comunidad Valenciana (Generalitat Valenciana, 2003).

3.2 La situación de la depuración de aguas residuales en la Cuenca del Carraixet

A lo largo de la cuenca del barranco del Carraixet se distribuyen seis EDAR desde la cabecera de la cuenca hasta la desembocadura en la población de Alboraya, En la tabla 4 se presentan las características generales de cada una de las EDAR de la cuenca, siendo la EDAR cuenca del Carraixet la de mayor tamaño (situada en Alboraya), cuyo vertido se localiza unos pocos metros antes de la desembocadura del barranco en el mar Mediterráneo.

Tabla 4 - EDAR del transcurso de la cuenca del Carraixet.

EDAR	Caudal de proyecto (m³/d)	Potencia total instalada (kW)
Gátova	400	32
Olocau	320	26
Pedralvilla	150	5
Bétera	5800	208
Cuenca del Carraixet	40000	2368
Marines	456	54

Fuente: Adaptado Cuenca del Carraixet (EPSAR, 2021).

En la figura 13 se presenta la ubicación espacial de las EDAR a lo largo de la cuenca, siendo que para el presente estudio nos centramos en las EDAR de Bétera y Cuenca del Carraixet, por ser las de mayor tamaño y en las que presentan redes de colectores. Así en estas localidades se podrían implementar otras alternativas de tratamiento que puedan permitir disminuir algunos de los consumos energéticos implementados en el transporte del agua residual a las EDAR.

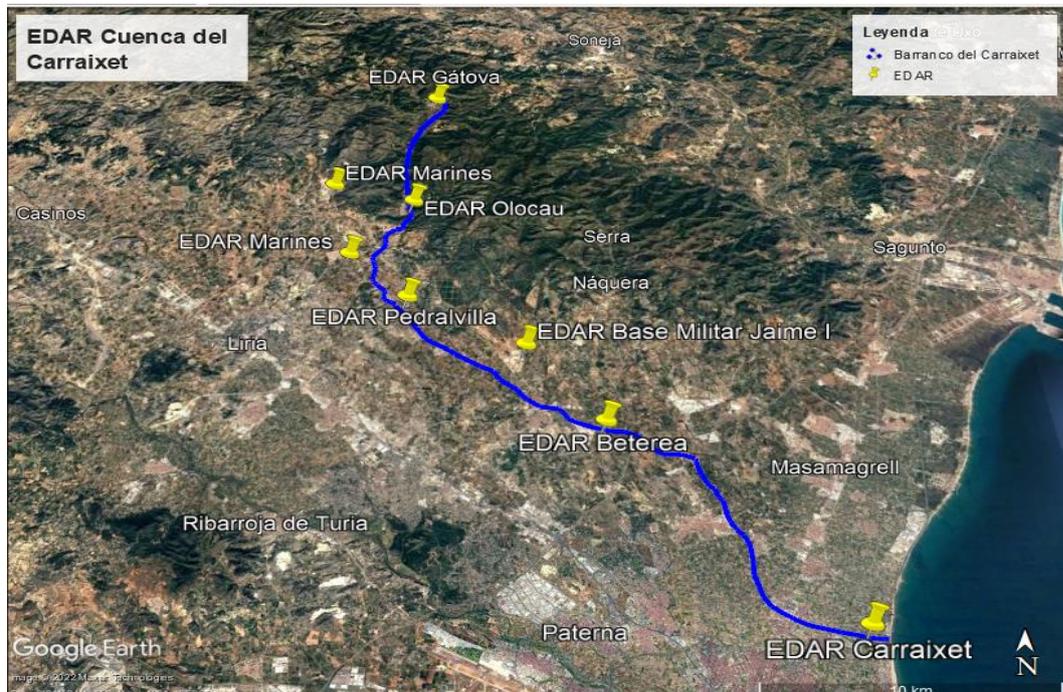


Figura 13 - Distribución espacial de las EDAR en la cuenca del Carraixet. Fuente: Adaptado de Google Earth 03/2022.

La figura 14 presenta el proceso de tratamiento de agua residual en la EDAR de la cuenca del Carraixet (Alboraya).

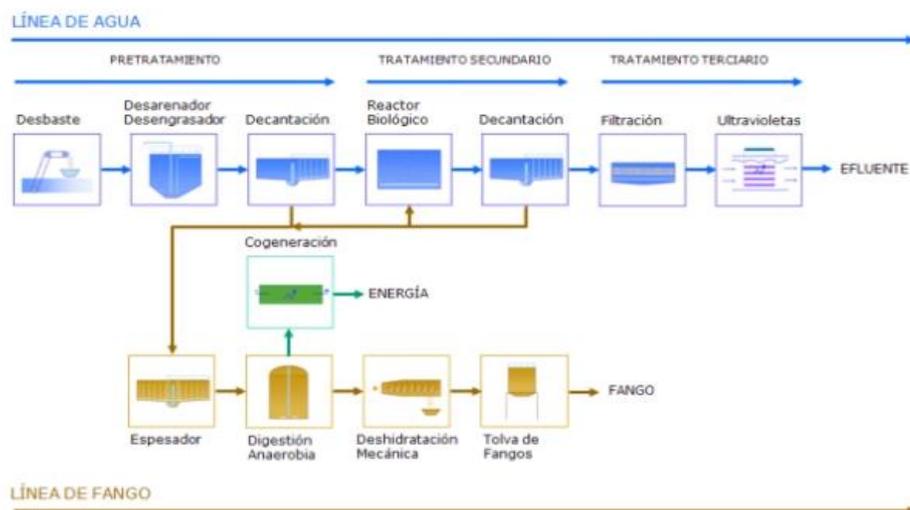


Figura 14 - Diagrama de tratamiento de agua residual en la EDAR de la cuenca del Carraixet. Fuente: (EPSAR, 2021).

La EDAR de la cuenca del Carraixet, ilustrada en la figura 15, se ubica espacialmente en las coordenadas UTM (ETRS 89 huso 30) X:729250; Y:4375657; Z:3, en el margen del barranco del Carraixet (figura 16), antes de su desembocadura al mar mediterráneo.



Figura 15 - EDAR cuenca del Carraixet.

Fuente: (Institut Cartogràfic Valencià, 2021).



Figura 16 – Ubicación espacial de la EDAR de la cuenca del Carraixet antes de la desembocadura de la cuenca del Carraixet en el Mar Mediterráneo.

Fuente: (Institut Cartogràfic Valencià, 2021).

La EDAR de Bétera, como se ilustra en la figura 17, se encuentra ubicada espacialmente en las siguientes Coordenadas UTM (ETRS 89 huso 30), X:720365; Y:4384760; Z:3. Como se muestra en la figura 18, el caudal de proyecto es de 5.800 m³/d y cuenta con una potencia instalada de 208 kW, sirviendo únicamente este municipio, razón por la cual la dimensión de esta EDAR es considerablemente menor en comparación con la EDAR de la cuenca del Carraixet.



Figura 17 – EDAR Bétera.

Fuente: (EPSAR, 2021).



Figura 18 - EDAR Bétera.

Fuente: (Institut Cartogràfic Valencià, 2021).

En cuanto a lo que se refiere a la EDAR de Bétera, consta de una línea de pretratamiento donde se extraen los residuos sólidos gruesos y finos, continuando con el desarenado y desengrasado, continuadamente, en las dos líneas de reactores biológicos se elimina el nitrógeno y el fósforo mediante fangos activos, y finalmente en los dos decantadores secundarios se extraen los fangos, que son posteriormente compactados y secados en el espesador de fangos y decantador centrífugo respectivamente, para posteriormente ser destinados a agricultura. La figura 19 presenta el proceso de tratamiento de agua residual en la EDAR de Bétera.



Figura 21 - Evolución del número de habitantes de Moncada.

Fuente: (Foro Ciudad, 2021).

La tabla 5 presenta la superficie construida (en m²) por década, así como la posición que ocupa el municipio en un Top nacional y provincial para cada década.

Cada color representa una década, excepto el Negro que representa todos los edificios anteriores a 1900, que suele ser el casco histórico. En el mapa puede apreciarse como ha sido el desarrollo urbanístico de Moncada a lo largo del tiempo.

Tabla 5 – Cantidad de superficie construida en Moncada.

Superficie Construida			
Decada	% Total	Top Provincial	Top Nacional*
<1900	2.85%	<- 28° ->	<- 535° ->
1900-1909	1.40%	<- 66° ->	<- 2043° ->
1910-1919	0.97%	<- 21° ->	<- 389° ->
1920-1929	1.98%	<- 29° ->	<- 466° ->
1930-1939	1.23%	<- 78° ->	<- 904° ->
1940-1949	1.83%	<- 41° ->	<- 825° ->
1950-1959	4.82%	<- 20° ->	<- 347° ->
1960-1969	15.68%	<- 19° ->	<- 226° ->
1970-1979	18.56%	<- 37° ->	<- 368° ->
1980-1989	8.37%	<- 61° ->	<- 774° ->
1990-1999	14.31%	<- 40° ->	<- 563° ->
2000-2009	24.94%	<- 34° ->	<- 513° ->
2010-2019	3.07%	<- 41° ->	<- 643° ->

Fuente: (Foro Ciudad, 2021).

En relación con el comportamiento poblacional para el último año no se presentó aumento o exención del municipio, reportando para el año 2019 la existencia de pocas construcciones nuevas a diferencia del periodo del 2000 al 2009 o del 1960 hasta 1979, donde se puede constatar que se establecieron la mayor parte de edificaciones.

3.2.2. Caracterización poblacional del Municipio de Bétera

Bétera cuenta con una superficie de 75,67 km² perteneciendo a la comarca del Camp de Túria, situada en la provincia de València, a una altitud de 120 metros y a una distancia de 18 km de su capital y a 23 km del mar, como se observa en la figura 22.

El municipio consta de un núcleo urbano central, el de Bétera, con varios núcleos de población en el resto del término municipal, con varias urbanizaciones en cada uno de ellos.

Se sitúa en las últimas estribaciones de la vertiente sur de la Sierra Calderona, limitando con la comarca de L' Horta de València. Sus límites son, al norte, las poblaciones de Náquera y

Tabla 6 – Cantidad de superficie construida en Bétera.

Superficie Construida			
Decada	% Total	Top Provincial	Top Nacional*
<1900	1.37%	<- 35° ->	<- 646° ->
1900-1909	16.55%	<- 2° ->	<- 18° ->
1910-1919	0.26%	<- 60° ->	<- 880° ->
1920-1929	0.50%	<- 81° ->	<- 1232° ->
1930-1939	0.57%	<- 93° ->	<- 1123° ->
1940-1949	1.53%	<- 19° ->	<- 485° ->
1950-1959	1.59%	<- 38° ->	<- 650° ->
1960-1969	5.36%	<- 37° ->	<- 372° ->
1970-1979	14.71%	<- 27° ->	<- 270° ->
1980-1989	9.84%	<- 19° ->	<- 392° ->
1990-1999	14.81%	<- 17° ->	<- 293° ->
2000-2009	30.18%	<- 10° ->	<- 220° ->
2010-2019	2.72%	<- 21° ->	<- 418° ->

Fuente: (Foro Ciudad, 2021).

3.3. Situación ambiental en el Barranco del Carraixet

El barranco del Carraixet Es uno de los accidentes orográficos más importantes de las comarcas de Camp de Túria y de Horta Nord, nace en la Sierra Calderona, concretamente en el término municipal de Gátova y desagua después de un recorrido de 42 km en el mar en la playa de Alboraya, como se muestra en la figura 24.

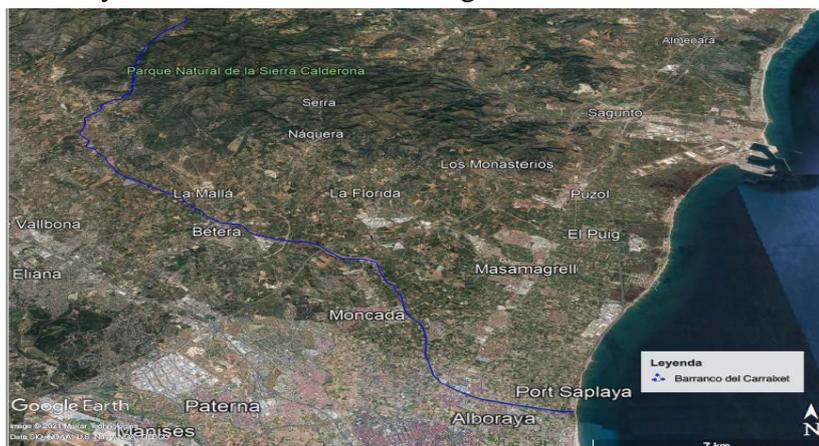


Figura 24 - Barranco del Carraixet.

Fuente: Adaptado de Google Earth 03/2022.

El territorio, en ambas comarcas presenta una importante actividad humana, lo que se traduce en una enorme presión sobre éste en cuanto a su ocupación por los diversos usos del suelo. Este aspecto adquiere una dimensión especialmente importante en la comarca de l’Horta Nord, que corresponde a parte del área metropolitana de la ciudad de València. Aquí existe una importante densidad de población, gran desarrollo de las vías de comunicación y transporte, y polígonos industriales en los diferentes municipios. El resto del territorio se encuentra totalmente ocupado por suelo agrícola dedicado a una agricultura intensiva.

El barranco, normalmente aparece seco y ocasionalmente lleva agua si las lluvias son abundantes. Desde el punto de vista medio ambiental ha sido degradado muchísimo en los últimos años, con vertederos, transformaciones agrícolas incontroladas, pastoreo,

circulación de vehículos, etc. Afortunadamente hoy por hoy hay una pequeña “mancha” de este ecosistema entre el Pont Sec y el Racó de Casans (Moncada y Alfara del Patriarca) que como consecuencia del derramador de la acequia de Bofilla, mantiene la suficiente humedad para que muchas aves aniden en primavera. En esta estación no es extraño ver en el barranco, entre las matas de enea (*Typha dominguensis*), y el agua que circula por su lecho ejemplares de ánade real, gallineta común, garzas comunes, etc.

En la figura 25 se presenta el panorama del Barranco del Carraixet donde por vertidos de agua provenientes principalmente de algunas de las zonas de riego destinadas a la agricultura de frutales como cítrico, se forman humedales naturales.



Figura 25 - Fragmento de humedal natural en el Barranco del Carraixet.
Fotos: Vicent Benedito.

La flora, aunque pobre, presenta especies como albaida (*Anthyllis cytisoides*), adelfa (*Nerium oleander*), enea (*Typha dominguensis*), berro (*Rorippnasturtium-aquaticum*), flor de la viuda (*Trachelium caeruleum*), hierba de San Antonio (*Epilobium hirsutum*), mastranzo (*Mentha suaveolens*), hierba del tomento (*Gnaphalium luteo-album*), ajonje (*Andryala ragusina*), pegamoscas (*Ononis natrix, subsp. ramosissima*), entre otras (Ayuntamiento de Moncada, 2021).

Como se acaba de mostrar, los excedentes de riego facilitan de manera natural la existencia de humedales en el barranco. A lo largo de los años, este humedal natural ha sufrido variaciones, incluso llegando a secarse algunos años de sequía. En contraste, este barranco en amplios tramos de su recorrido se encuentra seco y desprovisto de vegetación, en parte influida por el descenso del nivel freático por la gran demanda de agua por la agricultura. Esto nos muestra que la implementación de humedales artificiales para depurar el agua “*in situ*”, en los núcleos de población de la cuenca del Carraixet, constituiría una alternativa de tratamiento de agua residual que requeriría el uso de menos infraestructura, menos consumo de energía, permitiendo reutilizar el agua tratada para renaturalizar el barranco del Carraixet. Sería, esta, una alternativa de tratamiento basada en la naturaleza que permitiría la renaturalización, posibilitando mantener caudales de calidad que alimenten al barranco del Carraixet para que en unos casos pueda facilitar caudal permanente y en otros una humedad que permita que al menos se presente la vegetación típica de las ramblas del sureste mediterráneo, y que el cauce sea un refugio de fauna y flora en un entorno inhóspito para la diversidad biológica. En las poblaciones y núcleos de población en la ribera de esta rambla, hay una producción constante y fija de aguas residuales, que pasan al sistema de colectores para llevar las aguas a la depuradora de Alboraya, para ser vertidas al mar. Así a estas aguas se les daría una funcionalidad ecológica, con un abaratamiento del coste de su tratamiento.

4. Materiales y métodos

Análisis documental

En esta primera etapa se realizó un análisis bibliográfico de la información disponible del tratamiento de agua residual en la EDAR cuenca del Carraixet y EDAR de Bétera siendo la EPSAR la principal fuente de información. Teniendo en cuenta que este trabajo de grado constituye una parte de un proceso previo de investigación relacionado con el tratamiento de agua residual en la cuenca del Carraixet también se realizó un análisis de las investigaciones precedentes, las cuales estuvieron relacionadas con la calidad del efluente de las EDAR en la cuenca, diseño de humedales artificiales y fijación de carbono de los humedales artificiales.

