PROYECTO PRESENTADO

SOBERANÍA DE RECURSOS Y EMPLEO VERDE EN EL MUNDO RURAL: EL CASO DE ÉXITO DE CARRÍCOLA

Entidad solicitante: Ayuntamiento de Carrícola (Comunitat Valenciana)

RESUMEN: Se presenta la experiencia de nuestro municipio, Carrícola (Comunidad Valenciana) de 97 habitantes, pionero en agricultura ecológica en los años 80, y que con el tiempo se ha consolidado como un laboratorio territorial emergente en políticas públicas de transición ecológica en contextos rurales. Nuestra experiencia integra innovación social, gobernanza comunitaria y soluciones basadas en la naturaleza, articulando un modelo que demuestra la viabilidad de estrategias locales de metabolismo circular y soberanía de recursos. Este enfoque nos ha permitido desarrollar iniciativas coherentes entre sí - agricultura ecológica, ecodepuración natural, compostaje comunitario, huerto solar municipal, y arte y deporte en la naturaleza - operadas a escala real y con participación ciudadana activa. En concreto se presentan dos proyectos, en los que también fuimos pioneros en la Comunitat Valenciana:

Recursos hídricos y ciclo integral del agua. Disponemos de una ecodepuradora basada en humedales artificiales, en funcionamiento en 2014, que trata las aguas residuales municipales para su posterior reutilización en el riego agrícola y el mantenimiento del entorno.

Gestión de residuos. Implantamos la recogida selectiva y tratamiento municipal de la fracción orgánica en 2015. A raíz de estas experiencias, ya en 2021 pusimos en marcha la primera instalación, denominada isla de compostaje comunitario, en colaboración con el consorcio V5-COR, permitiendo valorizar la materia orgánica *in situ* y obtener compost para los suelos agrícolas locales.

El modelo de gestión se apoya en asambleas locales, voluntariado y alianzas estables entre el Ayuntamiento, organismos públicos, universidades (UPV, UMH), asociaciones y ciudadanía. Esta gobernanza policéntrica ha favorecido la continuidad de los proyectos, su integración territorial y su capacidad para atraer financiación complementaria. Además, recibimos visitas recurrentes de otros municipios, técnicos públicos y centros educativos, lo que nos ha convertido en un espacio de transferencia de conocimiento y de aprendizaje intermunicipal.

La serie del Padrón INE 1996-2025 muestra que la soberanía en la gestión de recursos ha catalizado el asentamiento de población, con crecimiento de un +35% neto en 2025 mientras que su comarca (la Vall d'Albaida) retrocede un 8,2%. El modelo Carrícola Circular Lab convierte 42 Tn/año de residuos y 15 m^3/día de aguas, de pasivo a recurso de alto valor territorial. Sustenta 5 empleos verdes directos - 1,9 ETP, 1 por cada 20 hab.-, con un retorno de 2,3 € por euro invertido y una ratio B/C de 7 en servicios ecosistémicos. Nuestra experiencia se ha convertido con el tiempo en lecciones de vida en comunidad replicables y de generación de proyectos singulares conectados con nuestro que refuerzan la identidad colectiva y la cohesión social.

INDICE

BLOQUE I: EL CONTEXTO, CARRÍCOLA COMO LABORATORIO TERRITORIAL	Pág.
1. Presentación e identidad territorial de Carrícola	3
2. Trayectoria histórica en agricultura ecológica (1980 - actualidad)	4
3. El proyecto de pueblo: iniciativas singulares de sostenibilidad	5
4. Detalle técnico de las infraestructuras verdes municipales	9
5. Carrícola como aula abierta y espacio de transferencia	11
BLOQUE II: MEMORIA CIENTÍFICO-TÉCNICA EJECUTIVA	
1. Resumen ejecutivo	14
2. Contexto y objetivos	14
3. Metodología y desarrollo	15
4. Resultados e impacto cuantificable	16
5. Lecciones aprendidas y continuidad	18
BLOQUE III: REPERCUSIONES SOCIALES, ANÁLISIS DEMOGRÁFICO Y EMPLEO VERDE	
1. Análisis demográfico histórico (INE 1996–2025)	19
2. Empleo Verde	20
3. Correlación entre soberanía de recursos, retorno económico y turismo sostenible	21
4. Gobernanza comunitaria, participación vecinal y parque público de vivienda	22
5. Síntesis del impacto social y demográfico	23
ANEXO I: INFORME CIENTÍFICO-TÉCNICO DE LA ECODEPURADORA MUNICIPAL (IIAMA - UPV)	24
ANEXO II: COMUNICACIÓN RESUMEN EXPERIENCIA EN AGROCOMPOSTAJE (CIAGRO - UMH)	33

BLOQUE I: El contexto, Carrícola como laboratorio territorial de transición ecológica y soberanía de recursos

1. PRESENTACIÓN E IDENTIDAD TERRITORIAL DE CARRÍCOLA

1.1. Emplazamiento geográfico y marco ambiental

Para comprender el alcance y la coherencia de nuestras iniciativas de transición ecológica, es necesario situar el territorio que habitamos. Carrícola es un pequeño municipio situado al sur de la provincia de Valencia, en la comarca de la Vall d'Albaida. Nos encontramos emplazados en las faldas de la sierra del Benicadell, enmarcados dentro del Paisaje Natural Protegido de la Ombría del Benicadell, un entorno de elevada biodiversidad y valor paisajístico que condiciona y orienta de forma directa nuestra acción municipal.





Término municipal de más de 4 km²,
históricamente agrario.
Patrimonio natural.



Figura 1. El entorno de Carrícola: imagen del municipio tomada desde la montaña (Paisaje natural protegido Ombria del Benicadell y castillo medieval); del patrimonio natural (olivos milenarios) y del Paraje natural municipal con patrimonio histórico agrario (Les Arcades).

1.2. Estructura demográfica y urbanística

- **Superficie y población:** Nuestro término municipal cuenta con una extensión de 4,6 km² y una población actual de 101 habitantes. Esta escala humana nos permite articular un modelo de gobernanza directa, ágil y transparente.
- **Estructura urbana compacta:** Desde el punto de vista urbanístico, el municipio mantiene un modelo compacto concentrado en un único núcleo poblacional. Esta planificación evita la

dispersión en el territorio y permite la preservación estricta del suelo no urbanizable, con sus distintos grados de protección, garantizando la continuidad ecológica del ecosistema.

- **Recuperación del patrimonio histórico - Castell de Carrícola (S.XII) declarado BIC - así como del patrimonio etnológico hidráulico – Paraje municipal de Les Arcades - :**
  El Paraje Municipal de Les Arcades presenta la singularidad de integrar las infraestructuras verdes Isla de Compostaje comunitario y Ecodepuradora, constituyendo un área recreativa visitada continuamente al tratarse de un espacio abierto, por lo que no se tiene el dato total global. Se aportarán en el Bloque III datos de las visitas guiadas, que son las que se solicitan directamente al Ayuntamiento, y que representan una pequeña parte de las recibidas (se estima que entorno al 10%).
  Con el fin de ofrecer alojamiento a los numerosos visitantes, el Ayuntamiento dispone de una zona conocida como ***El racó de les oliveres***, en las que se ofrecen estancias en alojamientos temporales bioclimáticos, así como zona para la acampada libre y el estacionamiento de autocaravanas.
  A todo ello, hay que sumar que los establecimientos de restauración – Restaurante Enne - y hospedaje – Hostal Restaurante Carrícola - son de titularidad municipal, si bien se gestionan indirectamente mediante contrato de arrendamiento.