La bibliografía de referencia relacionada con el apartado de humedales artificiales de tipo Francés fue el Manual de depuración de aguas residuales y urbanas, How to treat raw sewage with constructed wetlands: an overview of the French systems, Revisión Técnica de Humedales Artificiales de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas grises y aguas domésticas, Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands y Tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales: el Sistema Francés y Biological Wastewater Treatment: Principles, Modeling and Design para el diseño del sistema propuesto.

Trabajo de campo

En esta etapa se realizaron reuniones con diferentes actores para la obtención de información donde por medio de entrevistas fue posible conocer los aportes de otros estudiantes investigadores, docentes doctores que aportaron con su experiencia en otras investigaciones relacionadas con humedales artificiales y energía, actores institucionales que facilitaron datos cartográficos correspondientes a la ubicación de los bombeos y sus respectivos consumos energéticos mensuales.

Las características de las EDAR y los consumos energéticos de éstas, así como los bombeos del sistema de colectores de la cuenca del Carraixet, se obtuvieron de la EPSAR (Entitat Pública de Sanejament d'Aigües Residuals, Generalitat Valenciana). Los consumos de los bombeos de la red de colectores de la depuradora de Bétera se obtuvieron del Ayuntamiento de Bétera. Los consumos energéticos de los bombeos de las calles 158 y 138 del sistema de colectores de Moncada, se obtuvieron el Ayuntamiento de Moncada.

Dimensionamiento

Una vez compilados todos los datos bibliográficos y facilitados por los enlaces en las EDAR, el ayuntamiento de Moncada y el ayuntamiento de Bétera, se realizaron los cálculos de consumos energéticos del tratamiento de agua residual por habitante equivalente en cada uno de los núcleos de población estudiados, de acuerdo con los reportes de consumos de energía de las EDAR, reportes de consumo en las estaciones de bombeo.

Seguidamente se realizó el cálculo del consumo energético para el funcionamiento de humedales artificiales de tipo francés.

El sistema de humedales requiere de energía en el sistema de bombeo, el cual fue calculado teniendo en cuenta los caudales equivalentes que deben ser suministrados al sistema por núcleo poblacional.

Una vez definidos los datos de los habitantes equivalentes que serían atendidos para el tratamiento de agua residual mediante el sistema de humedales, se realizó el diseño de los humedales artificiales de tipo francés.

Se calculó la huella de carbono emitida por el tratamiento de agua residual mediante EDAR basados en el consumo de energía de la red, de acuerdo al reporte de los factores de emisión reportados por la entidad prestadora del servicio energético al Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (Gobierno de España).

Así mismo, se calculó la huella de carbono que supondría en el sistema de humedales si la energía del sistema de bombeo fuera suministrada por la misma comercializadora, además se calculó la huella de carbono de las celdas de los HAFSsV Francés mediante los lineamientos de la metodología de cálculo del capítulo 6 del volumen 5 de las Directrices del IPCC del 2006, y finalmente, se realizó el análisis, interpretación y discusión de los datos obtenidos.

5. Resultados y discusión

En este trabajo se ha concentrado en la depuración de aguas residuales del municipio de Bétera y el complejo de depuración constituido por la EDAR de Cuenca del Carraixet, del cual hace parte la red de colectores que transporta a dicha depuradora el agua residual procedente de núcleos de población y municipios de la zona noroeste del área metropolitana de València.

En los cálculos del sistema correspondiente a la EDAR de Cuenca del Carraixet fueron realizados incluyendo también una parte del sistema de colectores de la población de Moncada, que presenta dos bombeos, en concreto calles 158 y 138 como se muestra en la figura 26.



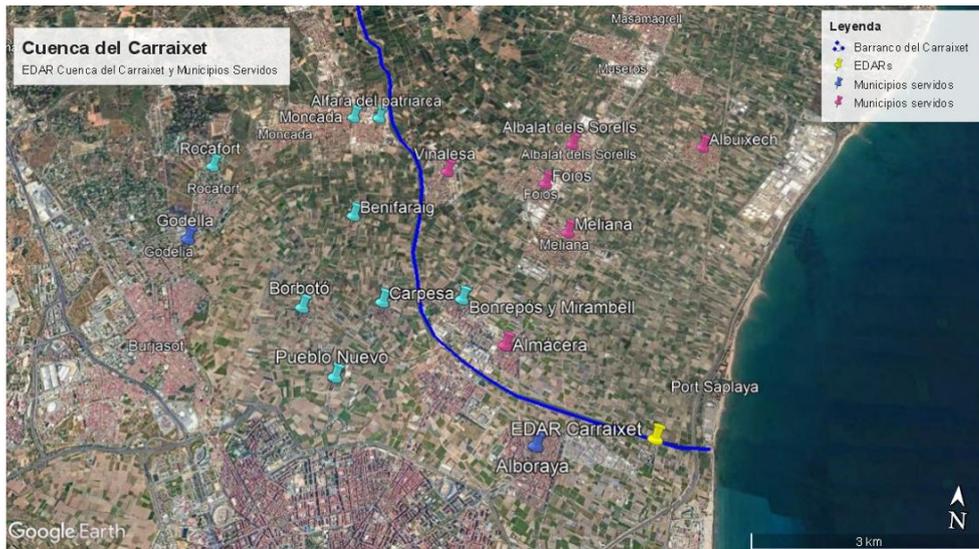
*Figura 26 – Calles 138 y 158 en las cuales son realizados bombeos localizados.
Fuente: Adaptado de Google Earth 04/2022.*

Los resultados están estructurados de forma tal que se presentan los consumos energéticos de las propias EDAR detallando los consumos asociados al transporte del agua residual en la red de colectores asociados a cada planta depuradora. Posteriormente se presentan los consumos energéticos de la operación del sistema de humedales propuesto para algunos de los núcleos de población. Finalmente se valora la diferencia en cuanto a consumos energéticos de la depuración en EDAR frente a los producidos en la depuración mediante los humedales artificiales de tipo Francés que se proponen

Finalmente se presentan los cálculos de la huella de carbono para cada una de las alternativas de tratamiento de agua residual.

5.1. Consumos de energía en el tratamiento convencional EDAR Cuenca del Carraixet

En la figura 27 se presenta la ubicación espacial de la EDAR cuenca del Carraixet y los municipios servidos.



*Figura 27 - EDAR Cuenca del Carraixet y Municipios Servidos.
Fuente: Adaptado de Google Earth 03/2022.*

En la tabla 7 se presentan las generalidades de la ficha técnica correspondiente a la EDAR Cuenca del Carraixet.

Tabla 7 – Información general EDAR Cuenca del Carraixet.

Datos Funcionamiento					
Caudal 36.818 m ³ /día			Población servida habitantes equivalentes 133.592		
Rendimiento SS 95 %		DQO 92		DBO5 96	
Ficha Técnica					
Línea de Agua	Pretratamiento	Tratamiento primario	Tratamiento secundario	Tratamiento terciario	Desinfección
	Reja de gruesos	Decantación	Fangos activados	Coagulación Floculación	Ultravioletas
	Reja de finos		Eliminación fósforo		
	Tamizado				
	Desarenador				
Desengrasador					
Línea de fangos	Espesador	Estabilización	Deshidratación	Generación Eléctrica	
	Gravedad	Anaerobia	Centrífuga	Cogeneración	
	Flotación				

Fuente: Adaptado Cuenca del Carraixet (EPSAR, 2021).

Dentro de la información general de la EDAR de la cuenca del Carraixet, se encuentra que está ubicada en el municipio de Alboraya, el caudal de proyecto es de 40.000 m³/día, cuenta con una potencia instalada de 2368 kW y sirve los municipios descritos en la tabla 8.

Tabla 8 - Municipios Servidos EDAR Cuenca del Carraixet.

Municipios Servidos Depuradora Cuenca del Carraixet	
Albalat Dels Sorells	Godella
Alboraya	Meliana
Alfara Del Patriarca	Moncada
Almassera	Rocafort
Bonrepos I Mirambell	Tavernes Blanques
Foios	València
Vinalesa	

Fuente: Adaptado Cuenca del Carraixet (EPSAR, 2021).

A continuación, se expondrán los cálculos realizados en relación a la energía utilizada para el tratamiento del agua residual de los núcleos poblacionales presentados en la tabla 9, teniendo en cuenta los consumos energéticos correspondientes al transporte del agua residual mediante bombeos y el consumo energético de la EDAR. En los cálculos se ha tenido en cuenta la población en habitantes equivalentes de las poblaciones en estudio.

Tabla 9 – Centros poblados analizados.

Grupos Poblacionales	Habitantes Equivalentes
Benifaraig	1476
Borbotó	1079
Carpesa	1645
Moncada Municipio	31791
Alfara del Patriarca	4902
Foios	11129
Albalat dels Sorells	6028
Meliana	16382
Mocancada III	1094
Vinalesa	5096
Almàssera	11108
Bonrepòs i Mirambell	5583

Fuente: Adaptado EPSAR (EPSAR, 2021).

Con base en la información reportada por la EPSAR en relación a la energía producida por cogeneración en la planta y la energía consumida de la red se realizó el cálculo de la energía consumida. Es importante resaltar que la información que reporta la EPSAR como consumo energético, se refiere únicamente a la energía proveniente de la red eléctrica. De igual manera, en estos reportes no se especifica cual es la porción de energía utilizada para el proceso de depuración del agua residual y la porción destinada para el funcionamiento de los equipos generadores de energía. En este caso específico se analizó el consumo de energía en la cual no se especificó en los datos suministrados la porción correspondiente al funcionamiento de equipos o iluminación teniendo en cuenta que no existen datos a ese nivel de detalle.

En la tabla 10 se presentan los consumos energéticos de la EDAR Cuenca del Carraixet, permitiendo calcular los consumos en relación a los habitantes equivalentes.

Tabla 10 – Consumos energéticos EDAR Cuenca del Carraixet kWh/hab eq.

Cuenca del Carraixet							
Año	Potencia instalada kW	Energía generada por cogeneración kWh/año	Consumo energía de la red kWh/año	Población servida Hab eq	Consumo Total kWh/año	Consumo de energía de la red kWh/hab eq	Consumo de energía total kWh/hab eq
2018	660	2193976,0	1754350,0	155674,0	3948326,0	11,27	25,36
2019	660	2549859,0	1398467,0	144633,0	3948326,0	9,67	27,30
2020	660	2513852,0	1434474,0	133592,0	3948326,0	10,74	29,56
Promedio						10,56	27,41

Fuente: Adaptado (EPSAR, 2021).

Como es posible observar en los resultados, la energía utilizada por la disponibilidad de la cogeneración en la planta de Cuenca de Carraixet es mayor que el consumo de energía proveniente de la red eléctrica, dejando en evidencia que el proceso de cogeneración del biogás en la EDAR apacigua considerablemente la dependencia de suministro por parte de la red como se representa en la figura 28.

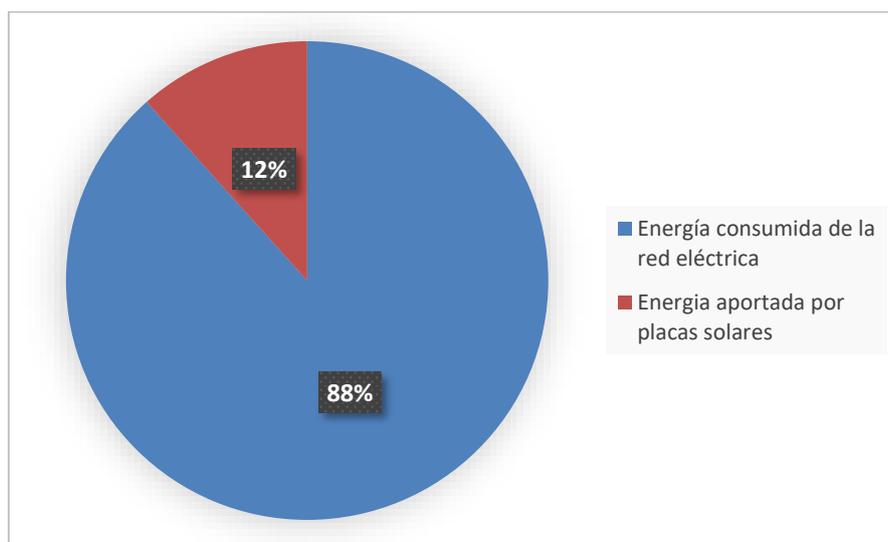


Figura 28 – Energía total de depuración EDAR Cuenca del Carraixet.

5.1.1. Consumos energéticos del sistema de bombeo EDAR Cuenca del Carraixet

El transporte del agua residual a la EDAR Cuenca del Carraixet es realizado mediante estaciones de bombeo de agua residual (EBAR), en la figura 29, se presenta la ubicación espacial de las 11 EBAR existentes.



Figura 29 – Estaciones de bombeo para el transporte del agua residual a la EDAR Cuenca del Carraixet. Fuente: (EPSAR, 2021).

El consumo energético relacionado con el transporte del agua residual desde cada uno de los núcleos de población hasta la EDAR Cuenca del Carraixet, fue analizado mediante dos vías. La primera los reportes de los registros de la energía activa de los contadores presentados en la figura 30, y la segunda alternativa de análisis fue mediante el cálculo de los consumos energéticos a partir de los registros de potencia y horas de funcionamiento de cada una de las EBAR.

Fue realizado mediante estas dos vías dado que se presentaron diferencias en los consumos de los registros de los contadores en comparación con los registros de potencia y horas de funcionamiento, siendo que los datos de potencia y horas de funcionamiento permitieron mayor nivel de detalle en cuanto a los consumos pues se presentan datos de las bombas, fue posible analizar que mediante los reportes de potencia y horas de funcionamiento los datos fueron más confiables.

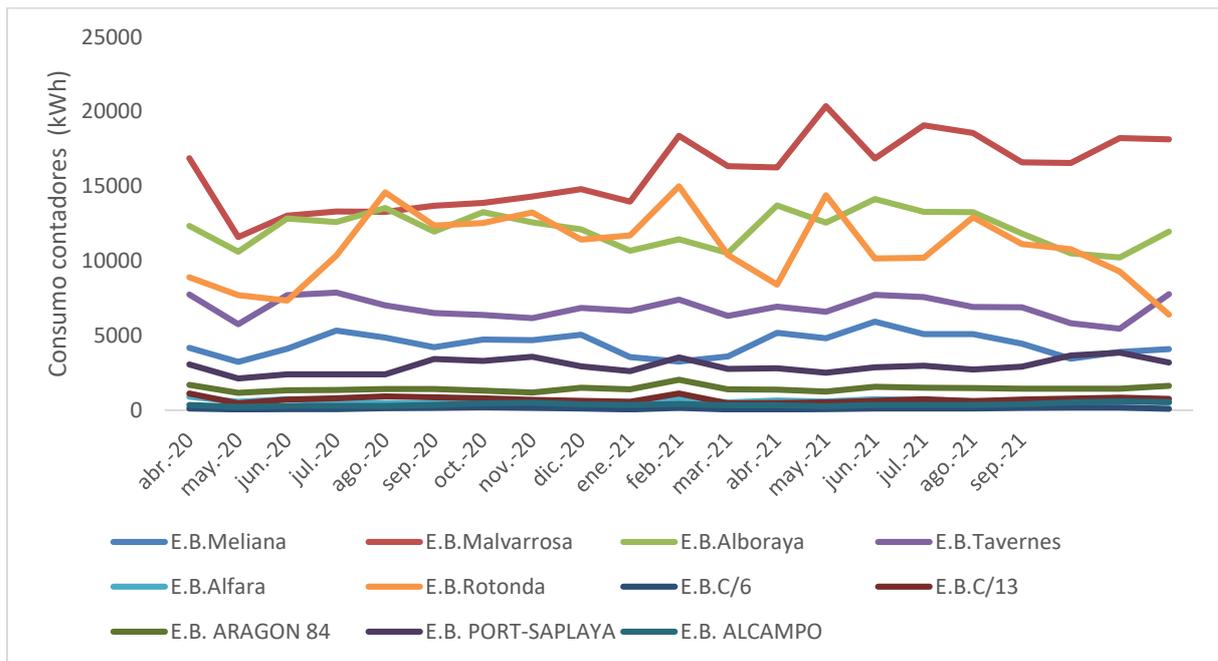


Figura 30 - Registro de consumo energético del bombeo de contadores kWh.

Partiendo de los consumos mensuales de la energía activa de cada una de las EBAR se obtuvo una media de consumo anual para cada estación de bombeo como se presenta en la tabla 11.

Tabla 11 – Media de consumo anual de los contadores para cada estación de bombeo kWh.

EBAR	Media anual kWh
E.B.Meliana	4428,0
E.B.Malvarrosa	15920,7
E.B.Alboraya	12200,9
E.B.Tavernes	6868,2
E.B.Alfara	603,3
E.B.Rotonda	10926,3
E.B.C/6	120,5
E.B.C/13	730,8
E.B. Aragon 84	1452,1
E.B. Port-Saplaya	2963,9
E.B. Alcampo	383,2

Fuente: Adaptado EPSAR (EPSAR, 2021).

En relación a la información suministrada de la potencia de cada una de las bombas y las horas de funcionamiento se calculó el consumo energético como el producto de la potencia y el tiempo de utilizado para cada EBAR, como se presenta en la ecuación 1.

$$E = P * t \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

E = Energía (kWh)

P = Potencia (kW)

t = Tiempo (h)

Como resultado se presenta en la figura 31 el consumo energético mensual de los registros para cada una de las EBAR.

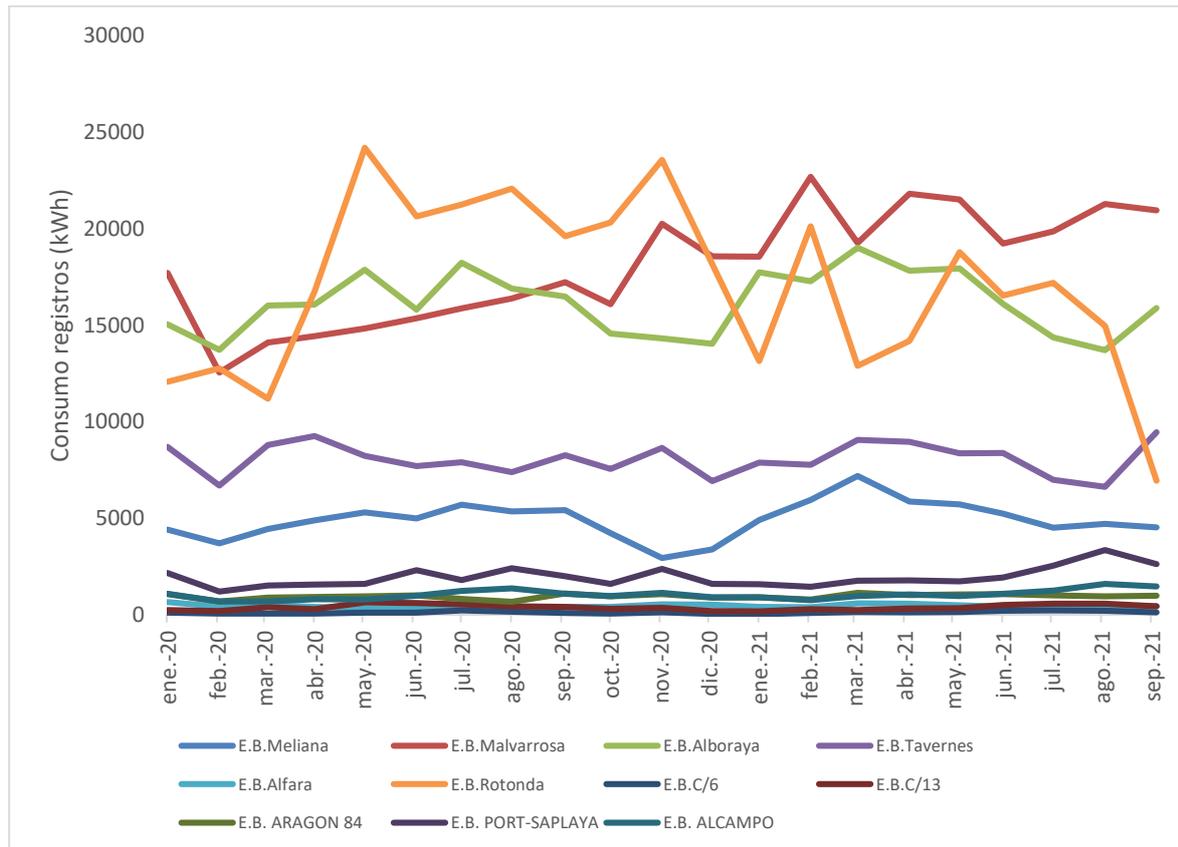


Figura 31 - Registro de consumo energético del bombeo de contadores kWh.

Una vez calculado el consumo energético a partir de los reportes de potencia y tiempo de funcionamiento de las EBAR se obtuvo una media de consumo anual, como se presenta en la tabla 12.

Tabla 12 – Media de consumo anual de los registros para cada estación de bombeo kWh.

EBAR	Media anual kWh
E.B.Meliana	4923,2
E.B.Malvarrosa	18020,0
E.B.Alboraya	4923,2
E.B.Tavernes	18020,0
E.B.Alfara	4923,2
E.B.Rotonda	18020,0
E.B.C/6	4923,2
E.B.C/13	18020,0
E.B. Aragon 84	4923,2
E.B. PORT-SAPLAYA	18020,0
E.B. Alcampo	4923,2

Fuente: Adaptado (EPSAR, 2021).

Al realizar un análisis de los resultados generales de los consumos energéticos de las EBAR según la procedencia de los datos bien sea por los registros de la energía activa en los contadores o por el cálculo basados en los reportes de potencia y tiempo, se identificaron diferencias como se ilustra en la figura 32. Mayoritariamente los reportes de los registros de tiempo y potencia de cada una de las bombas son mayores que los reportes de los contadores. Al verificar la información se percibió que esta diferencia puede estar asociada a que en los reportes de los contadores no se haya suministrado la información del total de las bombas utilizadas en cada EBAR, a diferencia de los datos suministrados por la EPSAR en relación a los registros de tiempo y potencia, razón por la cual se consideran más detallados los datos calculados a partir de los registros de tiempo y potencia.

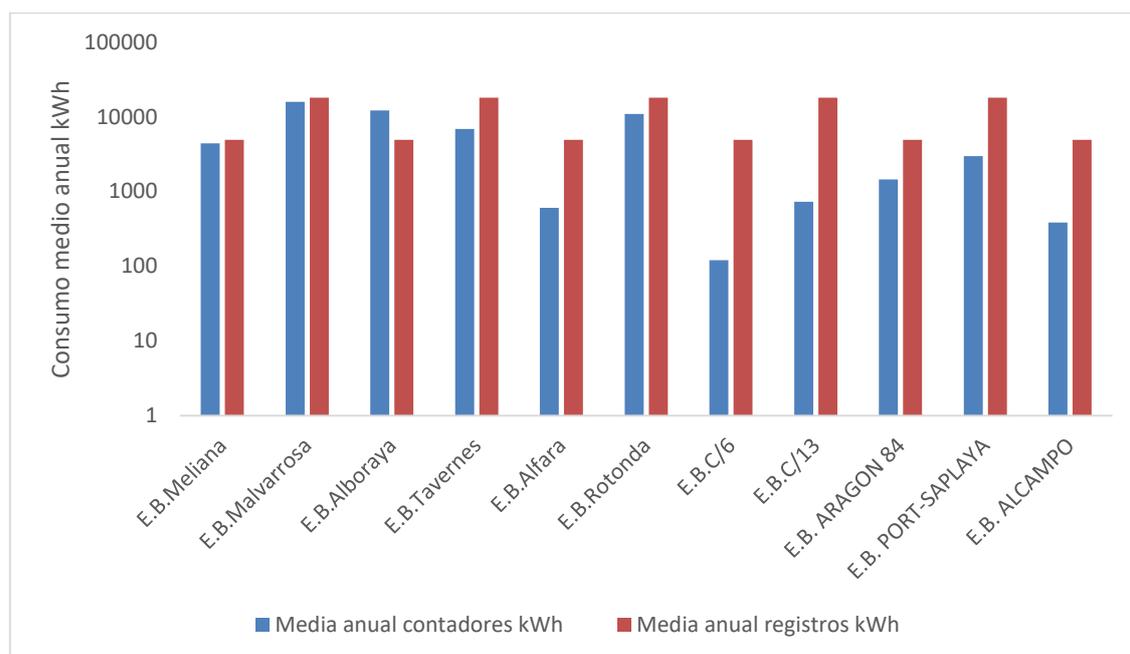


Figura 32 – Media de consumo anual por EBAR según la procedencia de los datos kWh.

5.1.2. Consumos energéticos del sistema de bombeo por núcleo urbano

Una vez calculado el consumo energético de cada una de las EBAR que hacen parte de la EDAR Cuenca del Carraixet, se prosiguió con el cálculo de la energía requerida para el bombeo en cada uno de los núcleos de población integrados a la EDAR según la población en habitantes equivalentes.

A fin de realizar este cálculo, la EPSAR suministró cuál es la procedencia de las aguas residuales para cada una de las estaciones de bombeo como se presenta en la tabla 13.

Tabla 13 – Procedencia de las aguas residuales por EBAR.

EBAR	Procedencia Aguas Residuales
Meliana	Albalat dels Sorells, Foios y Meliana
Malvarrosa-Alboraya	Barrio de Malvarrosa (València)
Alboraya	Alfara del Patriarca, Vinalesa, Albalat dels Sorells, Foios, Meilana, Bonrepòs i Mirambell, Almàssera
Tavernes	Rocafort, Godella, Borbotó, Moncada, Benifaraig, Carpesa
Alfara del Patriarca	Alfara del Patriarca
Rotonda	Alboraya
Calle 6	Polígono Alboraya (Sólo Carrer dels Seders)
Calle 13	Barrio de Malvarrosa (València)
Avenida de Aragón	Alboraya
Port Saplaya	Port Saplaya
Alcampo	Port Saplaya

Fuente: (EPSAR, 2021).

Una vez identificada la procedencia del agua residual por EBAR, se relacionaron los habitantes equivalentes de cada uno de los núcleos de población y la media de consumo anual tanto de los resultados de los contadores como de los registros de tiempo y potencia para cada estación de bombeo.

$$E \text{ hab eq} = \frac{\text{Media de consumo anual EBAR kWh}}{\text{Habitantes equivalentes}} \text{ Ecuación 2}$$

La ecuación 2, permite calcular la energía consumida para el transporte del agua residual a la EDAR Cuenca del Carraixet por habitante equivalente mediante la porción del consumo medio de energía por habitantes equivalentes para cada EBAR y núcleos de población como se presenta en la tabla 14.

Tabla 14 – Energía por población kWh/hab eq año.

Estación de bombeo	Procedencia Aguas Residuales	Hab eq	Consumo de energía media kWh/año registros	Consumo de energía media kWh/año contadores	Hab eq totales	Energía kWh/hab eq año registros	Energía kWh/hab eq año contadores	Energía por población kWh/hab eq año registros	Energía por población kWh/hab eq año contadores
E.B. Tavernes	Rocafort	10693	8072,95	6868,24	66184	0,12	0,10	1304,30	1109,7
	Godella	19500	8072,95	6868,24	66184	0,12	0,10	2378,56	2023,6
	Borbotó	1079	8072,95	6868,24	66184	0,12	0,10	131,61	112,0
	Moncada Municipio	31791	8072,95	6868,24	66184	0,12	0,10	3877,78	3299,1
	Benifaraig	1476	8072,95	6868,24	66184	0,12	0,10	180,04	153,2
	Carpesa	1645	8072,95	6868,24	66184	0,12	0,10	200,65	170,7
E.B. Alboraya	Alfara del Patriarca	4902	16136,48	12200,86	61322	0,26	0,20	1289,93	975,3
	Moncada III	1094	16136,48	12200,86	61322	0,26	0,20	287,88	217,7
	Vinalesa	5096	16136,48	12200,86	61322	0,26	0,20	1340,98	1013,9
	Albalat dels Sorells	6028	16136,48	12200,86	61322	0,26	0,20	1586,23	1199,4
	Foios	11129	16136,48	12200,86	61322	0,26	0,20	2928,52	2214,3
	Meilana	16382	16136,48	12200,86	61322	0,26	0,20	4310,81	3259,4
	Almàssera	11108	16136,48	12200,86	61322	0,26	0,20	2923,00	2210,1
Bonrepòs i Mirambell	5583	16136,48	12200,86	61322	0,26	0,20	1469,13	1110,8	
E.B. Alfara del Patriarca	Alfara del Patriarca	4902	446,40	603,33	5996	0,07	0,10	364,95	493,3
	Moncada III	1094	446,40	603,33	5996	0,07	0,10	81,45	110,1
E.B. Meliana	Albalat dels Sorells	6028	4923,20	4428,05	33539	0,15	0,13	884,85	795,9
	Foios	11129	4923,20	4428,05	33539	0,15	0,13	1633,63	1469,3
	Meliana	16382	4923,20	4428,05	33539	0,15	0,13	2404,72	2162,9

La EPSAR comunicó que, además de las EBAR reportadas, existen otros bombeos locales, los cuales movilizan el agua residual de pequeños sectores.

Teniendo en cuenta esa información fueron suministradas las facturas de los consumos energéticos de dos bombeos locales en Moncada correspondientes a calle 138 y calle 158, en este caso fue realizado el mismo proceso de cálculo descrito, presentando los resultados a en la tabla 15.

Tabla 15 - Consumo energético de bombeos locales mediante reporte de facturas.

Bombeos locales	Habitantes Equivalentes	Energía anual kWh/población registros bombeos	Energía anual kWh/hab eq registros
Calle 158	72	9514,6	132,15
Calle 138	236	24360,0	103,22

En este caso se presentó la singularidad de contar con resultados cercanos a los 130 kWh/hab eq, siendo muy superiores en comparación a la media de las EBAR que está sobre 3,6 kWh/hab eq. Teniendo en cuenta esas diferencias es posible que los datos suministrados por el Ayuntamiento de Moncada para estos bombeos locales estén atendiendo un caudal procedente de mayor población equivalente. Se realizó el reporte a la EPSAR sobre la discordancia en los datos y como medida de ajuste para estas localizaciones puntuales se calculó el consumo energético mediante el promedio de energía requerida en las EBAR del

sistema de colectores de la depuradora de Alboraya (Cuenca del Carraixet), fue seleccionada esta EDAR dado que cuenta con mayor calidad en los datos suministrados, además de ser la EDAR que atiende a la población de Moncada, donde se ubican estos bombeos locales.

En la tabla 16 se presenta el resumen del promedio de energía calculado para estas localizaciones puntuales.

Tabla 16 - Consumo energético de bombeos locales por promedio.

Bombeos locales	Habitantes Equivalentes	Energía kWh/población anual registros bombeos	Energía anual kWh/hab eq registros
Calle 158	72	210,8	2,93
Calle 138	236	690,9	2,93

A continuación, fueron seleccionados los núcleos de población que se ubican al norte de la EDAR de Alboraya (Cuenca del Carraixet), los cuales se presentan en la tabla 8. Teniendo en cuenta que para algunos de estos núcleos sus aguas residuales pasan por distintas EBAR se realizó la suma total de energía anual utilizada en el transporte del agua residual por habitante equivalente, como se presenta en la tabla 17.

Tabla 17 – Total de energía anual utilizada en el transporte del agua residual kWh/hab eq.

Grupos Poblacionales	Habitantes Equivalentes	Energía kWh/población anual registros bombeos	Energía kWh/hab eq contadores anual	Energía anual kWh/hab eq registros	Energía anual kWh/hab eq contadores
Benifaraig	1476	2160,5	1838,1	1,5	0,2
Borbotó	1079	1579,4	1343,7	1,5	1,2
Carpesa	1645	2407,8	2048,5	1,5	1,2
Moncada Municipio	31791	46533,4	39589,3	1,5	1,2
Alfara del Patriarca	4902	19858,6	17622,9	4,1	3,6
Foios	11129	54745,8	44203,1	4,9	4,0
Albalat dels Sorells	6028	29653,0	23942,5	4,9	4,0
Meliana	16382	80586,4	65067,5	4,9	4,0
Mocancada III	1094	4431,9	3933,0	4,1	3,6
Vinalesa	5096	16091,7	12167,0	3,2	2,4
Almàssera	11108	35076,0	26521,1	3,2	2,4
Bonrepòs i Mirambell	5583	17629,6	13329,8	3,2	2,4
Calle 158	72	210,8	-	2,93	-
Calle 138	236	690,9	-	2,93	-

A fin de analizar los datos de los registros de potencia y tiempo en los cuales se considera existe más detalle de los consumos de energía en la figura 33 se presenta el consumo anual de energía por habitante equivalente (kWh/hab eq).

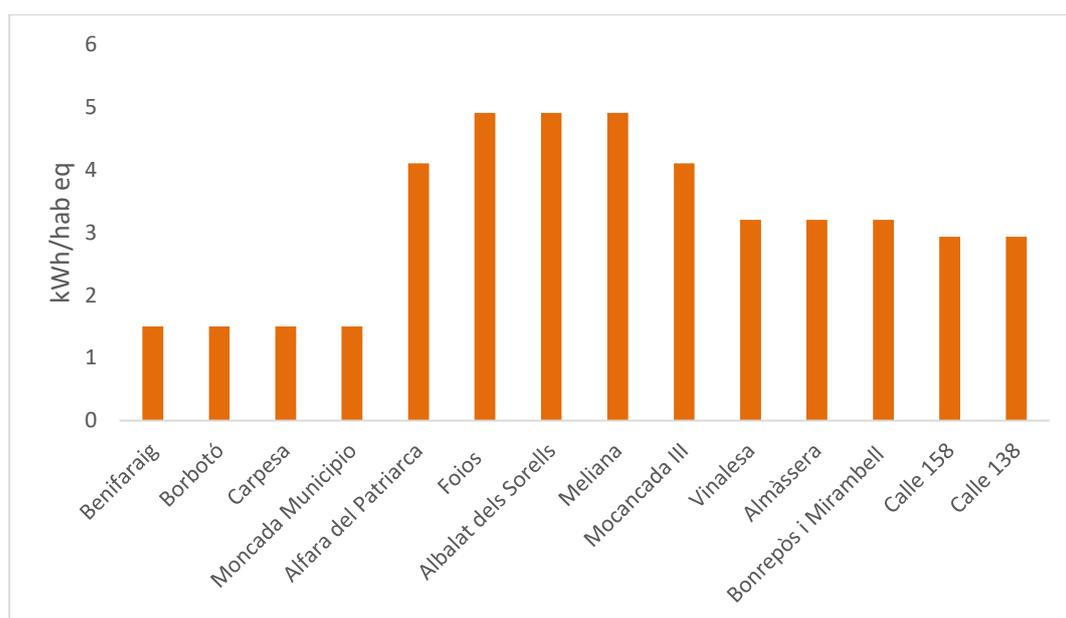


Figura 33 – Energía anual kWh/hab eq registros.