2. TRAYECTORIA HISTÓRICA EN AGRICULTURA ECOLÓGICA (DÉCADA DE 1980 - ACTUALIDAD)

2.1. El origen: pioneros en el ámbito agrario valenciano y europeo

La excelente calidad de nuestras aguas, la fertilidad de nuestros suelos y la benignidad del clima han convertido históricamente a Carrícola en un espacio agrícola diverso y próspero. A finales de los años 80, coincidiendo con la llegada de técnicos de la Conselleria de Agricultura de la Generalitat Valenciana y el interés de empresas del centro y norte de Europa por abastecerse de cítricos ecológicos fuera de temporada, nuestro municipio fue seleccionado por sus condiciones edafoclimáticas óptimas, su aislamiento de zonas de monocultivo intensivo y la permanencia de agricultores profesionales vinculados a la tierra.

2.2. Evolución de cultivos y estructuras cooperativas

La transición hacia la producción ecológica se inició en las parcelas de regadío tradicional que rodean el núcleo urbano (cítricos), extendiéndose posteriormente de forma progresiva a los frutales (albaricoquero, caqui) y a los cultivos hortícolas de invierno (hinojo, coles, cebolla tierna), así como a las zonas de secano del término (olivar, viñedo y algarrobo).

- **Vinculación cooperativa:** Los inicios estuvieron ligados a la Cooperativa Cofrudeca, en la que se integraban la mayoría de agricultores locales. Posteriormente, se constituyó en el propio municipio la cooperativa familiar LA VALL BIO para asumir no solo la producción, sino también la comercialización directa de la producción agroecológica local.
- **Impacto comarcal:** Según datos del Comité d'Agricultura Ecològica de la Comunitat Valenciana (CAECV), la Vall d'Albaida se consolidó desde los años 90 como uno de los núcleos de producción ecológica de referencia a nivel autonómico y nacional, concentrándose una parte muy sustancial de esta actividad en el término municipal de Carrícola (donde la superficie cultivada representaba cerca del 30% del municipio, muy por encima de la media provincial de la época).



Figura 2. El colectivo de agricultores pioneros en la implantación de la agricultura ecológica en los años 90; agricultores de Carrícola (LA VALL BIO) en año 2000 (recolección albaricoques) y 2010 (recolección hinojo).

3. EL PROYECTO DE PUEBLO: INICIATIVAS SINGULARES DE SOSTENIBILIDAD

Entendemos que la apuesta pionera por la agricultura ecológica a finales de los 80 fue la 'semilla' comunitaria que transformó nuestra visión municipal. Con el tiempo, esa visión se tradujo en un modelo integral de gestión pública caracterizado por proyectos singulares interconectados:

3.1. Consumo de proximidad y soberanía alimentaria

Potenciamos el sector agrario local facilitando el acceso a la tierra, asegurando el mantenimiento de caminos rurales y promoviendo el riego sostenible. Organizamos e impulsamos iniciativas de mercado local y consumo de proximidad, destacando eventos consolidados como el Mercat de Pascua de Carrícola y los mercados dominicales de artesanos y productores agroecológicos.



Figura 3. Ejemplos de mercados de producto local que se organizan y de huertos municipales para potenciar el consumo de proximidad y luchar contra el abandono agrario.

3.2. Gestión pública de la vivienda y soberanía energética

- **Vivienda pública y reto demográfico:** Desarrollamos una política decidida de vivienda pública, que se inició en torno al año 2005 con fórmulas muy variadas y flexibles que pretendían recuperar casas abandonadas y segundas residencias en desuso a través de alquileres accesibles, y en las que el Ayuntamiento asumía las obras para que fueran habitables. Hubo una segunda etapa en el que el Ayuntamiento adquirió terreno para facilitar la construcción de nuevas viviendas y así frenar la especulación en el precio de solares. Y hay una tercera etapa más reciente, en el que el Ayuntamiento se ha centrado en adquirir algunas viviendas y tener un parque público de viviendas para frenar movimientos especulativos. Esto último ha permitido que en la actualidad un 20% de la vivienda del municipio sea de carácter público, lo que nos ha permitido además de controlar la especulación, fijar precios asequibles, atraer y retener a población joven y nuevas familias.
- **Soberanía energética:** Hemos puesto en marcha un huerto solar municipal con el objetivo de avanzar hacia la autosuficiencia energética y apoyar a la comunidad energética local mediante fuentes renovables. La planta cuenta con una capacidad de potencia nominal estimada de entre 40 kW y 45 kW, y presupuesto de 93.504 euros dimensionada específicamente para cubrir de forma directa la curva de consumo eléctrico de los edificios e instalaciones públicas, especialmente el consumo de energía que genera el bombeo del agua.



Figura 4. Imágenes de diferentes viviendas públicas (20% de la vivienda) y del huerto solar municipal para autoconsumo energético.

3.3. Cultura, arte y dinamización comunitaria en la naturaleza.

- **Proyecto Biodivers y otras iniciativas culturales:** Iniciado en 2010 en colaboración con la Universitat Politècnica de València, el proyecto **Biodivers** integra intervenciones artísticas efímeras y respetuosas en el paisaje rural y forestal, convirtiéndose en un museo al aire libre que refuerza la identidad colectiva. Este proyecto da lugar a ediciones especiales reciente como el FestiArt que combina el Arte con otro tipo de intervenciones y participaciones más abierta en el ámbito cultural (música y escritura). Este contexto ha posibilitado realizar actividades como cursos especializados de pintura al natural, estancias de artistas y proyectos tan singulares como el libro **La circunstancia de Carrícola** en el que se retrata uno a uno a todo el pueblo. Estas iniciativas se recogen en el documental **Carrícola, pueblo en transición**, un documental enmarcado en el el proyecto I+D+I Humanidades Ambientales, que relata el proceso de transición eco-social hacia la sostenibilidad.
- **Deporte en el medio natural:** Organización de eventos deportivos de alta exigencia y respeto ambiental, como la Media Maratón de Montaña de Carrícola (MIMAMUCA), que en 2027 alcanzará su 15ª edición.
- **Divulgación ambiental y foros:** Celebración periódica del Aplec Ecologista del País Valencià entre 2012 a 2017 y reedición de un nuevo formato desde 2026 con las Ecotrobada, con foros de debate con expertos nacionales del ámbito de la ecología, el territorio y la sostenibilidad como Yayo Herrero, Joaquín Araújo, Christian Felber o Joaquín Valladares), además de mesas de debate y visitas a los proyectos singulares.