Como resulta evidente, los centros poblados que requieren mayor consumo energético para el transporte del agua residual por habitante equivalente, son aquellos en los que es mayor el número de bombeos necesarios para que su agua residual alcance la EDAR. Así mismo entre los núcleos de población que solo requieren de un bombeo, las diferencias en los consumos son causados por la cantidad de horas en que las bombas están en funcionamiento para el flujo de los caudales a la EDAR.

5.1.3. Balance total del consumo energético para los diferentes núcleos poblacionales

Definido el consumo de energía por habitante equivalente en la EDAR y los consumos energéticos del sistema de bombeo, el paso a seguir fue calcular la energía utilizada para cada núcleo de población, continuando con el cálculo de energía total requerida por habitante equivalente, como se presenta en la tabla 18.

Como es posible observar a partir de los reportes de consumo energético y el consumo de energía de la cogeneración se procedió a calcular el consumo de total el cual corresponde a la suma de la energía de cogeneración y la energía de la red adicionando el consumo de energía de los bombeos para así calcular la energía por hab eq, mostrando finalmente en las dos últimas columnas cual es la porción por hab eq correspondiente al suministro por parte de la red y a la energía obtenida por cogeneración.

Tabla 18 – Consumos energéticos en la depuración mediante EDAR Cuenca del Carraixet.

Grupos Poblacionales	Habitantes Equivalentes	Energía de consumo de la red kWh/hab	Consumo Depuradora total kWh/hab	Consumo total depuradora + bombeos registros kWh/hab	E consumida de la red kWh/hab eq	Energía aportada por la cogeneración kWh/hab eq	Energía total de depuración kWh/hab eq
Benifaraig	1476	15584,7	40450,7	42611,1	12,0	16,8	28,9
Borbotó	1079	11392,9	29570,6	31150,0	12,0	16,8	28,9
Carpesa	1645	17369,1	45082,2	47490,1	12,0	16,8	28,9
Moncada Municipio	31791	335672,5	871251,7	917785,1	12,0	16,8	28,9
Alfara del Patriarca	4902	51758,9	134342,3	154200,9	14,6	16,8	31,5
Foios	11129	117508,1	304997,0	359742,8	15,5	16,8	32,3
Albalat dels Sorells	6028	63648,0	165201,0	194854,0	15,5	16,8	32,3
Meliana	16382	172973,1	448958,7	529545,1	15,5	16,8	32,3
Mocancada III	1094	11551,2	29981,7	34413,7	14,6	16,8	31,5
Vinalesa	5096	53807,3	139659,0	155750,7	13,7	16,8	30,6
Almàssera	11108	117286,3	304421,5	339497,4	13,7	16,8	30,6
Bonrepòs i Mirambell	5583	58949,4	153005,5	170635,1	13,7	16,8	30,6
Calle 158	72	210,8	1973,2	2184,0	13,5	16,8	30,3
Calle 138	236	690,9	6467,7	7158,6	13,5	16,8	30,3

Como es posible evidenciar en los datos obtenidos, el coste energético de depuración de un habitante equivalente ubicado en las poblaciones de la cuenca del Carraixet se encuentra en el rango de 32,3 kWh/hab eq año a 28,9 kWh/hab eq año. Este cálculo resulta de considerar

la energía total consumida en depuración y transporte. En la EDAR de Alboraya se genera energía mediante cogeneración. En nuestros cálculos esta energía también se ha incluido como consumido porque se utiliza en la EDAR. Así de la energía total consumida en EDAR de Alboraya, una parte viene de cogeneración y otra parte se toma de la red eléctrica.

En el caso del consumo de energía suministrada por la red eléctrica se encuentra en el rango de 15,5 kWh/hab eq hasta 12,0 kWh/hab eq, siendo así es posible analizar que para la EDAR Cuenca del Carraixet, la energía suministrada por cogeneración es una parte importante del suministro energético siendo incluso mayor que la energía suministrada directamente de la red.

Como es posible evidenciar, los consumos energéticos se ven influenciados por la cantidad de energía requerida para su transporte mediante bombeos, razón por la cual en el caso de Moncada municipio el consumo total de energía es de 28,9 kWh/hab eq, sin embargo, para las calles 158 y 138 que cuentan con bombeos adicionales el total de energía aumenta para 30,3 kWh/hab eq, mediante el tratamiento en EDAR, siendo esta una de las razones por la cual tratar el agua residual “*in situ*” permitiría evitar los consumos energéticos de los bombeos implementados en estos sectores puntuales.

Teniendo en cuenta que se considera que la energía obtenida por cogeneración en la EDAR Cuenca del Carraixet es considerada una fuente renovable, el impacto en cuanto a huella de carbono será solamente de la parte energética obtenida de la red. En la figura 34 se presentan los consumos energéticos totales y desagregados para cada núcleo poblacional.

Las poblaciones para las que se produce un mayor consumo de la red eléctrica lógicamente corresponden a los que los costes de los bombeos son mayores, ya que la energía consumida para los bombeos nunca procede de cogeneración. Esta sólo se produce y consume en la propia EDAR de Alboraya.

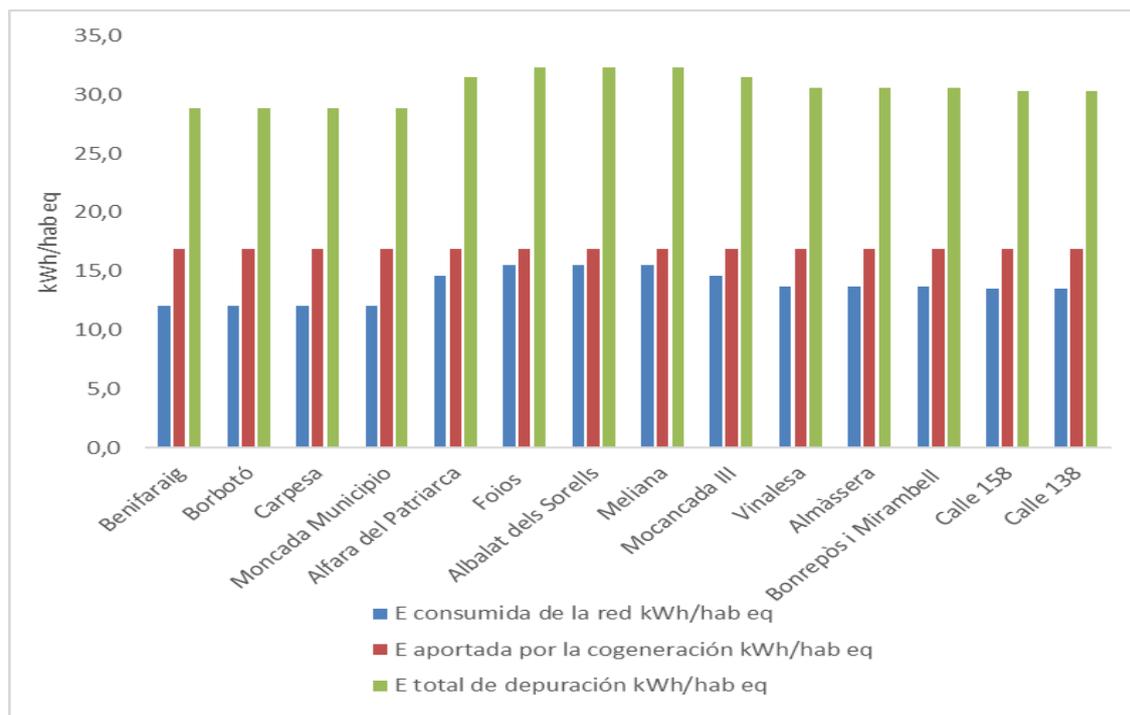


Figura 34 - Consumos energéticos por núcleo poblacional.

5.2. Consumos de energía para el tratamiento convencional EDAR Bétera

El procedimiento realizado fue el mismo descrito anteriormente en los cálculos energéticos de la EDAR cuenca del Carraixet. En la tabla 19, se presentan los datos de funcionamiento y la ficha técnica de la EDAR de Bétera.

Tabla 19 – Información general EDAR Bétera.

Datos Funcionamiento			
Caudal 5.800 m ³ /día		Población servida habitantes equivalentes 16.464	
Rendimiento SS 97 %	DQO 92		DBO5 95
Ficha Técnica			
Línea de Agua	Pretratamiento		Tratamiento secundario
	Reja de gruesos		Aireación prolongada
	Reja de finos		
	Tamizado		Eliminación fósforo
	Tanque Homogenización		
	Desarenador		
	Desengrasador		Eliminación nitrógeno
Línea de fangos	Espesador	Deshidratación	
	Gravedad		Centrífuga

Fuente: Adaptado EDAR Bétera (EPSAR, 2021).

En la tabla 20 se presentan los consumos energéticos EDAR Bétera, permitiendo calcular los consumos en relación a los habitantes equivalentes.

Tabla 20 - Consumos energéticos EDAR Bétera kWh/hab eq.

Bétera							
Energía Generada kWh/año							
Año	Potencia instalada kWp	Placas solares	Consumo energía	Hab eq servidos	Consumo Total	Consumo de energía sin placas/hab eq	Consumo de energía total/hab eq
2019	75,24	20094,0	544306,0	16464,0	560770,0	33,06	34,06
2020	75,24	111689,0	432617,0	16464,0	544306,0	26,28	33,06
Promedio						29,67	33,56

Fuente: Adaptado (EPSAR, 2021).

Como es posible observar en los resultados la porción de energía utilizada por la disponibilidad de la generación de energía eléctrica por placas solares es menor que el consumo de energía proveniente de la red eléctrica, como se representa en la figura 35.

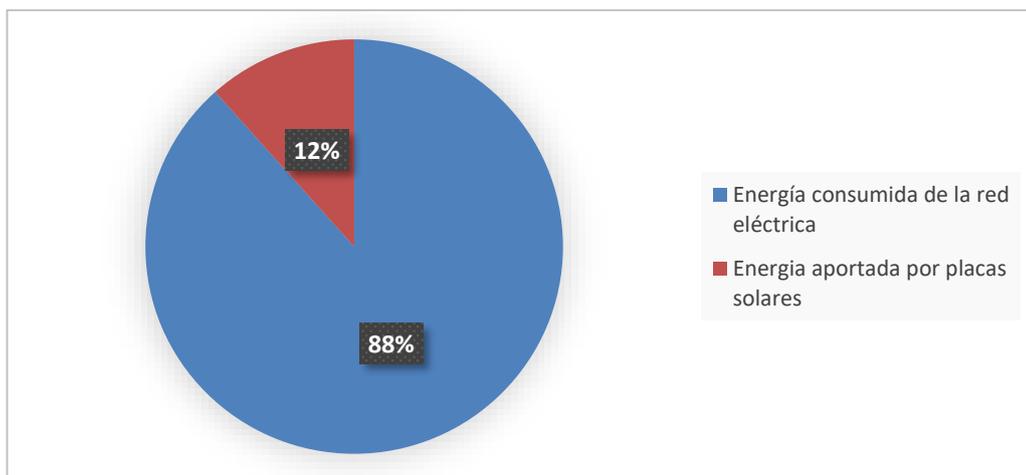


Figura 35- Energía total de depuración EDAR Bétera.

5.2.1. Consumos energéticos del sistema de bombeo EDAR Bétera

Dado que en la EDAR de Bétera no fue posible disponer de los datos correspondientes a los consumos energéticos de los bombes para el transporte del agua residual. El cálculo de los consumos energéticos del sistema de bombeo para la EDAR de Bétera fue realizado a partir de la energía promedio en kWh/ hab eq de la estación de bombeo de menor consumo entre las EBAR de la Cuenca Del Carraixet, Con ello nos aseguramos el obtener resultados lo más conservadores posible.

La EDAR de Bétera sirve únicamente ese núcleo poblacional, para lo que se tuvo en cuenta sus habitantes equivalentes y que en esta EDAR solamente existen dos colectores con bombeo de las tres redes de transporte de agua residual del municipio. En la tabla 21 se

presentan los resultados del consumo energético para el transporte del agua residual en la EDAR de Bétera.

Tabla 21 - Energía anual utilizada en el transporte del agua residual kWh/hab eq.

Grupos Poblacionales	Habitantes Equivalentes	Energía anual kWh/población	Energía anual kWh/hab eq
Montesano	2716,0	3975,5	1,5
Torren Conill	34459,0	0,0	0,0
La Masia	2940,0	4303,4	1,5

5.2.2. Balance total del consumo energético EDAR Bétera

De forma similar a los cálculos realizados en la EDAR Cuenca del Carraixet, para la EDAR de Bétera, una vez hallados los consumos energéticos por habitante equivalente tanto en el sistema de bombeo como en la planta, se procedió a calcular la energía total requerida para el tratamiento del agua residual.

La EDAR de Bétera cuenta con un sistema de placas solares como se describió en el apartado de consumos energéticos de la EDAR, siendo así en este apartado también se diferencia la energía total consumida de la red eléctrica y el consumo energético contando con la porción de energía renovable, como se presenta en la tabla 22.

Tabla 22 - Consumos energéticos en la depuración mediante EDAR Bétera.

Grupos Poblacionales	Habitantes Equivalentes	E anual de bombeos kWh/hab eq	E anual de bombeos población kWh/hab	E de consumo red kWh/población (EDAR+Bombeos)	E de consumo total kWh/población (EDAR+Bombeos)	Energía total de depuración kWh/hab eq	E consumida de la red kWh/hab eq	Energía aportada por placas kWh/hab eq
Betera nucleo urbano	175678,0	-	-	5895819,4	5212095,4	33,6	29,7	3,9
Montesano	2716,0	3975,5	1,5	95125,5	84555,0	35,0	31,1	3,9
Torren Conill	34459,0	-	-	1156456,9	1022345,4	33,6	29,7	3,9
La Masia	2940,0	4303,4	1,5	102970,9	91528,6	35,0	31,1	3,9

Es posible evidenciar en los datos obtenidos, que la energía suministrada por la red para la depuración del agua residual de un habitante equivalente ubicado en Bétera se encuentra entre los 29,7 kWh/hab eq año hasta 31,1 kWh/hab eq año, en cuanto a la energía total de depuración se encuentra entre 33,6 kWh/hab eq año y 35 kWh/hab eq año, lo que permite evidenciar que en esta EDAR el aporte del suministro de energía generada en la planta es menor que la cantidad de energía aportada por el proceso de cogeneración en la EDAR cuenca del Carraixet.

Teniendo en cuenta que se considera que la energía obtenida por placas solares en la EDAR Bétera es renovable, el impacto en cuanto a huella de carbono será solamente de la parte energética obtenida de la red.

5.3. Consumo energético EDAR Cuenca del Carraixet y EDAR Bétera

Considerando que se han calculado los consumos energéticos tanto de suministro por parte de la red eléctrica como de consumo total incluyendo los métodos de generación de cada EDAR, en la tabla 23 se presentan los resultados por habitante equivalente para cada núcleo poblacional.

Tabla 23- Consumo energético EDAR Cuenca del Carraixet y EDAR Bétera.

Municipio	Grupo poblacional	E total de depuración kWh/hab eq año	E total consumida de la red kWh/hab eq año
Bétera	Montesano	35,0	31,1
	Torren Conill	33,6	29,7
	La Masía	35,0	31,1
	Bétera núcleo urbano	33,6	29,7
Moncada	Benifaraig	28,9	12,0
	Borbotó	28,9	12,0
	Carpesa	28,9	12,0
	Moncada Municipio	28,9	12,0
	Alfara del Patriarca	31,5	14,6
	Foios	32,3	15,5
	Albalat dels Sorells	32,3	15,5
	Meliana	32,3	15,5
	Mocancada III	31,5	14,6
	Vinalesa	30,6	13,7
	Almàssera	30,6	13,7
	Bonrepòs i Mirambell	30,6	13,7
	Calle 158	30,3	13,5
	Calle 138	30,3	13,5

Como es posible apreciar en la figura 36, la energía generada por cogeneración en la EDAR Cuenca del Carraixet permite evitar el consumo energético por parte de la red, siendo que en la EDAR de Bétera la energía suministrada por las placas solares tiene un menor nivel de suministro dado que la mayor porción de la energía es suministrada por la red, así mismo es posible identificar que en la EDAR de Bétera la cual cuenta con menores dimensiones el consumo energético por habitante equivalente esta entre los 35 kWh/hab eq y 33,6 kWh/hab eq, a diferencia de la EDAR de Cuenca del Carraixet donde sus valores varían entre los 32,3 y 28,9 kWh/hab eq.