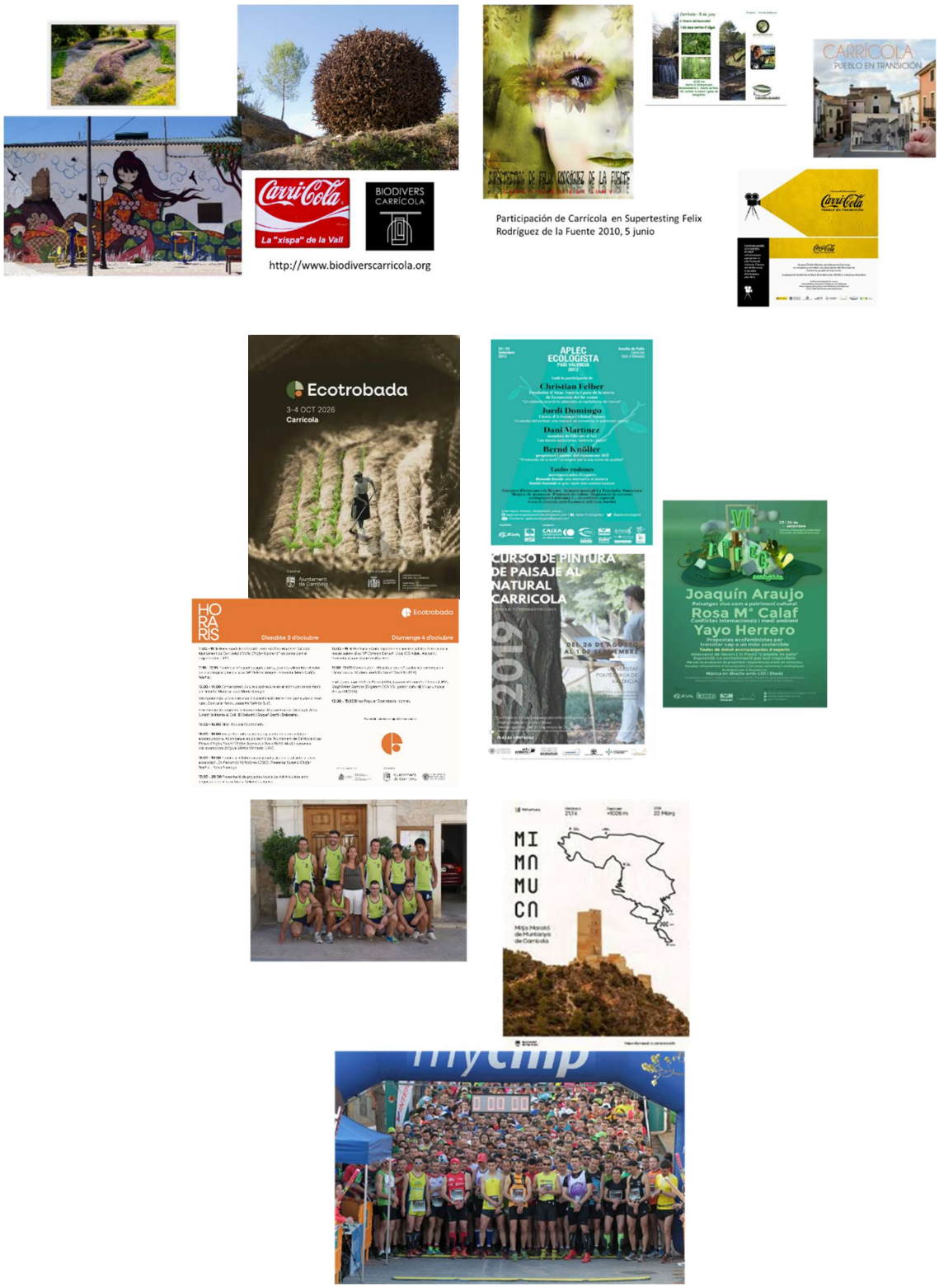


Figura 5. Composición de imágenes de diferentes inciativas culturales, deportivas y artísticas que se organizan en Carrícola.

4. DETALLE TÉCNICO DE LAS INFRAESTRUCTURAS VERDE MUNICIPALES (objeto de la candidatura y ampliadas en Bloques II, IV y V)

4.1. Ecodepuradora Municipal (Solución Basada en la Naturaleza)

En 2008, tras recibir una notificación de la Confederación Hidrográfica del Júcar sobre incumplimiento debido al deficiente funcionamiento de una antigua fosa séptica, el Ayuntamiento rechazó la solución convencional propuesta por la entidad regional EPSAR (basada en biodiscos electromecánicos con un coste de más de 300.000 euros, de alto consumo energético e impacto visual). En su lugar, el municipio impulsó la búsqueda de alternativas junto al Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IIAMA) de la UPV, ejecutando con fondos propios (60.000 €) una Ecodepuradora basada en humedales artificiales que entró en funcionamiento en 2014.

Videoexperiencia sobre la ecodepuradora: https://share.google/3HyOYhkfCjouK7U2Z

Esquema técnico del sistema de depuración:

- **Pretratamiento y Tratamiento Primario:** Canal de desbaste con reja de finos seguido de dos tanques Imhoff en serie rehabilitados para la sedimentación y digestión anaerobia de sólidos.
- **Tratamiento Secundario:** Dos humedales de flujo subsuperficial horizontal en paralelo con una superficie total de 400 m² y 45 cm de profundidad de lecho de gravas, plantados con vegetación heliófita (Phragmites australis, Iris pseudacorus, Juncus, Narcissus).
- **Tratamiento Terciario Avanzado (LIFE Renaturwat):** Dos humedales de funcionamiento secuencial (40 m² total) con fango granulado de potabilizadora como medio poroso adsorbente para la retención específica de Fósforo Total.
- **Desinfección Terciaria Solar (Proyecto nacional MITERD):** Sistema de doble lámpara de radiación ultravioleta (UV) alimentado continuadamente (24h) mediante paneles solares fotovoltaicos y baterías, situado tras los humedales secuenciales aprovechando la baja turbidez del efluente (3,4 UNT).
- **Afinamiento y Biodiversidad:** Un humedal subsuperficial adicional de 200 m² y una charca de anfibios de flujo superficial (13 m²) que actúa como filtro biológico secundario y refugio para especies protegidas.

La planta es explotada de forma directa por el propio consistorio en colaboración con la Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales (EPSAR), que mediante convenio, contribuye económicamente con una aportación económica anual entorno a 9.000 €.
La viabilidad económica de la infraestructura a nivel local se complementa con una tasa municipal de alcantarillado hiperreducida, fijada de manera estimativa en una horquilla de entre 25 € y 30 € anuales por vivienda.
Este modelo de gestión hídrica circular evita costes añadidos a los presupuestos locales y se integra de manera sinérgica con las políticas de autosuficiencia y resiliencia comunitaria del municipio.



Figura 6. Imágenes de la ecodepuradora: humedades subsuperficiales horizontales; vertical; esquema y charca de anfibios.

Resultados de calidad de agua y desinfección:

- **Rendimientos de depuración:** Reducciones medias del 98% en DBO_5 (salida: 11,2 mg/L), 98% en SST (salida: 5,2 mg/L) y 95% en DQO (salida: 42,5 mg/L). La incorporación de fangos de potabilizadora elevó la eliminación de Fósforo Total del 27% al 73%.
- **Calidad microbiológica (E. coli):** Los estudios demostraron que en la charca de anfibios, la radiación solar es responsable del 65% de la eliminación de E. coli, mientras que la depredación por invertebrados filtradores (cladóceros / Daphnia sp.) representa el 25%. La posterior desinfección UV reduce E. coli a 1,4 NMP/100 ml, permitiendo el cumplimiento del Reglamento Europeo 2020/741 para todos los usos agrícolas.
- **Retención de microplásticos y valor ecosistémico:** El sistema retiene el 97% de los microplásticos influentes. Un estudio del Grupo de Economía del Agua de la UPV determinó que la infraestructura ofrece una ratio Beneficio/Coste de 7 en términos de servicios ecosistémicos.

4.2. Isla de compostaje comunitario

Pioneros en la Comunitat Valenciana al implantar en 2015 la recogida selectiva de la Fracción Orgánica de Residuos Sólidos (FORS) Puerta a Puerta, en 2021 formalizamos la «Illa de compostatge» (Modelo CORV5) en colaboración con la Universidad Miguel Hernández (UMH) y el consorcio de residuos.

Videoexperiencia sobre el compostaje: https://share.google/9ATrVCUqY9HWoz8m5

Operativa técnica y balance analítico (2017-2024):

- **Metodología de mezcla:** Mezcla de FORS domiciliaria y de hostelería con restos de poda urbana (material estructurante para control de porosidad, lixiviados y olores) y un 10% de estiércol de burro.

- **Fases del proceso:** 1) Acopio y precompostaje en composteras de 450 L y 800 L durante 4 meses; 2) Volteo mecánico mediante aireación y riego programado para maduración durante 4 a 6 meses.
- **Perfil térmico e higienización:** Medición sistemática de temperatura (2-3 veces por semana) constatando valores superiores a 70 °C en la fase termófila inicial, garantizando la total higienización del material bajo el Reglamento UE 1009/2019.
- **Caracterización agronómica del compost:** Compost estable y maduro (Índice de Germinación > 50%), pH ligeramente alcalino, C/N < 20, elevado contenido en materia orgánica y ácidos húmicos y fúlvicos. Clasificado como Categoría A (RD 506/2013), exento de patógenos (ausencia de Salmonella y E. coli) y metales pesados.
- **Valor económico equivalente:** Integrando los macronutrientes (N, P_2O_5, K_2O) y las sustancias húmicas, el valor económico estimado del compost producido se sitúa entre 134,7 €/t y 167,4 €/t en materia fresca.



Figura 7. Primeras experiencias de compostaje; isla de compostaje y volteado mecanizado de la pila.

5. CARRÍCOLA COMO AULA ABIERTA Y ESPACIO DE TRANSFERENCIA

Nuestras infraestructuras de depuración y compostaje no son únicamente instalaciones de servicio municipal, sino laboratorios vivos al aire libre que generan transferencia constante de conocimiento:

- **Investigación universitaria continuada:** Sede de investigaciones de proyectos del Plan Nacional, proyectos europeos (LIFE Renaturwat, AEI-NEOCOMP, MITERD) y programas de cooperación (Cooperación-UPV).
- **Producción académica:** El modelo de Carrícola ha servido de base para la realización de más de 13 Trabajos Finales de Grado (TFG) y Trabajos Finales de Máster (TFM), así como diversas Tesis Doctorales en curso en la UPV y la UMH.
- **Aprendizaje intermunicipal y visitas guiadas:** Recepción de más de 30 visitas técnicas anuales guiadas de delegaciones municipales, técnicos de administraciones públicas, centros educativos y colectivos ciudadanos interesados en replicar el modelo de soberanía de recursos en pequeños municipios.
- **Reconocimientos:** nuestro municipio quedó Finalista a Capital de la Biodiversidad en 2010 (Fundación Biodiversidad) y recibió en 2018 el reconocimiento a la agricultura ecológica en el

Congreso de la Fundación Instituto de Agroecología y Sostenibilidad FIAES celebrado en Vila-real, además participó en 2013 como invitado en ARCO-Matadero (Madrid) con el proyecto del mercado local (iniciativa CAMPO ADENTRO).



Figura 8. Cursos de formación y visitas académicas y de grupos escolares.



Entrega de reconocimiento a la agricultura ecológica en Carrícola en el Congreso de FIAES celebrado en 2018 en Vila-real.



El proyecto del mercado de Carrícola en ARCO-sala matadero 2013

Figura 9. Algunos reconocimientos recibidos.

Coherencia y continuidad territorial

La trayectoria de Carrícola demuestra que la soberanía de recursos en el ámbito rural es el resultado de cuatro décadas de decisiones coherentes. Desde la agricultura ecológica pionera en los 80 hasta la ecodepuradora natural y la isla de compostaje actuales, nuestro municipio reafirma su compromiso con el futuro del medio rural.

Bloque II: Memoria científico-técnica ejecutiva del proyecto que se presenta al premio CONAMA

1. RESUMEN EJECUTIVO

1.1. Descripción del proyecto

Como hemos descrito en el Bloque I, en nuestro municipio reconocido históricamente por apostar por la agricultura ecológica desde los años 80, hemos consolidado un laboratorio territorial de metabolismo circular y soberanía de recursos. Nuestra experiencia integra innovación social, gobernanza comunitaria y Soluciones basadas en la Naturaleza (SbN) operadas a escala real.

El proyecto concreto que presentamos a los premios CONAMA se estructura en dos ejes fundamentales:

- **1) El ciclo integral del agua:** Mediante una ecodepuradora operativa desde 2014 basada en humedales artificiales que trata entre 10 y 30 m^3/día (3.650 - 10.950 m^3/año) de aguas residuales, optimizada posteriormente con humedales secuenciales (LIFE Renaturwat) y desinfección UV solar (MITERD).
- **2) La gestión de residuos:** A través de la recogida selectiva puerta a puerta de la fracción orgánica (12 t/año) y su valorización in situ en nuestra «Isla de Compostaje» comunitaria, en colaboración con el consorcio V5-COR y la Universidad Miguel Hernández.

Cerramos así los ciclos locales: transformamos el 100% de las aguas residuales en un recurso seguro para el riego agrícola y producimos entre 7 y 9 toneladas anuales (7.000 - 9.000 kg/año) de compost de alta calidad agronómica, generando empleo verde rural y frenando la despoblación.

1.2. Identificación del problema local que se resuelve

Con este proyecto damos respuesta directa a varios retos críticos de nuestro entorno:

- **Modelos insostenibles:** Evitamos los elevados costes económicos y ambientales de las infraestructuras convencionales de saneamiento, respondiendo con eficacia a los requerimientos de la Confederación Hidrográfica del Júcar.
- **Gestión de residuos y emisiones:** Evitamos el envío masivo de biorresiduos putrescibles a vertederos centralizados, reduciendo drásticamente las emisiones de gases de efecto invernadero.
- **Degradación del suelo y dependencia externa:** Combatimos la pérdida de fertilidad de los suelos agrícolas y la dependencia de fertilizantes de síntesis mediante la producción local de enmiendas orgánicas que permiten recuperar tierras abandonadas.

2. CONTEXTO Y OBJETIVOS

2.1. Situación de partida del municipio

- **Entorno y ubicación:** Nos situamos al sur de la provincia de Valencia, en la comarca de la Vall d'Albaida, emplazados en las faldas de la sierra del Benicadell y dentro del Paisaje Natural Protegido de su ombría.

- **Población y urbanismo:** Contamos actualmente con una población de 101 habitantes y una superficie de 4,6 km². Mantenemos una estructura urbana compacta en un único núcleo de población, lo que evita la dispersión y protege estrictamente el suelo no urbanizable susceptible de protección.
- **Trayectoria:** Somos cuna del ecologismo valenciano; nuestros inicios en la agricultura ecológica a finales de los años 80 marcaron nuestro ADN comunitario, convirtiéndonos en referentes por la calidad de nuestros suelos, biodiversidad y aguas.

2.2. Objetivos generales y específicos alineados con la sostenibilidad

Objetivo General: Consolidar un modelo de soberanía de recursos y economía circular en el ámbito municipal que sirva como motor de empleo verde y cohesión social frente al reto demográfico.

Objetivos Específicos:

- **Depuración eficiente:** Depurar el total de las aguas residuales urbanas sin consumo energético de red ni reactivos, alcanzando la calidad óptima para la reutilización agrícola.
- **Valorización total:** Valorizar el 100% de la fracción orgánica local mediante compostaje comunitario en la «Isla de Compostaje».
- **Restauración edáfica:** Mejorar la calidad edáfica y fomentar el secuestro de carbono mediante el aporte de compost maduro a los campos locales.
- **Gobernanza activa:** Potenciar la gobernanza participativa y la transferencia de conocimiento técnico a través de nuestras alianzas con universidades y centros educativos.

3. METODOLOGÍA Y DESARROLLO

3.1. Fases de ejecución cronológicas

- **2008 – 2014 (Hito Hídrico):** El inicio de un expediente sancionador por la Confederación Hidrográfica del Júcar, rechazamos la solución industrial propuesta por la EPSAR y apostamos por diseñar junto al IIAMA-UPV nuestra propia ecodepuradora, ejecutada con una inversión municipal directa de 60.000 € e inaugurada en 2014.
- **2010 – 2021 (Hito Biorresiduos):** Iniciamos la recogida puerta a puerta de la fracción orgánica y las primeras experiencias de compostaje, formalizadas en enero de 2017 con la puesta en marcha de la «Isla de Compostaje» y el asesoramiento científico de la UMH.
- **2021 – 2024 (Innovación y Mejora Continua):** Participamos en proyectos europeos como el LIFE Renaturwat, incorporando humedales secuenciales con fangos de potabilizadora para retener fósforo, un humedal horizontal adicional y una charca de anfibios.
- **2024 – 2026 (Escalado y Empleo Verde):** Desarrollamos el proyecto subvencionado por el MITECO "Carrícola más que circular", instalando desinfección UV con energía fotovoltaica y escalando el uso agronómico del compost para recuperar tierras abandonadas y estructurar empleo verde.