En relación a la energía suministrada por la red para la EDAR de Bétera este valor se encuentra entre los 29,7 kWh/hab eq y 31,1 kWh/hab eq, a diferencia de la EDAR Cuenca de Carraixet en la que es posible evidenciar un menor consumo por parte de la red con valores entre los 12 kWh/hab eq y 15,5 kWh/hab eq.

En conclusión, podríamos constatar que en cuanto al consumo total de energía en EDAR nuestros resultados indican que en las de mayor tamaño resulta más eficiente la depuración en términos energéticos.

En cuanto a la energía consumida de la red es mayor en Bétera porque la generación de energía de las placas solares es menos que el que ofrece la cogeneración en EDAR de Alboraya. Pero resulta evidente que ambas tecnologías suman. Es decir, cabría plantear en ambos casos la posibilidad de la existencia de cogeneración mediante biogás junto con instalaciones fotovoltaicas. En este aspecto también se abre un campo para la estimación de cuál de las dos tecnologías ofrecería mejor relación entre rendimiento energético y emisiones de carbono en su ciclo de vida.

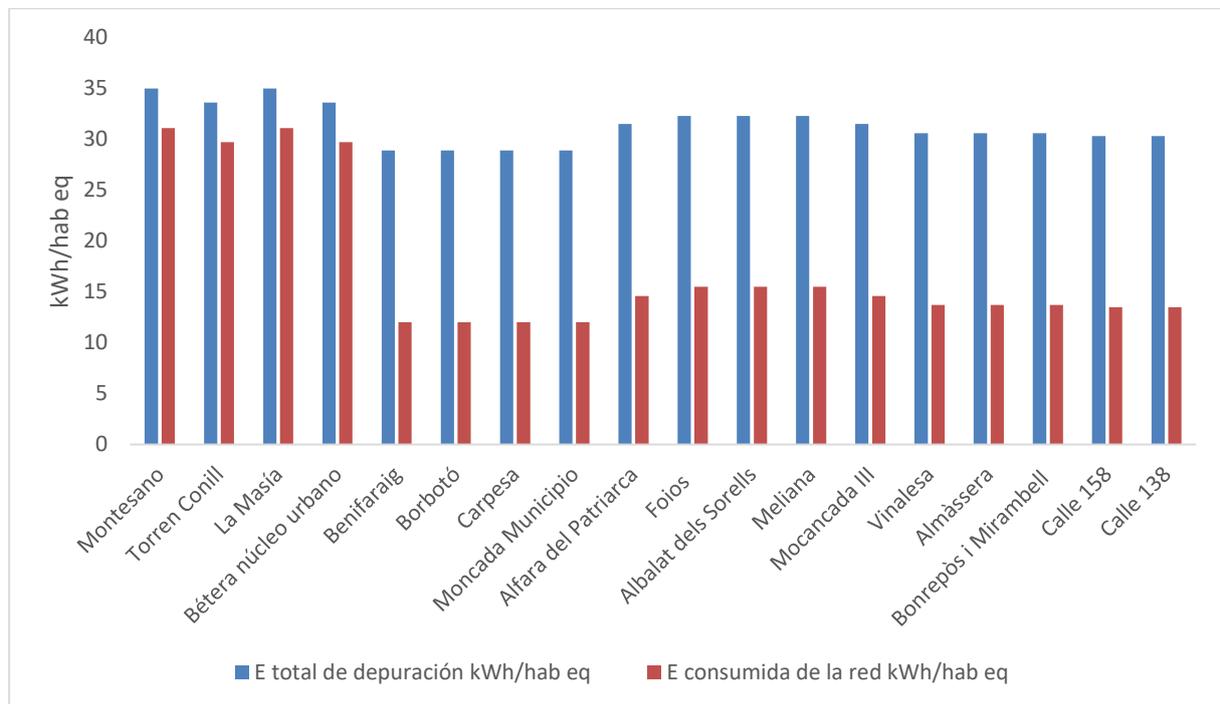


Figura 36 - Consumo energético del tratamiento mediante las EDAR Cuenca del Carraixet y EDAR Bétera en kWh/hab eq.

5.4. Diseño de humedales artificiales tipo Francés

5.4.1 Método de diseño de HAFSsV Francés

Uno de los requisitos para la implementación de humedales artificiales es contar con terreno disponible, lo cual es posible en las diferentes poblaciones aledañas al barranco del Carraixet.

En el presente apartado se realiza el diseño de HAFSsV de tipo Francés, basado en la metodología propuesta por (Henze *et al.*, 2008), tal como se describió en el apartado de materiales y métodos. El sistema general está constituido por dos etapas en las que se trata de manera simultánea agua y lodos. En la primera etapa el tratamiento es realizado por tres

celdas y la segunda etapa es realizado por dos, este sistema es alimentado secuencialmente y funcionan de forma alternada, mientras una celda funciona, las otras descansan, como es posible observar en la figura 5.

Una vez el agua residual ha pasado por las rejillas de desbaste pasa a alimentar a una de las celdas de la primera etapa. En esta etapa se recomienda un periodo de alimentación entre los 3 y 4 días, siendo el periodo ideal 3,5 días.

La etapa inicial permite la retención de sólidos en suspensión y la remoción de contaminantes orgánicos disueltos. Tras funcionar durante 3,5 días la primera celda pasa a una fase de reposo recomendado de 7 días, y así sucesivamente como se presenta en la figura 37. Mientras que el efluente pasa a la segunda etapa que permite remover sustancias orgánicas disueltas y aportar en la nitrificación. Cada celda de la segunda etapa es alimentada durante 3,5 días, con un periodo de reposo de 3,5 días, y así sucesivamente.

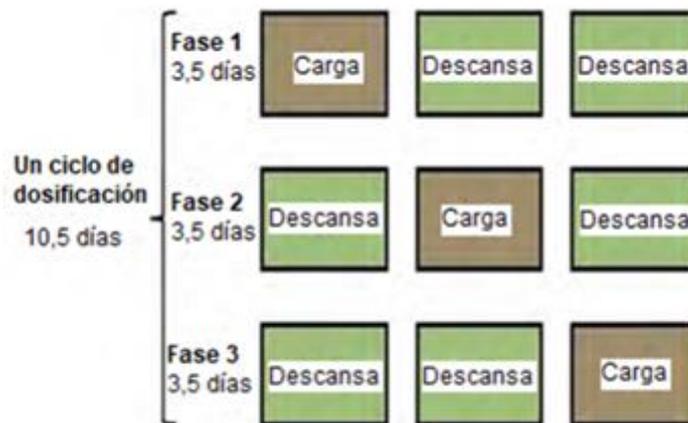


Figura 37- Esquema operativo de la primera etapa del sistema francés, con tres camas alternando los períodos de alimentación y descanso a lo largo de un ciclo completo.
Fuente: *Biological wastewater treatment series* (Dotro, 2017).

Alternar los ciclos de alimentación y reposo, permite controlar el crecimiento de biomasa en cada una de las celdas, evitando su colmatación y permitiendo que el sistema permanezca aerobio.

Paso 1: Definir el flujo del afluente y las concentraciones de los contaminantes.

Los caudales fueron definidos basados en la ecuación 3 donde se estableció que la dotación promedio de agua es de 200 l/hab día.

$$Q = \frac{\beta * P * D}{1000} \text{ Ecuación 3}$$

Q = Caudal medio diario en m³/día

P = Población en habitantes

D = Dotación l/hab día

β = Cantidad de agua de abastecimiento que se convierte en residual (80%).

En la tabla 24 se presentan las cargas contaminantes en función de los parámetros típicos en aguas residuales establecidos en (Henze *et al.*, 2008).

Tabla 24 - Concentraciones de los contaminantes.

Parámetro	Unidades	Fuerte	Media	Débil
DQO	mg O ₂ /l	1200	750	500
DBO ₅	mg O ₂ /l	560	350	230
AGV (acético)	mg/l	80	30	10
NT	mg N/l	100	60	30
NO	mg N/l	25	10	15
NH ₄ ⁺	mg N/l	75	45	20
NO ₃ ⁻ +NO ₂ ⁻	mg N/l	0.5	0.2	0.1
PT	mg P/l	25	15	6
PO	mg P/l	10	5	2
Ortofosfatos	mg P/l	15	10	4
SS	mg /l	600	400	250
SSV	mg/l	480	320	200
Alcalinidad	eqv./m ³	7	4	1
pH		8.0	7.5	7.0

Fuente: *Biological Wastewater Treatment* (Henze *et al.*, 2008).

Paso 2: Calcular las áreas requeridas en función de las tasas de carga de superficie másicas e hidráulicas recomendadas.

Las recomendaciones sobre tasas de carga para la primera etapa del sistema de FV tipo francés se presentan en la tabla 25, utilizadas para proporcionar el tamaño inicial de las unidades de filtrado, como sigue: Área superficial requerida de un filtro basado en una Tasa de carga hidráulica - HLR de $q = 0,37 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$.

Tabla 25 - Cargas máximas de diseño para el diseño clásico de humedales de FV tipo francés en condiciones de clima seco.

Los valores dados son por metro cuadrado de cama o celda en funcionamiento

Etapas de tratamiento	HLR (m ³ /m ² ·d)	DQO (g/m ² ·d)	DBO ₅ (g/m ² ·d)	TSS (g/m ² ·d)	NTK (g/m ² ·d)
Primera etapa	0,37	350	150	150	30
Eliminación ^a		0,80×M _i	0,90×M _i	0,90×M _i	1,1128×M _i ^{0,8126}
Segunda etapa	0,37	70	20	30	15
Eliminación ^b		0,75×M _i	0,80×M _i	0,80×M _i	1,194×M _i ^{0,8622}

^a Todas las correlaciones provienen de Molle *et al.* (2005), excepto NTK de Molle *et al.* (2008), M_i significa carga másica en g/m²·d

^b Todas las correlaciones proviene de Molle *et al.* (2005)

Fuente: *Biological wastewater treatment series* (Dotro, 2017).

$$A1 = \frac{Q1}{q} \text{ Ecuación 4}$$

Q1 = Afluente m³/día

q = HLR m³/ m²

Área superficial requerida de un filtro basado en una tasa de carga de masa de superficie de DBO₅ de $M_i = 150 \text{ g/m}^2\cdot\text{d}$:

$$A1 = \frac{M_i \text{ (carga másica calculada)}}{M_i \text{ (carga másica máxima, tabla 25)}} \text{ Ecuación 5}$$

M_i = Carga de masa de superficie

Haciendo cálculos similares para todos los parámetros considerados, y adoptando las tasas de carga superficial que se muestran en la Tabla 19 para la primera etapa del sistema de FV tipo francés, se obtienen cinco áreas de superficie requeridas diferentes. Escogiendo la de mayor superficie, en el diseño de celdas cuadradas la relación longitud (l) y ancho (w) es:

$$\frac{l}{w} = 1$$

$$A = l * w = w^2$$

$$w = \sqrt{A} \text{ Ecuación 6}$$

Teniendo en cuenta que la primera etapa del sistema de FV tipo francés está compuesta por tres unidades en paralelo ($n = 3$, una en funcionamiento y dos en reposo), el área total requerida para la primera etapa es:

$$AT = n * A1 \text{ Ecuación 7}$$

N = Número de unidades en paralelo

$A1$ = Área de la superficie de mayor magnitud

Paso 3: Especificar las características de las capas de filtro.

Las capas de filtro seguirán las especificaciones francesas, con valores intermedios de los rangos de altura para cada capa se presentan en la tabla 26.

Tabla 26 - Especificaciones del medio filtrante para un diseño de humedal de FV tipo francés.

	Primera etapa		Segunda etapa	
	Profundidad	Material	Profundidad	Material
Borde libre	> 30 cm		> 20 cm	
Capa filtrante (principal)	30 a 80 cm	Grava 2 – 6 mm	30 a 80 cm	Arena 0.25<d ₁₀ <0.4mm y d ₆₀ /d ₁₀ < 5 y menos que el 3% de partículas finas
Capa de transición	10 a 20 cm	Grava 5 – 15 mm	10 a 20 cm	Grava 3 – 12 mm
Capa de drenaje	20 a 30 cm	grava 20 – 60 mm	20 a 30 cm	Grava 20 – 60 mm

Fuente: *Biological wastewater treatment series (Dotro, 2017).*

Paso 4: Determinar las características de cada lote de alimentación.

El nivel de agua que cubrirá el filtro durante cada lote corresponde al volumen de cada lote dividido por el área de superficie del filtro en funcionamiento. Las recomendaciones francesas de los humedales FV son para una capa líquida entre 2 y 5 cm (a los efectos de este estudio se considerarán 3 cm para la carga por lotes). En primer lugar, el volumen por lote se calcula de la siguiente manera:

$$3 \text{ cm} * \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} (\text{carga de lotes en metros}) = \frac{\text{Volumen por celda} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{lote}} \right)}{\text{Área de la cama del filtro en funcionamiento}}$$

Ecuación 8

Luego, el número de lotes necesarios por día se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Número de lotes por día} \left(\frac{\text{lotes}}{\text{día}} \right) = \frac{Q_i (\text{m}^3/\text{día})}{\text{Volumen por celda} (\text{m}^3/\text{lote})}$$

Ecuación 9

Para calcular el caudal de aguas residuales durante el lote, el HLR instantáneo mínimo de 0,5 m³/m² * h se utiliza:

$$\text{HLR lote} (0,5 \text{ m}^3/\text{m}^2 * \text{hora}) = \frac{\text{flujo de lotes}}{\text{Área de la cama del filtro en funcionamiento}}$$

Ecuación 10

Para este sistema se utilizará un valor redondeado al resultado de la operación anterior (flujo de lote) que corregiremos. Si se redondea y se corrige el flujo del lote se debe reajustar al HLR instantáneo, que da un factor de seguridad extra y es un número de trabajo más fácil.

$$\frac{\text{Corrección del flujo de lotes (m}^3/\text{h)}}{\frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}}} = X (\text{m}^3/\text{minutos})$$

Ecuación 11

$$\text{Duración de cada pulso (minutos)} = \frac{\text{Volumen por cada celda (m}^3/\text{lote)}}{X (\text{m}^3/\text{minutos})}$$

Ecuación 12

Debe estar dentro de la gama típica de valores para una alimentación del pulso durante un lote, como se mencionó anteriormente, la alternancia de filtros debe realizarse cada 3,5 días para mantener una buena saturación de oxígeno en el filtro

Diseño de la segunda etapa.

Paso 5: Calcular las características de la entrada de carga contaminante.

La calidad del efluente de la primera etapa es necesaria para utilizar como en fluido a los filtros de la segunda etapa, para el cálculo de la carga hidráulica:

$$\text{Superficie mínima requerida (m}^2) = \frac{Q_i (\text{m}^3/\text{día})}{\text{Limitante hidráulico (m}^3/\text{m}^2\text{día)}}$$

Ecuación 13

La calidad esperada es calculada utilizando las tasas de eliminación de la tabla 19, de la siguiente manera:

$$\text{Superficie mínima requerida (m}^2) = \frac{\text{Carga orgánica (mg/l)(Mi)} * Q_i (\text{m}^3/\text{día})}{\text{Limitante (gr} \frac{\text{contaminante}}{\text{m}^2} * \text{día)}}$$

Ecuación 14

De esta manera se calculan todos los parámetros contaminantes y se compara con la superficie mínima requerida para la carga hidráulica, la más desfavorable (la de mayor magnitud), será utilizada para el resto de cálculos cuando se refiere a la superficie mínima requerida.

$$\text{Eliminado de la 1}^{\circ} \text{ etapa } \left(\text{gr} \frac{\text{contaminante}}{\text{m}^2 * \text{día}} \right) = \frac{\text{Carga orgánica (mg/l)} * \text{Qi (m}^3/\text{día)}}{\text{superficie mínima requerida (m}^2)}$$

Ecuación 15

$$\begin{aligned} \text{Reducción de la 1}^{\circ} \text{ etapa } \left(\text{gr} \frac{\text{contaminante}}{\text{m}^2 * \text{día}} \right) \\ = \text{Eliminado de la 1}^{\circ} \text{ etapa } \left(\text{gr} \frac{\text{contaminante}}{\text{m}^2 * \text{día}} \right) * \% \text{Eliminado de la 1}^{\circ} \text{ etapa (tabla 19)} \end{aligned}$$

Ecuación 16

$$\text{Concentración dirigida a la 2}^{\circ} \text{ etapa (mg/l)} = \frac{\text{Resultante de la 1}^{\circ} \text{ etapa} * \text{Superficie mínima requerida}}{\text{Qi}}$$

Ecuación 17

La concentración final de la primera etapa, es la carga orgánica que recibe la segunda etapa, se repite el mismo procedimiento del paso 5 para la segunda etapa concluyendo en la concentración del efluente de salida.

Paso 6: Dimensiones de los filtros y cálculo de la concentración del efluente final.

La segunda etapa típica del sistema FV francés tiene dos filtros en paralelo, alternando su funcionamiento cada 3,5 días. Esto también se adoptará aquí ($n = 2$). Las dimensiones de cada filtro se basan en las tasas máximas de carga para la segunda etapa siguiendo el mismo procedimiento que la primera etapa. Esto incluye las iteraciones y el dimensionamiento final basado en el área de limitación, es decir, la elección de la superficie mínima requerida (m^2).