3.2. Operativa técnica de los sistemas

- **Ecodepuradora (Anexo I: Informe UPV):** El agua fluye por gravedad a través de un canal de rejas, dos tanques Imhoff rehabilitados, dos humedales subsuperficiales horizontales (400 m²), dos humedales secuenciales con fango de potabilizadora, desinfección UV solar, un humedal de afinamiento (200 m²) y una charca de anfibios (13 m²).

- **Compostaje (Anexo II: Comunicación resumen UMH):** Recogida puerta a puerta de la fracción orgánica (FORS), mezclada en proporción adecuada con restos de poda urbana (como estructurante) y un 10% de estiércol de burro. Tras una fase de precompostaje en composteras y volteo mecánico, el proceso se completa en un ciclo de 4 a 6 meses.

3.3. Argumentación metodológica y de impacto

- **Soberanía de Recursos (Materia Orgánica):** Al transformar la fracción orgánica del municipio en compost local, eliminamos la dependencia de fertilizantes externos para la jardinería municipal, campos agrícolas y huertos vecinales. Esto reduce drásticamente la huella de carbono asociada al transporte de residuos a vertederos centralizados y la compra de insumos sintéticos.
- **Soberanía Hídrica (Ecodepuración):** Nuestro sistema de ecodepuración mediante humedales artificiales y filtros biológicos permite que el 100% de las aguas residuales urbanas se traten de manera natural y sin químicos ni consumo energético de red, devolviendo agua regenerada de alta calidad microbiológica para el riego agrícola y logrando un vertido cero efectivo.
- **Generación de Empleo Verde y Cohesión:** El mantenimiento continuo de la Isla de Compostaje comunitario, el control del sistema de ecodepuración y la dinamización de los huertos y parcelas municipales generan puestos de trabajo verdes locales, fundamentales para fijar población, ofrecer oportunidades laborales a colectivos rurales y fortalecer el tejido social.

4. RESULTADOS E IMPACTO CUANTIFICABLE

4.1. Impacto ambiental

- **Depuración excepcional:** Alcanzamos eficiencias del 98% en DBO_5, 98% en SST y 95% en DQO, cumpliendo holgadamente los límites de vertido.
- **Retención de nutrientes y patógenos:** Con el proyecto LIFE Renaturwat elevamos la eliminación de fósforo total del 27% al 73%. Asimismo, la desinfección UV reduce la bacteria Escherichia coli a niveles de 1,4 NMP/100 ml, cumpliendo el Reglamento UE 2020/741 para cualquier uso agrícola.
- **Retención de microplásticos:** Demostramos una eficacia del 97% en la retención de microplásticos dentro de los humedales.
- **Compost de máxima calidad:** Tras analizar 17 lotes entre 2017 y 2024, obtenemos un compost higienizado (superando los 70 °C de temperatura), maduro, sin metales pesados y clasificado como Categoría A (RD 506/2013), que aporta nutrientes y sustancias húmicas esenciales para nuestros suelos.
- **Neutralidad energética:** La depuradora opera íntegramente por gravedad (0 kWh de consumo eléctrico de red), alimentando los sistemas UV con energía solar fotovoltaica.

4.2. Tabla de indicadores clave: situación inicial vs. Situación actual

Indicador técnico	Situación Inicial (Antes)	Situación Actual (En marcha)	Impacto / Variación
Residuos Fracción Orgánica (FORS)	0 toneladas/año	12 toneladas/año	**+100% residuo valorizado**
Compost de alta calidad producido	0 kg/año	7.000 - 9.000 kg/año	**+100% recurso generado**
Ahorro en abonos químicos alos vecinos que participan y entre los que se distribuye	Gasto en fertilizantes sintéticos	0 € (Compost local 100%)	**-100% gasto en fertilizantes**
Volumen aguas ecodepuradas	0 m^3/año (vertido sin depurar)	3.650 - 10.950 m^3/año	**+100% vertido cero / reutilizado**
Ahorro agua de red en riego	Uso exclusivo agua potable/red	Sustitución parcial por agua regenerada	**~100% ahorro agua convencional**
Empleos verdes directos	0 puestos	Puestos locales (MITERD) Equivalente a 1 peón a tiempo completo durante 3 años	**+100% inserción verde**
Vecinos en compostaje / huertos	0 usuarios	40 familias (~100% aptas)	**+100% dinamización social**

4.3. Resumen de indicadores técnicos (KPI)

Indicador	Valor Cuantitativo	Normativa / Referencia
Eficiencia Rendimiento DBO_5	98% de reducción	Cumple Autorización CHJ
Eficiencia Rendimiento SST	98% de reducción	Cumple Autorización CHJ
Eficiencia Rendimiento DQO	95% de reducción	Cumple Autorización CHJ
Eliminación Fósforo Total	Del 27% al 73%	Proyecto LIFE Renaturwat
Concentración E. coli (UV)	1,4 NMP/100 ml	Reglamento UE 2020/741 (Apto Riego)
Retención Microplásticos	97%	Estudio ADSIDEO-UPV
Producción Anual Compost	7 - 9 Toneladas/año	Calidad Categoría A (RD 506/2013)
Procesos Compostaje Analizados	17 Lotes (2017-2024)	Garantía Higienización (>70 °C)
Reducción Vertido Biorresiduos	~100% materia putrescible	Recogida Puerta a Puerta
Consumo Energético Red EDAR	0 kWh/año	Gravedad / Neutralidad Energética
Valor Ecosistémico EDAR	Ratio B/C = 7	Estudio Economía del Agua (UPV)
Participación Vecinal	40 familias (~100% aptas)	Gobernanza Asamblearia

4.4. Impacto económico

- **Ahorro en inversión:** La ecodepuradora supuso un coste inicial un 80% inferior al de las macroinstalaciones convencionales propuestas por la administración.
- **Valor del compost:** Se ha estimado el valor económico equivalente de nuestro compost entre 134,7 y 167,4 €/tonelada en función de sus nutrientes y sustancias húmicas.
- **Servicios ecosistémicos:** Un estudio del Grupo de Economía del Agua de la UPV determinó una ratio beneficio/coste de 7 para la infraestructura de humedales.

4.5. Impacto social y gobernanza

- **Participación ciudadana activa:** Alrededor de 40 familias, comercios y hosteleros participan directamente en la separación de residuos y en las asambleas locales.
- **Transferencia de conocimiento:** Nos hemos convertido en un aula abierta al aire libre, acogiendo más de 30 visitas técnicas y sirviendo de base para más de 13 Trabajos Finales de Grado, Máster y Tesis Doctorales en colaboración con la UPV y la UMH.

5. LECCIONES APRENDIDAS Y CONTINUIDAD

5.1. Obstáculos superados y lecciones aprendidas

- **Apuesta por la autonomía técnica:** Demostramos que los pequeños municipios no deben depender obligatoriamente de macroproyectos estandarizados; las Soluciones basadas en la Naturaleza son técnica y jurídicamente viables si se diseñan adaptadas al territorio.
- **Control y estandarización:** La variabilidad inicial en las mezclas de compostaje se superó estandarizando los protocolos de aportes (FORS, poda y estiércol), garantizando un producto homogéneo y seguro.

5.2. Plan de mantenimiento a largo plazo

- **Operativa sencilla y sostenible:** El mantenimiento de nuestras instalaciones recae en la brigada municipal mediante tareas asumibles (extracción semestral de lodos en los tanques Imhoff, volteos de pilas y mantenimiento de la vegetación de los humedales).
- **Alianzas científicas estables:** Mantenemos los convenios de seguimiento analítico con la UPV y la UMH para asegurar que los estándares de calidad del agua y del compost se mantengan intactos en el tiempo.