Las concentraciones finales de efluentes se calculan basándose en las eficiencias de eliminación de la tabla 25.

Paso 7: Especificar las características de las capas de filtro (2º etapa).

Consultar la tabla 20 y seguir los mismos procedimientos del paso 3.

5.5. Humedales artificiales tipo Francés municipio de Moncada

Como se explica en apartados anteriores Moncada es un municipio con varios núcleos de población. El agua residual de todos ellos se conduce por la red de colectores hasta la depuradora de Alboraya (Cuenca del Carraixet). En este apartado se han proyectado humedales artificiales de tipo francés para todos los núcleos de Moncada que nos permiten sectorizar la depuración. En la depuración convencional, los costes energéticos de la depuración por hab eq. Que habíamos calculado son los mismos para cualquier habitante de la población de Moncada, salvo para los habitantes del entorno de las calles 158 y 138, porque como ya se indicó en estas calles hay unos bombeos que transportan el agua residual de 72 y 236 habitantes respectivamente que quedan a contrapendiente.

Los cálculos para el diseño de humedales artificiales de tipo francés en el municipio de Moncada se realizaron basados en los caudales presentados en la tabla 27 basados en los pasos de desarrollo de los cálculos descritos en el apartado anterior.

Tabla 27- Flujo del afluente.

Municipio	Unidad poblacional	Caudal A. Abastecimiento	Caudal A. Residual	Hab	Hab eq
		(L/día)	(m ³ /día)		
Moncada	Moncada Municipio Nucleo	2729600	2184	13648	20382
	Calle 158	9600	7,68	48	72
	Calle 138	31600	25	158	236
	Urb San Isidro de Benagéber + B.Pilar + Masias (este)	200600	160	1003	1498
	Urb Barrio de Dolores	35400	28	177	265
	Urb Masias Oeste	390800	313	1954	2918
	Badía	871600	697	4358	6508
	Poligono Moncada I	146518	117	456	1094

Una vez detallado el procedimiento realizado para el diseño de los humedales, en la tabla 28 se presentan los resultados generales de los humedales propuestos para el municipio de Moncada.

Tabla 28 - Diseño primera etapa HAFSsV Francés Moncada.

Áreas de la primera etapa									
Municipio	Humedales	DBO5 (m ²)	SS (m ²)	DQO (m ²)	NT (m ²)	Area max de celda (m ²)	Area min 1ra etapa (m ²)	Area 3 celdas (m ²)	Area 1ra Etapa
Moncada	Moncada Municipio Nucleo	8152,4	8734,7	7486,9	7278,9	8734,7	24458,4	26204,2	26204,2
	Calle 158	28,7	30,7	26,3	25,6	30,7	86,4	92,2	92,2
	Calle 138	94,4	101,1	86,7	84,3	101,1	283,2	303,4	303,4
	Urb San Isidro de Benagéber + B.Pilar + Masias (este)	599,1	641,9	550,2	534,9	641,9	1797,6	1925,8	1925,8
	Urb Barrio de Dolores	105,7	113,3	97,1	94,4	113,3	318,0	339,8	339,8
	Urb Masias Oeste	1167,2	1250,6	1071,9	1042,1	1250,6	3501,6	3751,7	3751,7
	Badía	2603,2	2789,1	2390,7	2324,3	2789,1	7809,6	8367,4	8367,4
	Poligono Moncada I	437,6	468,9	401,9	390,7	468,9	1312,8	1406,6	1406,6

En la tabla 29 se presenta el área total de las dos etapas de los humedales propuestos para el municipio de Moncada.

Tabla 29 - Diseño segunda etapa y área total HAFSsV Francés.

Municipio	Humedales	Áreas de la segunda etapa								Área total humedal
		DBO5 (m²)	SS (m²)	DQO (m²)	NT (m²)	Área max de celda (m²)	Área min 2da etapa (m²)	Área 2 celdas (m²)	Área 2da Etapa	1ra + 2da etapa
Moncada	Moncada Municipio Nucleo	61143,0	43673,6	37434,5	14557,9	61143,0	16305,6	122286,1	122286,1	148490,2
	Calle 158	215,0	153,6	131,7	51,2	215,0	57,6	430,1	430,1	522,2
	Calle 138	707,8	505,6	433,4	168,5	707,8	188,8	1415,7	1415,7	1719,0
	Urb San Isidro de Benagéber + B.Pilar + Masias (este)	4493,4	3209,6	2751,1	1069,9	4493,4	1198,4	8986,9	8986,9	10912,6
	Urb Barrio de Dolores	793,0	566,4	485,5	188,8	793,0	212,0	1585,9	1585,9	1925,8
	Urb Masias Oeste	8753,9	6252,8	5359,5	2084,3	8753,9	2334,4	17507,8	17507,8	21259,5
	Badía	19523,8	13945,6	11953,4	4648,5	19523,8	5206,4	39047,7	39047,7	47415,0
Poligono Moncada I	3282,0	2344,3	2009,4	781,4	3282,0	875,2	6564,0	6564,0	7970,6	

Como se pone en evidencia, cuanto mayor es la cantidad de habitantes equivalentes, mayor es el área requerida para el diseño del HAFSsV Francés, razón por la cual en esta propuesta se expone atender pequeños núcleos poblados en la que se pueda ubicar diferentes humedales artificiales en el territorio.

En la figura 38 y 39 se presenta un ejemplo de la ubicación de los humedales artificiales diseñados.



*Figura 38 - Ubicación espacial HAFSsV Francés calle 158
Fuente: Adaptado de Google Earth 03/2022*



Figura 39 - Ubicación espacial HAFSsV Francés calle 138

Fuente: Adaptado de Google Earth 03/2022

5.5.1. Consumos energéticos en los HAFSsV Francés municipio de Moncada

Para la localidad de Moncada se proyectaron diversos humedales para los núcleos de población existentes en el municipio, para sectorizar la depuración del agua residual, reutilizarla y no tener que llevarla hasta la depuradora de Alboraya.

El análisis del consumo energético de los humedales artificiales de tipo Francés fue realizado durante la etapa de funcionamiento, siendo así, la depuración de agua residual mediante este tipo de humedales se caracteriza por sus bajos costes energéticos, los cuales son básicamente para el funcionamiento de bombas en el caso de que el terreno no permita operar por gravedad. En el caso de Moncada el terreno no permite que el agua en los humedales circule por gravedad y por lo tanto ha sido necesario proyectar bombas. Como se puede observar en la figura 40 que este tipo de humedales cuenta con un sistema de alimentación por impulsos, razón por la cual se ha realizado el cálculo de los consumos energéticos del sistema de bombeo.



Figura 40 - Esquema HAFSsV Francés

Fuente: Biological wastewater treatment series (Dotro, 2017).

Los cálculos fueron realizados a partir de los caudales registrados en la tabla 27. Fue calculada la potencia necesaria para cada una de las bombas y el consumo de energía para el transporte del caudal procedente del sistema de colectores con un suministro de 20 l/s al tanque colector.

Los datos promedio de la ubicación del sistema de bombeo son: altura de 2 metros sobre la red de saneamiento, longitud de 3 metros y diámetro de la tubería en PVC de 15 cm. El sistema cuenta con un filtro de seguridad, 2 codos de 90" y una válvula Chek.

El cálculo de la potencia de la bomba fue realizado mediante la ecuación de Hazen-Williams.

$$HL = \frac{8KQ^2}{g\pi D^4} \text{ Ecuación 18}$$

Donde:

HL = Perdida de carga continua (m)

K = Coeficiente de perdidas

Q = Caudal (m³/seg)

D = Diametro (m)

$$HF = \left(\frac{3.5908 QL^{0.54}}{C D^{2.63}} \right)^{1.85} \text{ Ecuación 19}$$

Donde:

HF = Perdida de carga localizada (m)

Q = Caudal (m³/seg)

L = Longitud (m)

C = Factor adimensional de Hazen-Williams

D = Diametro (m)

La tabla 30 presenta la potencia requerida para el transporte del agua residual en los HAFSsV de tipo Francés de los distintos núcleos de población para el municipio de Moncada.

Tabla 30 - Cálculo de la potencia del sistema de bombeo HAFSsV Francés.

Grupos Poblacionales	Q (m ³ /día)	C Hazen PVC	K filtro	K de 2 codos de 90"	Valula Chek	K total	HF succión (m)	HL succión (m)	Perdidas de energía (m)	E añadida (m)	Potencia teorica kW	P real kW
Moncada Municipio Nucleo	2183,7	150,0	12,0	1,8	2,5	16,3	0,1	6,7	6,8	8,8	4,3	7,2
Calle 158	7,7	150,0	12,0	1,8	2,5	16,3	0,0	1,1	1,1	3,1	0,6	1,0
Calle 138	25,3	150,0	12,0	1,8	2,5	16,3	0,0	1,1	1,1	3,1	0,6	1,0
Urb San Isidro de Benagéber + B.Pilar + Masias (este)	160,5	150,0	12,0	1,8	2,5	16,3	0,0	1,1	1,1	3,1	0,6	1,0
Urb Barrio de Dolores	28,3	150,0	12,0	1,8	2,5	16,3	0,0	1,1	1,1	3,1	0,6	1,0
Urb Masias Oeste	312,6	150,0	12,0	1,8	2,5	16,3	0,0	1,1	1,1	3,1	0,6	1,0
Badía	697,3	150,0	12,0	1,8	2,5	16,3	0,0	1,1	1,1	3,1	0,6	1,0
Poligono Moncada I	117,2	150,0	12,0	1,8	2,5	16,3	0,0	1,1	1,1	3,1	0,6	1,0

Una vez calculada la potencia del sistema de bombeo, fue posible calcular el consumo energético teniendo en cuenta el tiempo de funcionamiento de la bomba para trasportar el

caudal diario de los grupos poblacionales con una frecuencia de 20 l/s, presentándose en la tabla 31 el consumo energético anual de los humedales de tipo Francés por habitante equivalente.

Tabla 31 - Consumo energético anual de los humedales de tipo Francés por habitante equivalente.

Municipio	Grupos Poblacionales	Q diario (m ³ /día)	Q m ³ /s de flujo	P real kW	Tiempo horas	Energía kWh/año	Energía kWh/hab equi año
Moncada	Moncada Municipio Nucleo	2183,68	0,05	7,17	12,13	31750,6	1,6
	Calle 158	7,7	0,02	1,01	0,11	39,3	0,5
	Calle 138	25,3	0,02	1,01	0,35	129,3	0,5
	Urb San Isidro de Benagéber + B.Pilar + Masias (este)	160,5	0,02	1,01	2,23	821,0	0,5
	Urb Barrio de Dolores	28,3	0,02	1,01	0,39	144,9	0,5
	Urb Masias Oeste	312,6	0,02	1,01	4,34	1599,5	0,5
	Badía	697,3	0,02	1,01	9,68	3567,3	0,5
	Poligono Moncada I	117,2	0,02	1,01	1,63	599,7	0,5

Así pues, en el municipio de Moncada los consumos energéticos por habitante equivalente año, para los núcleos de población disgregados si se depura mediante humedales artificiales serían en todos los casos de 0,5 salvo para el núcleo principal de población que sería tres veces mayor.

5.6. Humedales artificiales tipo Francés municipio de Bétera

En el siguiente apartado se desarrollaron los mismos procedimientos del apartado anterior, presentando en la tabla 32, el caudal utilizado para el diseño de humedales artificiales de tipo francés en el municipio de Bétera.

Tabla 32 - Flujo del afluente.

Municipio	Unidad poblacional	Caudal Agua de Abastecimiento	Caudal Agua Residual	Hab	Hab eq
		(L/día)	(m ³ /día)		
Bétera	Bétera núcleo urbano	3757800	3006	18789	175678
	Montesano	58200	47	291	2716
	Torren Conill	738400	591	3692	34459
	La Masía	63000	50	315	2940

En la tabla 33, se presentan los resultados generales del diseño de la primera etapa de los humedales propuestos para el municipio de Bétera.

Tabla 33 - Diseño primera etapa HAFSsV Francés.

Áreas de la primera etapa									
Municipio	Humedales	DBO5 (m³)	SS (m³)	DQO (m³)	NT (m³)	Area max de celda (m²)	Area min 1ra etapa(m²)	Area 3 celdas (m²)	Area 1ra Etapa
Bétera	Montesano	173,8	186,2	159,6	155,2	186,2	3259,2	3259,2	3259,2
	Torren Conill	2205,4	2362,9	2025,3	1969,1	2362,9	41350,8	41350,8	41350,8
	La Masia	188,2	201,6	172,8	168,0	201,6	3528,0	3528,0	3528,0
	Betera nucleo urbano	11223,3	12025,0	10307,1	10020,8	12025,0	210813,6	210813,6	210813,6

En la tabla 34 se presenta el área total de las dos etapas de los humedales propuestos para el municipio de Moncada.

Tabla 34 - Diseño segunda etapa y área total HAFSsV Francés.

		Áreas de la segunda etapa							Area total humedal
Municipio	Humedales	DBO5 (m³)	SS (m³)	DQO (m³)	NT (m³)	Area max de celda (m²)	Area min 2da etapa (m²)	Area 2da etapa(m²)	1ra + 2da etapa
Bétera	Montesano	1303,7	931,2	798,2	310,4	1303,7	2172,8	2607,4	5866,6
	Torren Conill	16540,2	11814,4	10126,6	3938,1	16540,2	27567,2	33080,3	74431,1
	La Masia	1411,2	1008,0	864,0	336,0	1411,2	2352,0	2822,4	6350,4
	Betera nucleo urbano	84174,7	60124,8	51535,5	20041,6	84174,7	140542,4	168349,4	379163,0

En la figura 41 se presenta un ejemplo de la ubicación de los humedales artificiales diseñados.

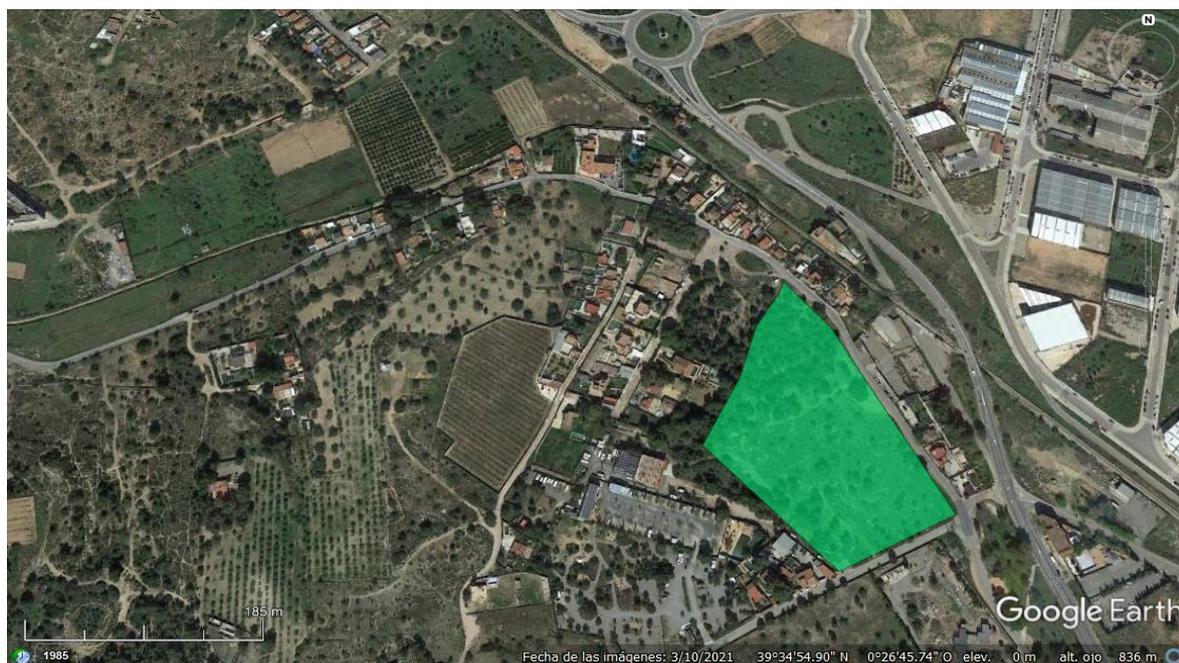


Figura 41- Ubicación espacial HAFSsV Francés en Torren Conill.

Fuente: Adaptado de Google Earth 03/2022.

5.6.1. Consumos energéticos en los HAFSsV Francés municipio de Bétera

El sistema de bombeo para el sistema de humedales propuesto para el municipio de Bétera, fue desarrollado con las mismas características implementadas en el apartado anterior, presentando en la tabla 35 la potencia requerida para el transporte del agua residual en los HAFSsV de tipo Francés.

Tabla 35 - Cálculo de la potencia del sistema de bombeo HAFSSV Francés.

Grupos Poblacionales	Q (m ³ /día)	C Hazen PVC	K filtro	K de 2 codos de 90"	Valula Chek	K total	HF succión (m)	HL succión (m)	Perdidas de energía (m)	E añadida (m)	Potencia teorica kW	P real kW
Montesano	46,56	150,00	12,00	1,80	2,50	16,30	0,02	1,06	1,09	3,09	0,61	1,01
Torren Conill	590,72	150,00	12,00	1,80	2,50	16,30	0,02	1,06	1,09	3,09	0,61	1,01
La Masia	50,40	150,00	12,00	1,80	2,50	16,30	0,02	1,06	1,09	3,09	0,61	1,01
Betera nucleo urbano	3006,24	150,00	12,00	1,80	2,50	16,30	0,08	4,26	4,34	6,34	2,49	4,14

Una vez definida la frecuencia de transporte del agua residual 20 l/s, se presenta en la tabla 36 el consumo energético anual de los humedales de tipo Francés por habitante equivalente.

Tabla 36 - Consumo energético anual de los humedales de tipo Francés por habitante equivalente.

Grupos Poblacionales	Q (m ³ /día)	Q m ³ /s de flujo	P real kW	Tiempo horas	Energía kWh/año	Energía kWh/hab eq año
Montesano	46,56	0,02	1,01	0,65	238,20	0,1
Torren Conill	590,72	0,02	1,01	8,20	3022,15	0,1
La Masia	50,40	0,02	1,01	0,70	257,85	0,1
Betera nucleo urbano	3006,24	0,04	4,14	20,88	31575,94	0,2

La propuesta de humedales artificiales para el municipio de Bétera fue realizada desde los mismos supuestos que los que se han planteado para Moncada. Son municipios en los que hay núcleos poblacionales separados que permiten la sectorización de la depuración de aguas residuales, evitando los sistemas de colectores.

En los diferentes núcleos de población de los municipios de Moncada y Bétera, atender pequeños núcleos de población permite la distribución de humedales de artificiales facilitando la disposición de parcelas para este fin. Siendo diferente en el caso en el cual se establecieran grandes humedales artificiales para tratar conjuntos de núcleos de población o núcleos densamente poblados.

5.7. Consumos energéticos anuales por alternativa de tratamiento.

Realizados los cálculos de consumos energéticos por habitante equivalente para los núcleos de población estudiados mediante la alternativa de tratamiento convencional y la alternativa de HAFSSV Francés, fue posible realizar evidenciar las diferencias en los consumos por cada una de las alternativas.

Teniendo en cuenta que el tratamiento por medio de EDAR es realizado mediante el suministro energético por parte de la red y los métodos de generación de energía implementados en cada EDAR, se realizó la diferenciación entre el consumo total y el consumo suministrado por la red, tal como se presenta en la tabla 37.

Tabla 37- Consumos energéticos anuales por alternativa de tratamiento.

Municipio	Grupo Poblacional	Energía suministrada por la red kWh/hab eq año EDAR	Energía total kWh/hab eq año EDAR	Energía kWh/hab eq año HAFSsV Francés
Moncada	Moncada nucleo urbano	12,0	28,9	1,6
	Calle 158	13,5	30,3	0,5
	Calle 138	13,5	30,3	0,5
	Urb San Isidro de Benagéber + B.Pilar + Masias (este)	12,0	28,9	0,5
	Urb Barrio de Dolores	12,0	28,9	0,5
	Urb Masias Oeste	12,0	28,9	0,5
	Badía	12,0	28,9	0,5
	Poligono Moncada I	12,0	28,9	0,5
Bétera	Montesano	31,1	35,0	0,1
	Torren Conill	29,7	33,6	0,1
	La Masia	31,1	35,0	0,1
	Betera núcleo urbano	29,7	33,6	0,2

A la vista de los resultados obtenidos, es evidente la diferencia en el consumo energético requerido para la depuración de agua residual, siendo que mediante EDAR se encuentra entre 28,9 kWh/hab eq hasta 35 kWh/hab eq año, a diferencia del consumo mediante HAFSsV Francés en donde el consumo es desde 0,1 kWh/hab eq año hasta 1,6 kWh/hab eq año.

Los consumos energéticos del sistema HAFSsV Francés están asociados al sistema de bombeo, dado que para el proceso de depuración en las celdas de los humedales no se requiere de energía externa.

En el sistema de humedales en Moncada se requiere de mayor tiempo de funcionamiento de las bombas de suministro en comparación con las horas de funcionamiento del sistema de HAFSsV Francés de Bétera, generando mayores consumos energéticos para el HAFSsV Francés de Moncada entre 1,6 kWh/hab eq año hasta 0,5 kWh/hab eq año y para Bétera de 0,1 kWh/hab eq año hasta 0,2 kWh/hab eq año.

Las diferencias en el consumo son debido a que en el proceso de depuración mediante HAFSsV Francés se requiere solo suministro energético para el bombeo del agua residual a las celdas, distinto al tratamiento por EDAR el cual requiere energía tanto para el proceso de depuración en la planta como el en transporte mediante EBAR.

Comparando los consumos energéticos entre HAFSsV Francés y EDAR teniendo en cuenta solamente la porción de energía suministrada por la red, el consumo de la depuración convencional sigue siendo superior a la propuesta de humedales.

Hay que destacar que, en las comparaciones anteriores de los consumos energéticos, no sólo es importante el consumo de la red, sino el consumo total, teniendo en cuenta que el consumo total requerido para este proceso por EDAR es tanto la producción energética como de suministro por la red. A diferencia de si se trata un proceso que necesita menos energía como lo son los humedales, en los que dado los bajos consumos energéticos no se requerirían de amplias infraestructuras de energía renovable.

Con los resultados obtenidos constatamos que los costes energéticos de la depuración sectorizada mediante humedales en pequeños núcleos de población de Bétera y Moncada son bajos y bastante similares. Como cabía esperar los núcleos principales de estos municipios, que son los que albergan la mayor población, tienen costes energéticos mayores. En los núcleos pequeños nuestros resultados muestran que la implantación de humedales artificiales es energéticamente favorable y espacialmente muy asumible. En el caso de los núcleos grandes se necesita mucha superficie para la implementación de HAFSSV Francés, y en este sentido este factor es el que podría determinar la instalación o no de humedales. Sin embargo, hay que señalar que estas instalaciones pueden contemplarse como elementos ajardinados que mejoran el paisaje e insistimos, también la biodiversidad y la captura de carbono. Por supuesto elemento esencial la posibilidad de la reutilización del agua regenerada.

En la depuración convencional ciertamente las aguas regeneradas también pueden reutilizarse, y por supuesto también en la renaturalización. Sin embargo, tanto la localización de las grandes EDAR como la centralización de grandes volúmenes de agua no permiten tener la versatilidad en su uso que permiten pequeños caudales muy distribuidos por un territorio. Por ejemplo, la EDAR de Bétera sí vierte al Carraixet y produce de hecho una importante renaturalización del cauce. Además, en su caso distribuir las aguas regeneradas para su reutilización en agricultura implicaría un cierto coste energético para elevar el agua desde la cota del barranco (donde ahora está el vertido) que en esa zona es la cota más baja, pero superado este problema, se podrá distribuir más ampliamente en el territorio a través de los sistemas de regadía existentes.

En el caso de la EDAR de Alboraya, actualmente está vertiendo prácticamente a la misma línea de costa directamente al mar. Distribuir el agua regenerada de esta instalación implicaría más consumos energéticos y una red de distribución más compleja porque se encuentra prácticamente en la misma línea de costa. La circunstancia de poder depurar parte de las aguas que ahora llegan a la depuradora de Alboraya más arriba en la cuenca, ahorraría costes en infraestructuras y en energía como hemos visto, permitiría la reutilización del agua regenerada *in situ* y contribuiría a recargar los acuíferos desde cotas más altas en el territorio, porque como se observa en el Carraixet el agua que en muchos puntos se vierte en su cauce, acaba infiltrándose.

5.8. Huella de Carbono

5.8.1. Huella de Carbono EDAR

Como se mencionó anteriormente, en España según el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, el consumo energético asociado a la depuración de aguas residuales supone el 1% del consumo energético nacional lo que supone una consecuente emisión de gases efecto invernadero.

Teniendo en cuenta los altos requerimientos energéticos y el efecto que puede causar en relación a la huella de carbono, la metodología de análisis fue basada en que las fuentes de suministro de energía de las EDAR de Cuenca del Carraixet y Bétera son de la red y de producción en la planta.

Para este caso se consideró que la porción energética producida dentro de las instalaciones por cogeneración de biogás y placas solares, no genera gases de efecto invernadero. Teniendo en consideración únicamente la porción suministrada por la red, la huella de carbono fue calculada a partir del factor de emisión reportados en el “registro de la huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono”, publicado por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico del año 2021.

A partir de los datos suministrados por la EPSAR, fue posible identificar la comercializadora que suministra el servicio de energía. El cálculo fue realizado al multiplicar la energía suministrada por la red y el factor de emisión de la respectiva comercializadora, para nuestro trabajo hemos supuesto que todas las fuentes de suministro de las EDAR son realizadas por la misma comercializadora, el cual cuenta con un factor de emisión de 0,15 kg CO₂/kWh, siendo que en la columna de energía total de depuración de suministro de la red, se presenta el consumo para cada una de las poblaciones, siendo este valor multiplicado por el factor de emisión y finalmente en la última columna presentado en unidades de tonelada de CO₂/año.

En la tabla 38, se presenta los resultados de emisión de huella de carbono de acuerdo a los consumos energéticos de la depuración del agua para cada grupo poblacional de análisis.

Tabla 38 - Huella de carbono por grupo poblacional EDAR.

Grupos Poblacionales	E total de depuración de suministro de la red kWh/población año	Huella de carbono Factor 2020 (kg CO ₂ /año)	Huella de carbono Factor 2020 (Ton CO ₂ /año)
Benifaraig	17745,1	2661,8	2,7
Borbotó	12972,2	1945,8	1,9
Carpesa	19776,9	2966,5	3,0
Moncada Municipio	382205,9	57330,9	57,3
Alfara del Patriarca	71617,4	10742,6	10,7
Foios	172253,9	25838,1	25,8
Albalat dels Sorells	93301,0	13995,1	14,0
Meliana	253559,5	38033,9	38,0
Mocancada III	15983,2	2397,5	2,4
Vinalesa	69899,0	10484,9	10,5
Almàssera	152362,3	22854,3	22,9
Bonrepòs i Mirambell	76578,9	11486,8	11,5
Montesano	84555,0	12683,3	12,7
La Masia	91528,6	13729,3	13,7
Calle 158	971,01	145,65	0,1
Calle 138	3182,74	477,41	0,5
Bétera núcleo urbano	5212095,4	781814,3	781,8
Total			1009,5

Como es posible observar, deduciendo que todas las fuentes de suministro de energía eléctrica son realizadas por la misma entidad comercializadora según el reporte del factor de carbono para el año 2020 se estarían emitiendo 1009,5 toneladas de CO₂ al año, donde el núcleo urbano de Bétera es el mayor emisor, dado que es el núcleo poblacional con mayor cantidad de habitantes equivalentes de este municipio en el cual la EDAR la mayor parte del suministro energético es de la parte de la red.

A pesar de que existe la posibilidad de que la empresa suministradora tenga factor de emisión cero. Aun así, hay que considerar que se produce un consumo energético y que para atenderlo se necesita una infraestructura que implica a su vez materiales y energía tanto “aguas arriba y aguas abajo” en la actividad de la depuración de aguas residuales. Esto implicaría a su vez una huella de carbono de alcance 3.

5.8.2. Huella de Carbono HAFSsV Francés

En relación a la huella de carbono HAFSsV Frances, en este apartado se realiza la especificación de la contratación de una de las diferentes comercializadoras con factor de emisión de 0 kg CO₂/kWh, para el suministro de energía de las bombas en los humedales artificiales.

En la tabla 39, se realiza el cálculo de la huella de carbono que sería producida por el consumo energético en el bombeo de los HAFSsV Frances, realizando el supuesto de contar con la misma comercializadora que suministra energía a la EDAR como se desarrolló en el apartado anterior.

Tabla 39 - Huella de carbono HAFSsV Francés.

Municipio	Humedales HAFSsV Francés	Energía kWh/ hab eq año HAFSsV Francés	Huella de carbono Factor 2020 (kg CO ₂ / año)
Moncada	Moncada nucleo urbano	1,6	0,24
	Calle 158	0,5	0,075
	Calle 138	0,5	0,075
	Urb San Isidro de Benagéber + B.Pilar + Masias (este)	0,5	0,075
	Urb Barrio de Dolores	0,5	0,075
	Urb Masias Oeste	0,5	0,075
	Badía	0,5	0,075
	Poligono Moncada I	0,5	0,075
Bétera	Montesano	0,1	0,015
	Torren Conill	0,1	0,015
	La Masia	0,1	0,015
	Betera núcleo urbano	0,2	0,03
Total			0,84

La huella de carbono producida por la implementación del sistema de humedales HAFSsV Francés con el supuesto de que la energía del sistema de bombeo sea suministrada por la misma comercializadora de la EDAR es de 0,84 kg CO₂/ año a diferencia del método convencional mediante EDAR en el que se llegan a producir 1009,5 kg CO₂/ año.

Conforme a la metodología desarrollada en las investigaciones antecedentes al presente estudio, el trabajo realizado “Propuesta de implementación de humedales artificiales en las EDAR de Vall de Flors y Marines (València) para la mejora de la calidad de las aguas,

fijación de carbono y mejora de la conectividad ecológica del barranco Carraixet” permitió determinar la emisión de gases efecto invernadero, mediante los lineamientos de la metodología de cálculo del capítulo 6 del volumen 5 de las Directrices del IPCC del 2006.

La emisión de gases efecto invernadero en humedales artificiales, son producidas por la actividad bacteriana que tiene lugar en la depuración de aguas residuales urbanas. El CH₄ se produce por metanogénesis, mientras que el N₂O es un producto de la nitrificación y desnitrificación de compuestos de nitrógeno (IPCC, 2013), la capacidad de los humedales HAFSSV Francés para funcionar como sumideros de carbono como se muestra en la siguiente tabla 40.

El balance de la emisión de gases efecto invernadero por parte de los humedales fue realizado expresando todos los elementos en unidades de CO₂ equivalente, a fin de restar la cantidad de emisiones que se fija en los humedales (tanto por la vegetación en procesos de fotosíntesis como en el suelo que actúa como lecho filtrante) las cuales son presentadas en las columnas de fijación de carbono, con las emisiones producidas producto de la actividad bacteriológica como se presenta en la columna de emisiones de CO₂ equivalente, como es posible evidenciar al restar las emisiones producidas por los humedales y las fijadas el resultado es positivo, lo que significa que es mayor la cantidad de emisiones fijadas, lo que convierte al sistema en un sumidero de carbono.

Tabla 40 - Fijación de carbono HAFSsV Francés.

Municipio	Ubicación	Emisiones de CO ₂ e total	Fijación de carbono		Balace de CO ₂ e (ΔCO ₂ e) en humedales		
			kg CO ₂ total	kg CO ₂ e	kg CO ₂ e/año	Ton CO ₂ e/año	Funcionamiento
			kg CO ₂ e (100 años)	kg CO ₂ /m ² *año			
Moncada	Moncada Municipio Nucleo	238975,30	8,63	1281090,04	1042114,74	1042,11	SUMIDERO
	Calle 158	841,76	8,63	4505,59	3663,84	3,66	SUMIDERO
	Calle 138	2766,74	8,63	14830,91	12064,17	12,06	SUMIDERO
	Urb San Isidro de Benagéber + B.Pilar + Masias (este)	7196,14	8,63	94148,10	86951,96	86,95	SUMIDERO
	Urb Barrio de Dolores	1272,53	8,63	16614,37	15341,85	15,34	SUMIDERO
	Urb Masias Oeste	34213,91	8,63	183415,15	149201,24	149,20	SUMIDERO
	Badía	76307,14	8,63	409070,22	332763,08	332,76	SUMIDERO
	Poligono Moncada I	12514,77	8,63	68765,59	56250,83	56,25	SUMIDERO
Bétera	Montesano	14328,56	8,63	50613,37	36284,81	36,28	SUMIDERO
	Torren Conill	181791,89	8,63	642149,72	460357,83	460,36	SUMIDERO
	La Masia	15510,30	8,63	54787,67	39277,37	39,28	SUMIDERO
	Betera nucleo urbano	1034148,90	8,63	3271204,86	2237055,96	2237,06	SUMIDERO

5.9. Discusión general

Caudal de tratamiento mediante el sistema de HAFSsV Francés

Con la finalidad de identificar el efecto que puede causar la implementación de humedales artificiales de tipo Francés en el barranco del Carraixet, primeramente se determinó el caudal total que sería tratado por la propuesta del sistema de humedales construidos realizada como se presenta en la tabla 41.

Tabla 41 - Caudal de tratamiento mediante el sistema de HAFSsV Francés Moncada.

Municipio	Sector Poblacional	Hab. Equivalentes	Q (m ³ /día) Humedal
Moncada	Moncada Municipio Nucleo	20382	2183,68
	Calle 158	72	7,68
	Calle 138	236	25,28
	Urb San Isidro de Benagéber + B.Pilar + Masias (este)	1498	160,48
	Urb Barrio de Dolores	265	28,32
	Urb Masias Oeste	2918	312,64
	Badía	6508	697,28
	Poligono Moncada I	1094	117,2142857
Total		32973	3532,6

Como resultado de la propuesta del sistema de humedales se plantea atender una población total de 32.973 habitantes equivalentes con un caudal de 3532,6 m³/día en el municipio de Moncada, este caudal sería tratado por el sistema de 8 humedales construidos de manera dispersa en el municipio, una vez determinado el caudal total de tratamiento mediante HAFSsV Francés, seguidamente, se comparó el caudal total de tratamiento mediante humedales con el caudal total de tratamiento mediante la EDAR Cuenca del Carraixet, como se muestra en la tabla 42.