> **Carrícola como modelo transferible de futuro** *Nuestra experiencia demuestra que la transición ecológica en el ámbito rural no es solo deseable, sino viable y autosuficiente. A través de la soberanía en la gestión del agua y de los residuos, hemos demostrado que un pueblo de 100 habitantes puede liderar la innovación ambiental, crear empleo verde y ofrecer un proyecto de vida próspero e inspirador.*

BLOQUE III: Repercusiones sociales del proyecto presentado: análisis demográfico y empleo verde

1. ANÁLISIS DEMOGRÁFICO HISTÓRICO (padrón municipal INE 1996–2025)

El análisis de la serie demográfica histórica del Padrón Municipal del INE (1996–2025), recogida de forma sistemática en el Plan Urbano de Actuación Municipal (PUAM) de Carrícola, constituye una prueba de cómo un modelo municipal centrado en la sostenibilidad ambiental y la soberanía de recursos logra revertir la inercia de la despoblación rural. En este periodo, Carrícola tiene un perfil de crecimiento y estabilización altamente resiliente, articulado en cinco etapas demográficas claramente diferenciadas:

1996–2000 (Fondo Demográfico): En el periodo comprendido entre 1996 y 2000, la población del municipio descendió de 76 a 72 habitantes censados. Este periodo reflejó el punto crítico de despoblación rural y envejecimiento demográfico en la comarca, marcado por la falta de expectativas laborales locales y el éxodo joven hacia centros urbanos e industriales.

2001–2007 (Despegue del Modelo Ecológico): A partir de 2001 se inició una senda de crecimiento continuado que elevó la población de 76 a 93 habitantes en 2007, lo que representó un incremento del +22%. Este despegue coincidió directamente en el tiempo con la consolidación de la reconversión agrícola 100% ecológica del término municipal, el diseño y planificación de la ecodepuradora basada en humedales artificiales, la puesta en marcha de las primeras experiencias de compostaje comunitario y la aparición de los primeros puestos de trabajo vinculados a la gestión ambiental.

2008 (Resistencia ante la Crisis Económica): Coincidiendo con el estallido de la crisis financiera e inmobiliaria nacional de 2008, el padrón municipal registró un leve ajuste situándose en 81 habitantes. Sin embargo, la estructura social del municipio demostró una elevada resistencia, manteniendo en todo momento las cifras de población por encima de los mínimos registrados en el año 2000.

2009–2013 (Consolidación y Pico Histórico): Entre 2009 y 2013, Carrícola experimentó su mayor fase de expansión demográfica, alcanzando en el año 2013 un máximo histórico de 104,6 habitantes censados. Esta cifra supuso un incremento neto del +37% respecto a la cifra de 1996 y de un +44% respecto al año 2000. Este pico demográfico estuvo directamente impulsado por la consolidación del proyecto de arte y naturaleza Biodivers, la dinamización de los mercados de producto local de proximidad, la oferta de vivienda pública accesible y la consolidación de puestos de trabajo locales en los ámbitos verde y cultural.

2014–2025 (Estabilización y Resiliencia): En la última década, la población municipal ha mostrado un comportamiento de notable estabilidad, oscilando de forma constante entre los 92 y los 98 habitantes (alcanzando 97 habitantes en el padrón de 2025). En términos globales, entre los años 2000 y 2024, Carrícola ha logrado un incremento neto de población del +35%. La relevancia extraordinaria de este dato radica en que se ha producido de forma simultánea al proceso de despoblación de los municipios de similar tamaño del entorno comarcal.

Tabla 1.1. Evolución de la serie demográfica INE y hitos del modelo municipal (1996–2025)

Periodo	Población INE	Variación (%)	Hito municipal / contexto socioambiental
1996 – 2000	**76 → 72 hab.**	-5,3%	Fondo demográfico. Punto crítico de despoblación rural en La Vall d'Albaida.
2001 – 2007	**76 → 93 hab.**	+22,4%	Despegue ecológico. Conversión 100% agroecológica, diseño EDAR e inicios del compostaje.
2008	**81 hab.**	Ajuste puntual	Resistencia demográfica frente al impacto de la crisis financiera nacional.
2009 – 2013	**104,6 hab. (2013)**	+44,4% (vs 2000)	Máximo histórico. Proyecto Biodivers, mercados locales, vivienda social y empleo verde.
2014 – 2024	**92 – 98 hab.**	+35,0% (neto)	Estabilización y resiliencia. Mantenimiento frente a caídas del -15% en pueblos vecinos <100 hab.
2025	**97 hab.**	Consolidado	Población censada estable. Ratio de 1 empleo verde por cada 20 habitantes.

2. EMPLEO VERDE

Un aspecto diferencial relevante de la experiencia de Carrícola, y que apoya la propuesta de candidatura al Premio CONAMA 2026, reside en la capacidad del municipio para transformar la gestión técnica de sus recursos en un motor generador de puestos de trabajo dentro del propio ámbito rural.

A través del desarrollo del modelo Carrícola Circular Lab y del respaldo de programas como el proyecto MITERD "Carrícola más que circular", el municipio ha logrado estructurar una densidad laboral ambiental:

• **Cuantificación del empleo verde local:** Para una población censada de 99 habitantes (padrón operativo del análisis), el municipio sostiene 5 puestos de trabajo verdes directos vinculados a la gestión del ciclo del agua, los biorresiduos y el patrimonio paisajístico.

• **Equivalente a Tiempo Completo (ETP / FTE):** La dedicación conjunta de estos 5 puestos directos se traduce en un volumen de contratación de 1,9 ETP (Full-Time Equivalent/Equivalente a Tiempo Completo) de trabajo local estable, apoyado por programas de contratación públicos complementados con los financiados por proyectos y fondos propios del consistorio.

• **Porcentaje de población ocupada en empleo verde:** Un 5% del total de la población residente en el municipio cuenta con un empleo verde local directo gestionado o impulsado desde la estructura municipal.

• **Ratio de impacto:** Carrícola presenta una ratio de 1 empleo verde por cada 20 habitantes, densidad de empleo verde muy elevada en relación a su escala demográfica, y la más elevada de la Comunitat

Valenciana, que se explican tanto por su apuesta por la gestión sostenible autónoma como por la internalización de estos trabajos que en otros municipios se externalizan a empresas de servicios.

Tabla 2.1. Desglose operativo y cualitativo de los puestos de trabajo verdes en Carrícola

Puesto de Trabajo	Personal	Dedicación (ETP)	Soberanía Vinculada	Cometido Operativo en el Municipio
Operario de Humedal / Ecodepuradora	1 vecino	0,3 ETP / FTE	Soberanía Hídrica	Mantenimiento preventivo de humedales, limpieza de rejas, era de secado de fangos y supervisión UV solar.
Guías Turísticas y Culturales	3 vecinas (Asociación)	554 – 961 visitas/año	Soberanía Cultural y Paisajística	Interpretación ambiental, visitas guiadas en Ecodepuradora e Isla de Compostaje, y dinamización del paisaje.
Técnica de Compostaje	1 vecina	0,6 ETP / FTE	Soberanía Material	Gestión de recogida Puerta a Puerta (FORS), formulación de mezclas con poda, volteo mecánico y control térmico.
TOTALES CONSOLIDADOS	**5 vecinas/os**	**1,9 ETP / FTE**	**Integración Total de Soberanías**	**Ratio: 1 empleo verde por cada 20 habitantes (5% del total de la población censada).**

3. CORRELACIÓN ENTRE SOBERANÍA DE RECURSOS, RETORNO ECONÓMICO Y TURISMO SOSTENIBLE

La lección fundamental que ofrece el modelo de Carrícola es que la protección del medio ambiente no debe ser concebida como una carga financiera para los pequeños municipios, sino como una estrategia de valorización territorial que transforma pasivos ambientales en recursos económicos de alto valor local.

3.1. Transformación de pasivos en activos territoriales

Mediante la implantación de la ecodepuradora y la isla de compostaje comunitario, el Ayuntamiento de Carrícola ha logrado reconvertir dos fuentes de incumplimiento y gasto de las administraciones locales en insumos productivos:

1) Valorización de 42 toneladas/año de residuos orgánicos y de poda: Anteriormente destinadas a vertederos lejanos con elevados costes de transporte y cánones de vertido, son valorizadas in situ para generar de 7 a 9 toneladas anuales de compost de Categoría A (RD 506/2013). Esto permite sustituir el 100% del consumo de fertilizantes sintéticos de síntesis en la jardinería municipal y los huertos comunitarios.

2) Depuración de 15 m³/día (3.650–10.950 m³/año) de aguas residuales domésticas: Anteriormente objeto de incumplimineto, son tratadas mediante un sistema basado en humedales artificiales operado íntegramente por gravedad (0 kWh/año de consumo de red), devolviendo agua regenerada con calidad microbiológica óptima para el riego agrícola sin restricción (Reglamento UE 2020/741).

3.2. Retorno económico local y evaluación SROI

El estudio de evaluación del impacto económico del modelo Carrícola Circular Lab demuestra que cada euro invertido en la gestión técnica descentralizada genera un retorno económico directo en el propio municipio estimado en 2,3 € por euro invertido (SROI = 2,3).

A esta cifra se suma la valoración económica de los servicios ecosistémicos proporcionados por la ecodepuradora (fijación de carbono, depuración natural, fomento de biodiversidad, eliminación de microplásticos y educación ambiental), desarrollada por el Grupo de Economía del Agua de la Universitat de València en el marco del proyecto LIFE Renaturwat, que determinó una ratio Beneficio/Coste igual a 7 (el valor de los servicios proporcionados multiplica por 7 el coste de ejecución).

3.3. Evolución del turismo sostenible y serie de visitas (PUAM 2015–2019)

La renaturalización del entorno del Paraje Natural Municipal de Les Arcades y la proyección mediática y académica de las infraestructuras verdes han posicionado a Carrícola como un polo de atracción de turismo verde y educación ambiental:

• **Pico histórico de visitas (2018):** En el año 2018, coincidiendo con la máxima difusión del proyecto Biodivers y la emisión de reportajes en televisión de cobertura nacional, el municipio registró un pico de 961 visitas guiadas atendidas de forma directa por la asociación de guías locales. Esta cifra representó casi 10 veces la población total censada en el municipio.

• **Justificación de la necesidad de apoyo institucional (2019):** En el año 2019, la cifra de atenciones guiadas descendió a 423 visitantes. Este ajuste no respondió a una caída en el interés externo, sino a las limitaciones operativas de la asociación local por la falta de un relevo generacional estructurado y la necesidad de contar con financiación pública continuada para consolidar las plazas de guías locales.

Este dato demuestra que existe una demanda social y educativa masiva por conocer soluciones de soberanía de recursos, pero que los pequeños municipios requieren financiación estable para sostener las estructuras de empleo verde que atienden este flujo de visitantes.

4. GOBERNANZA COMUNITARIA, PARTICIPACIÓN VECINAL Y PARQUE PÚBLICO DE VIVIENDA

Un pilar imprescindible para que el modelo de soberanía de recursos tenga un reflejo directo en la fijación de población es la existencia de políticas públicas complementarias que faciliten el acceso a los bienes básicos, especialmente la vivienda y la gobernanza participativa.

4.1. Implicación Ciudadana y Gobernanza Asamblearia

Las decisiones estratégicas sobre el modelo de gestión se debaten y consensuan en asambleas abiertas, consolidando un elevado nivel de cohesión social. El sistema de recogida Puerta a Puerta de la fracción orgánica cuenta con la participación activa de 40 familias del municipio, lo que representa el 100% de los hogares habitados de forma permanente.

4.2. Parque Público de Vivienda (20% del Total Municipal)

Desde el año 2005, el Ayuntamiento de Carrícola ha desarrollado una política pública de vivienda destinada a frenar los procesos especulativos y garantizar el arraigo de nuevas familias. Esta herramienta resulta crucial para fijar a las familias de los trabajadores que desempeñan los empleos verdes locales, evitando que el incremento de precios les expulse del territorio.

A modo de síntesis, estas serían los tres tipos de medidas realizadas desde el Ayuntamiento:

- Rehabilitación y alquiler social (2005): Se iniciaron acuerdos con propietarios para rehabilitar inmuebles deshabitados a cargo del Ayuntamiento a cambio de destinarlos a alquileres sociales asumibles.
- Adquisición de suelo público: El Ayuntamiento adquirió suelo urbano para evitar el encarecimiento especulativo de las parcelas residenciales.
- Consolidación del Parque Público (20% municipal): Mediante la adquisición directa de inmuebles, el municipio ha alcanzado un Parque Público de Vivienda que representa el 20% del total de las viviendas del municipio.

4.3. Carrícola como Aula Abierta y Transferibilidad

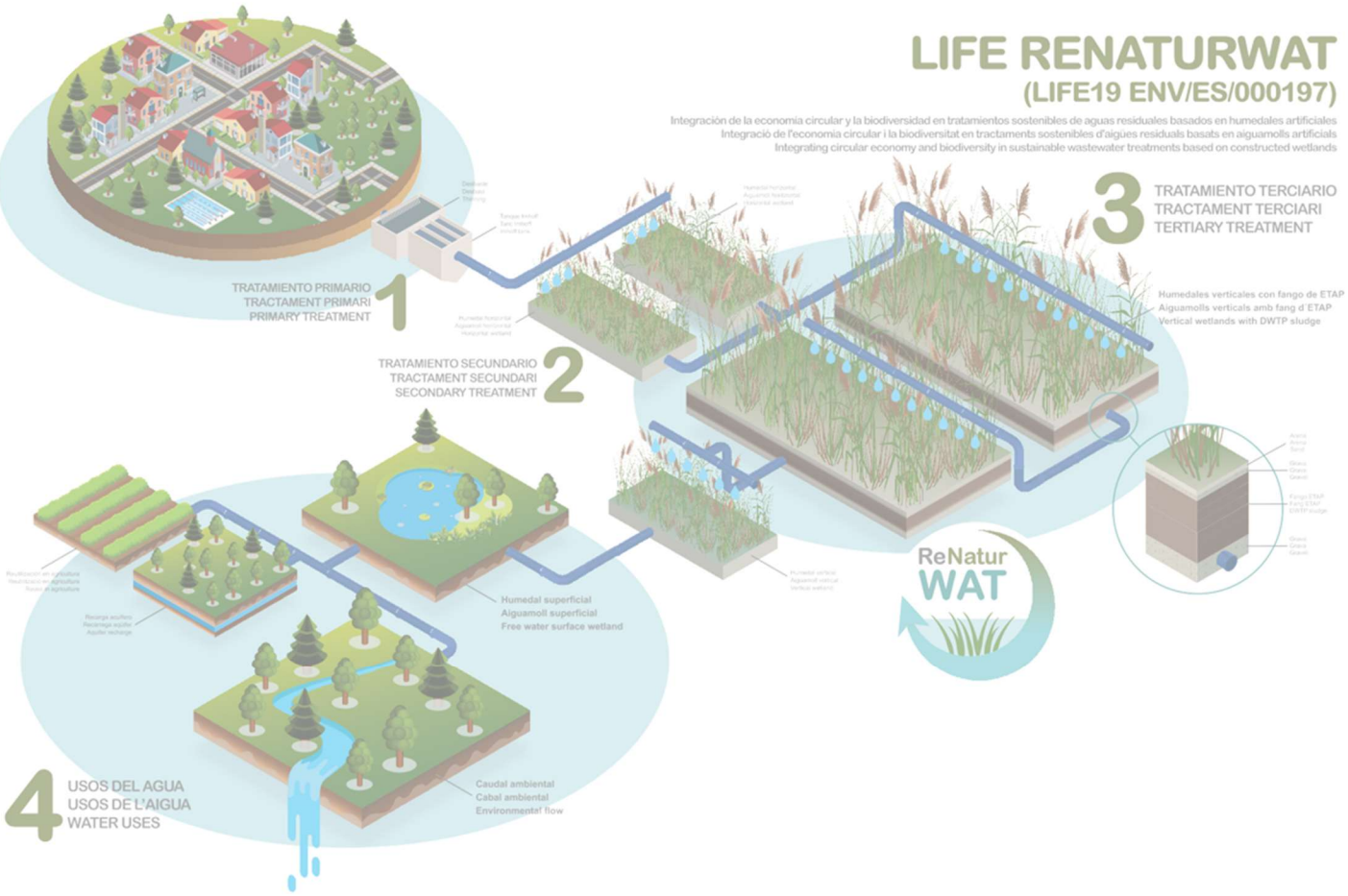
El municipio actúa como un laboratorio vivo intermunicipal que recibe más de 30 visitas técnicas anuales compuestas por representantes y personal técnico de diferentes administraciones públicas interesadas en replicar el modelo global de soluciones basadas en la naturaleza, como son el caso de los humedales artificiales y el compostaje comunitario. Asimismo, acoge cursos y jornadas de formación, así como foros de divulgación y debate nacional como la Ecotrobada celebrada en 2026.