Tabla 42 - Caudal a tratar por la implementación de HAFSsV Francés Moncada.

Agua residual tratada por humedales (m³/día)	3532,6
EDAR Cuenca del Carraixet (m³/día)	36818,0
Q a tratar con implementación de humedales por la EDAR (m³/día)	33285
% Q tratado por humedales	9,6

De acuerdo a los datos de tratamiento diario reportados por la EPSAR, implementar el sistema de humedales propuesto correspondería a tratar un 9,6% del agua residual tratado por la EDAR Cuenca del Carraixet, esto en el escenario en el que se desconectara todo el municipio de Moncada, sin embargo la propuestas de humedales está enfocada en atender a los núcleos de población que están fuera del centro urbano del municipio, dado que como fue posible evidenciar en el apartado anterior, los pequeños núcleos poblados requieren menor área para su tratamiento mediante HAFSsV Francés.

De forma similar se realizó el mismo análisis para la EDAR de Bétera, donde se exponen los resultados del caudal total a tratar por el sistema de humedales compuesto por tres HAFSsV Francés en la tabla 43.

Tabla 43 - Caudal de tratamiento mediante el sistema de HAFSsV Francés Bétera.

Municipio	Sector Poblacional	Hab. Equivalentes	Q (m ³ /día) Humedal
Bétera	Montesano	2716	46,56
	Torren Conill	34459	590,72
	La Masia	2940	50,4
	Bétera Municipio Nucleo	175678	3006,24
Total		215793	3693,92

En el municipio de Bétera se propone atender a una población total de 215793 habitantes equivalentes y un caudal de 3693,92 m³/día en un sistema compuesto HAFSsV Francés, ubicados de manera dispersa en el municipio, para continuar con el análisis, en la tabla 44 se presenta el porcentaje del caudal de agua residual que sería tratado mediante humedales construidos.

Tabla 44 - Caudal a tratar por la implementación de HAFSsV Francés Bétera.

Agua residual tratada por humedales (m ³ /día)	36934
EDAR Bétera (m ³ /día)	5315
Q a tratar con implementación de humedales por la EDAR (m ³ /día)	1621
% Q tratado por humedales	69,5

De acuerdo a los datos de tratamiento diario reportados por la EPSAR, implementar el sistema de humedales propuesto correspondería a tratar un 69,5% del agua residual tratado por la EDAR Cuenca de Bétera, en el caso de construir un humedal que atienda el núcleo urbano del municipio, sin embargo, la prioridad del tratamiento “*in situ*” es para los núcleos de población con densidad poblacional baja.

Producción de lodos EDAR

Además de determinar el caudal que se propone tratar mediante humedales construidos de tipo Francés, se realizó el análisis de cómo esta liberación en el caudal podría afectar la producción de lodos, sin embargo en esta ocasión no se obtuvieron datos desagregados por parte de la EPSAR para las EDAR de Cuenca de Carraixet y Bétera; contando apenas con información general de todas las estaciones depuradoras, donde se puede observar que para el último periodo a partir del 2013 la producción de lodos ha sido más o menos constante como se presenta en la figura 42.



Figura 42 - Producción de lodos EPSAR
Fuente: (EPSAR, 2021).

Relacionado con la producción de lodos, la EPSAR reporta que cerca del 90% de los lodos producidos por las EDAR son destinados a la agricultura donde apenas un 9,16% es utilizado para la valorización energética y cerca del 0% es destinado a vertedero como se muestra en la figura 43.

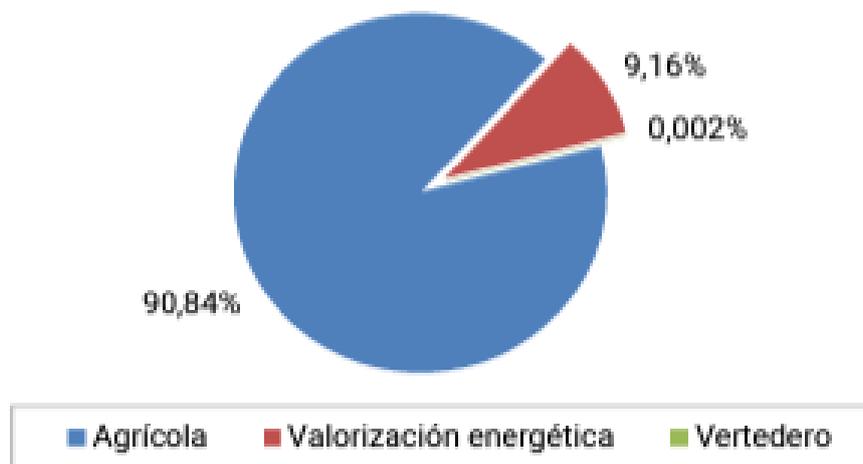


Figura 43 - Destino de los lodos en 2020
Fuente: (EPSAR, 2021).

Lo anterior permitiría deducir que así como en los últimos años, a pesar de los cambios en los caudales de tratamiento de las EDAR no ha afectado de manera significativa la producción de lodos, desconectar de la EDAR Cuenca del Carraixet aproximadamente 9,6% y de la EDAR de Bétera un 69,5% no debería afectar de forma significativa la producción total de lodos que es reportado por la EPSAR, teniendo en cuenta que estos reportes no son

generados por la entidad para cada una de las EDAR, aun así dado que el enfoque de este trabajo está relacionado con los consumos energéticos, en caso de requerir mantener o aumentar por parte de la EPSAR la cantidad de lodos destinados a valorización energética, se podría contemplar la alternativa de disminuir en ese caso, la porción destinada a la agricultura, sin embargo, se sugiere que para investigaciones futuras en esta línea se estudie más afondo la implicación en términos de producción de lodos identificar hasta qué punto es viable para las EDAR disminuir los caudales de tratamiento.

La implementación de humedales artificiales a lo largo de la cuenca del barranco del Carraixet, está relacionado con la contribución en la restauración de ecosistemas propicios para la conservación de la *Mauremys leprosa*, la cual es una tortuga de agua ibérica autóctona de la Comunitat Valenciana, amenazada por la destrucción y la degradación de su hábitat como consecuencia de las transformaciones agrícolas y la ocupación urbanística, la contaminación del agua, el uso masivo de agroquímicos y la competencia de especies exóticas invasoras (Alicanteplaza, 2018).

Adicionalmente, dado a las afectaciones al ecosistema del cauce, la diputación de València presentó el Plan Director del Carraixet, el cual es el instrumento de adaptación al cambio climático y puesta en valor del corredor ecológico desde Calderona hasta el Mar, una de las medidas para favorecer su recuperación tiene relación con la gestión del recurso hídrico; para lo cual el establecimiento de humedales artificiales, además de contribuir con la planeación del establecimiento de un corredor biológico.

Por otro lado, los humedales artificiales contribuyen a impedir la contaminación difusa por nutrientes, mitigando su llegada a las aguas, actuando como filtros retirando el nitrógeno y el fósforo del agua, permitiendo también retener y procesar la materia orgánica y donde se producen procesos de desnitrificación.

6. Conclusiones

La relación entre el agua, la energía y el cambio climático es tan importante como compleja, este estudio nos permite proponer de manera fundamentada soluciones basadas en la naturaleza, como son los humedales artificiales, siendo una alternativa realizable e incluso mejor que la depuración convencional, para el tratamiento de las aguas residuales en determinadas circunstancias, ya que ofrecen varios beneficios, esta investigación plantea como futuros análisis, en términos de producción de lodos identificar hasta qué punto es viable para las EDAR disminuir los caudales de tratamiento.

Este estudio permitió identificar que el consumo energético anual de la red de suministro para el tratamiento de agua residual de los núcleos de población al margen del barranco del Carraixet mediante EDAR se encuentra entre 31,1 kWh/hab eq y 12 kWh/hab eq referente únicamente al suministro energético por parte de la red, a diferencia del rango entre 0,1 kWh/hab eq hasta 1,6 kWh/hab eq, requerido para el tratamiento mediante humedales artificiales de tipo Francés.

La huella de Carbono asociada a los procesos de depuración mediante EDAR depende de la entidad contratada para el suministro energético siendo que para el caso de estudio el factor de emisión es de 0,15 kg CO₂/kWh, lo cual genera 227,1 ton CO₂ /año en divergencia a la huella de Carbono de los humedales artificiales de tipo Francés, los cuales, en el caso de utilizar el mismo factor de emisión se generarían 0,84 kg CO₂/ año asociados al suministro de energía por parte de la misma comercializadora.

Las circunstancias a que nos referimos se concretan en aplicarlas principalmente en pequeños núcleos de población para los que los humedales artificiales requerirían una demanda baja de espacio. Esto aplicaría para zonas rurales, e incluso zonas urbanas, pero en las que el patrón urbanístico haya sido diseñado en pequeños núcleos. En esta última tipología de zona urbana, los humedales artificiales permitirían la sectorización de la depuración de agua residual.

El consumo energético total para la depuración de agua residual mediante EDAR corresponde a la energía obtenida a partir de la red de suministro y a partir de las tecnologías para generación de energía renovable, por lo que es importante tener en cuenta que la implementación y funcionamiento de tecnologías renovables requiere también de energía adicional, es por esto la importancia de evaluar la eficiencia energética de implementación de otras alternativas de tratamiento como lo son los humedales artificiales, dado que además de requerir menor cantidad de energía para el funcionamiento del sistema, la implementación de este tipo de sistemas no requeriría la instalación de grandes infraestructuras complementarias para el suministro de energía renovable.

En países desarrollados una de las principales causas de la pérdida de biodiversidad se debe a la pérdida de hábitat natural. En las comarcas en las que se ha planteado este estudio el intenso uso del suelo ha eliminado el medio natural salvo el cauce de un barranco, que no obstante se encuentra deteriorado. Las aguas regeneradas de los núcleos de población de las riberas del barranco podrían contribuir a la revegetación de dicho curso para que se recuperara su funcionalidad de corredor ecológico desde donde partiera una cierta renaturalización del entorno tal como propone la Estrategia Territorial de la Comunidad Valenciana y el Plan Director del Carraixet, siendo este un instrumento de adaptación al cambio climático.

Implementar un sistema de humedales artificiales a lo largo de la cuenca del Barranco del Carraixet contribuiría con la disminución energética en los procesos de depuración del agua residual, también contribuye con la captura de carbono al actuar como sumidero donde el balance de carbono para los humedales es considerado como las emisiones generadas producto de la actividad bacteriológica menos las emisiones fijadas por la fotosíntesis y el sustrato el cual actúa como lecho filtrante en cada una de las celdas de los humedales.

Adicionalmente la restauración del barranco promueve ecosistemas propicios para la conservación especies, entre ellas la *Mauremys leprosa*, la cual es una tortuga de agua ibérica autóctona de la Comunitat Valenciana, amenazada por la destrucción y la degradación de su hábitat, permitiendo que diversidad de especies de fauna y flora encuentren en el barranco alimento, protección y lugar de reproducción.

Finalmente, contar con información disponible permite la gestión de acciones que permitan restaurar el papel de corredor ecológico del cauce y restituir para la sociedad y para el planeta los servicios ecosistémicos que se han perdido, creando ambientes que constituyan depósitos de carbono de ciclo largo, que contribuyan a la mitigación del cambio climático, permitiendo generar propuestas más acordes a las actuales necesidades ambientales en donde por ejemplo para el municipio de Bétera este estudio hace parte de la línea de investigación que ha permitido considerar cual es la mejor alternativa de tratamiento frente a necesidad de atender los núcleos poblados desconectados a la actual EDAR del municipio.

Bibliografía

- Albadalejo Ruiz, A. (2013). *Parametrización del consumo energético de las depuradoras de aguas residuales de la Región de Murcia*. Alicante.
- Albaladejo Ruiz, A., & Trapote Jaume, A. (2013). Influencia de las tarifas eléctricas en los costes de operación y mantenimiento de las depuradoras de aguas residuales. *Tecnoaqua nº3*, 48-54.
- Alicantepiazza. (2018). *Arranca el proyecto Emys para la conservación de las tortugas autóctonas valencianas*. Obtenido de <https://alicantepiazza.es/ArrancaelproyectoEmysparalaconservacindelastortugasautctonasvalencianas>
- Ayuntamiento de Bétera. (2022). *Historia de Bétera*. Obtenido de <https://www.betera.es/va/portada>
- Ayuntamiento de Constantina. (2021). *Licitación de la estación depuradora de aguas residuales (EDAR) de Constantina*. Obtenido de <http://www.constantina.es/es/actualidad/noticias/Abierto-el-plazo-de-licitacion-de-la-estacion-depuradora-de-aguas-residuales-EDAR-de-Constantina-las-empresas-licitantes-podran-visitar-los-terrenos-este-viernes-16-de-enero-a-las-1100-horas/>
- Ayuntamiento de Moncada. (2021). *El barranco de Carraixet*. Obtenido de <https://www.moncada.es/es/content/barranco-carraixet>
- CENTA, C. d. (2008). *Monográficos Agua en Centroamérica [3]: Manual de depuración de aguas residuales y urbanas*. Zaragoza, España.
- Classici Stranieri*. (2021). Obtenido de <https://www.classicistranieri.com/es/articles/m/o/n/Moncada.html>
- CONAMA. (2018). *Soluciones basadas en la naturaleza, Tomo 20.30*.
- Congreso Nacional del Medio Ambiente . (2019). *Soluciones Basadas en la Naturaleza*. Obtenido de CONAMA: <http://www.fundacionconama.org/que-hacemos/proyectos/soluciones-basadas-en-la-naturaleza/>
- Dotro, G. L. (2017). *Biological wastewater treatment series. Volume 7 (Treatment wetlands)*.
- Ecodena Ecología y Depuración. (2021). *Fitodepuración natural de tipo "Francés"*. Obtenido de <https://ecodena.com/fitodepuracion-de-flujo-vertical-tipo-frances/>
- EPSAR. (2021). Valencia .
- EPSAR. (2021). *Bétera*. Obtenido de Entidad Pública de Saneamiento De Aguasresiduales de la Comunidad Valenciana: <https://www.epsar.gva.es/index.php/betera-0>
- EPSAR. (2021). *Carrícola*. Obtenido de Entidad Pública de Saneamiento De Aguas residuales de la Comunidad Valenciana: <https://www.epsar.gva.es/carricola-0>
- EPSAR. (2021). *Cuenca del Carraixet*. Obtenido de Entidad Pública de Saneamiento De Aguas residuales de la Comunidad Valenciana: <https://www.epsar.gva.es/cuenca-del-carraixet>
- European Commission. (2020). *European Commission*. Obtenido de Nature-based solutions: Benefits and opportunities: <https://cordis.europa.eu/article/id/421771-nbs-benefits-and-opportunities-wild-et-al-2020>

- Foro Ciudad. (2021). *Demografía de Moncada (Valencia)*. Obtenido de <https://www.foro-ciudad.com/valencia/moncada/>
- Generalitat Valenciana. (2003). *II Plan Director de Saneamiento y Depuración de la Comunidad Valenciana*.
- Henze et al. (2008). *Biological Wastewater Treatment: Principles, Modeling and Design*.
- Hoffmann, H., & Platzer, C. (2011). *Revisión Técnica de Humedales Artificiales de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas grises y aguas domésticas*. Eschborn.
- iAguá. (Diciembre de 2021). *La Depuración de Aguas Residuales en España*. Obtenido de <https://www.iagua.es/especiales/depuracion-agua-espana>
- IDAE. (2010). *Consumo energético en el Sector del Agua*.
- IDAE, I. p. (2010). *Estudio de prospectiva. Consumo energético en el sector del agua*. Madrid.
- Institut Cartogràfic Valencià. (2021). *Visor cartogràfic de la Generalitat - Generalitat Valenciana*. Obtenido de <https://visor.gva.es/visor/>
- IPCC. (2013). *Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands*.
- Lucía Moreno, E. L.-A. (2016). *Gestión de la participación en humedales. Una aproximación desde el Life+Albufera*.
- Molle et al. (2005). How to treat raw sewage with constructed wetlands: an overview of the French systems. *Water Sci Technol*, 11–21.
- Murgui Mezquita, M., Cabrera Marcet, E., Pardo Picazo, M., & Cabrera Rochera, E. (2009). *Estimación del consumo de energía ligado al uso del agua en la ciudad de Valencia*. Valencia.
- Pidre, J. R., Salas, J. J., & Sánchez, L. (2007). *Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales: Humedales Artificiales*.
- Salas, J. J. (2018). *Tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales: el Sistema Francés (I)*. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/juan-jose-salas/tratamiento-aguas-residuales-mediante-humedales-artificiales-sistema-frances-i>
- Vicente, B. d. (2015). *Evaluación de servicios ecosistémicos proporcionados por los humedales artificiales. Aplicación al humedal artificial de Carrícola (Valencia)*.