5. SÍNTESIS DEL IMPACTO SOCIAL Y DEMOGRÁFICO DE CARRÍCOLA

La serie histórica del Padrón INE (1996-2025) y la serie de visitas del PUAM (2015-2019) acreditan que la gestión soberana de los recursos ha actuado como catalizador directo del asentamiento. La Ecodepuradora basada en humedales, sin consumo energético, y la Isla de Compostaje 100% local no solo depuran agua y cierran el ciclo de la materia orgánica, sino que contribuyen a fijar población y generan empleo. Carrícola pasó de 72 habitantes en el año 2000 a un pico de 105 en 2013, y mantiene hoy una resiliencia consolidada de 97 habitantes en 2025, lo que supone un incremento neto del +35% entre 2000 y 2025 en plena España vaciada, mientras la Vall d'Albaida retrocede un 8,2%. Este modelo, denominado Carrícola Circular Lab, convierte un pasivo ambiental -42 toneladas anuales de residuos y 15 m^3/día de aguas residuales- en un recurso territorial de alto valor. Sustenta 5 empleos verdes directos, 1,9 ETP, con una ratio de 1 empleo verde por cada 20 habitantes, y genera un retorno de 2,3 € por cada euro invertido en el municipio, con una ratio Beneficio/Coste de 7 en servicios ecosistémicos.

ANEXO I: INFORME UPV - IIAMA

Ecodepuradora de Carrícola



Carmen Hernández Crespo, Miguel Martín Monerris

Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente

Universitat Politècnica de Valènci

1. Introducción

La Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) de Carrícola fue bautizada como Ecodepuradora por el municipio, por los distintos aspectos que la caracterizan: es una solución basada en la naturaleza (SbN), concretamente basada en el funcionamiento de los humedales, que en este caso se denominan humedales artificiales, no tiene consumo energético asociado a bombeos de agua ya que el agua fluye por gravedad a lo largo de todos los elementos que la conforman, y tampoco consume reactivos. Por tanto, se trata de una depuradora sostenible, que cumple con la neutralidad energética promovida en la nueva Directiva Europea sobre tratamiento de aguas residuales urbanas [1], se encuentra armoniosamente integrada en el paisaje, genera biodiversidad, fija carbono en la vegetación que la constituye y crea empleo local estable. En definitiva, se ajusta perfectamente a la filosofía del municipio. Carrícola puede considerarse como la cuna del ecologismo valenciano, pionera en la aplicación de agricultura ecológica, dispone de un edificio público de bioconstrucción, es comunidad energética de fuentes de energía renovables, acoge jornadas de encuentro de diversos actores relacionados con la gestión ambiental, gestiona los residuos orgánicos en el propio municipio mediante compostaje, y depura sus aguas residuales mediante una SbN que ha ido mejorando su eficiencia en cuanto a depuración del agua y mejora de la biodiversidad a lo largo de los años, gracias a la cooperación con la Universidad Politécnica de Valencia (UPV) y distintos proyectos nacionales y europeos (LIFE Renaturwat y MITERD "Carrícola más que circular").

2. Historia de la Ecodepuradora

El municipio disponía de una antigua depuradora compuesta de un tanque de sedimentación y un pequeño filtro de gravas que se encontraba colmatado y no depuraba correctamente las aguas residuales procedentes del núcleo urbano. En el año 2008 recibió una comunicación de la Confederación Hidrográfica del Júcar sobre el inicio de un expediente sancionador, por incumplimiento de los requisitos de vertido.

Tras dicha comunicación emprendieron rápidamente una búsqueda de soluciones para resolver este problema ambiental. La alternativa ofrecida por el organismo regional en materia de saneamiento, la Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales (EPSAR), consistente en una instalación de biodiscos, una obra con elementos electromecánicos, no encajaba con el enfoque de sostenibilidad e integración en el entorno natural que estaba adoptando el municipio en aquella época. Por ello, procedieron a explorar otras alternativas más acordes al modelo de gestión municipal que querían promover, poniéndose en contacto con miembros del Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente de la UPV, quienes colaboraron en el diseño de la depuradora mediante la tecnología de humedales de tratamiento, una tecnología idónea para pequeñas poblaciones como Carrícola. Paralelamente, el ayuntamiento buscó financiación para poder ejecutarla. En el siguiente enlace encontrarás un vídeo donde te lo cuentan en primera persona: https://youtu.be/qnfUiy8yYCg?si=NfBQtZ4h50eR8TcX.

Después de un gran esfuerzo y tiempo, finalmente la Ecodepuradora entró en funcionamiento en el año 2014 y desde entonces se han ido añadiendo nuevos elementos para mejorar todavía más la eficiencia de depuración, el aumento de la biodiversidad y la integración en el paisaje. Tras 12 años de funcionamiento se puede decir que la Ecodepuradora de Carrícola se ha convertido en un auténtico

[1] Directiva (UE) 2024/3019 sobre tratamiento de aguas residuales urbanas. Directiva - UE - 2024/3019 - EN - EUR-Lex

laboratorio al aire libre donde poder investigar y llevar a cabo una labor de educación ambiental muy importante, recibiendo numerosos grupos de visitantes de todas las edades y categorías profesionales. En el apartado 6 se encuentra una relación de publicaciones y trabajos finales de grado y máster realizados, y tesis doctorales en curso.

3. Descripción de la Ecodepuradora.

La Ecodepuradora de Carrícola está basada en humedales artificiales, también denominados construidos o humedales para el tratamiento. El municipio tiene una población alrededor de 100 habitantes, la depuradora fue diseñada para poder tratar hasta 150 habitantes equivalentes, para cubrir así los incrementos de población que se producen en días festivos. El caudal medio de aguas residuales que generan los habitantes varía entre 10 y 30 m^3/d y tiene un carácter de agua residual doméstica, no hay industrias en el casco urbano.

La Ecodepuradora dispone de un pretratamiento consistente en un pequeño canal donde hay una reja de finos, que retiene los sólidos más gruesos que llegan a la depuradora (papel higiénico, toallitas húmedas [2] y otros). A continuación, el agua residual doméstica pasa al tratamiento primario, constituido por dos tanques Imhoff en serie. Estos dos tanques fueron recuperados de la instalación original y rehabilitados para actuar como sedimentadores de sólidos en suspensión, reduciendo así la concentración de materia en suspensión y turbidez del agua, que se dirige posteriormente hacia el tratamiento secundario, donde ya encontramos los humedales. Concretamente, se dispone de dos humedales de flujo subsuperficial horizontal en paralelo, con una superficie total de 400 m^2. Estos humedales consisten en unos lechos de gravas, correctamente impermeabilizados, con una profundidad aproximada de 45 cm y plantados con vegetación típica de zonas húmedas. Actualmente, existe un mosaico de vegetación que da color a la instalación (carrizo, lirios, juncos y narcisos), gracias a plantaciones realizadas en el marco del proyecto LIFE Renaturwat. El agua circula a través de este lecho de gravas de forma subterránea, no la vemos desde la superficie, depurándose durante su recorrido. A continuación, se encuentran dos humedales de funcionamiento secuencial, esto es, se llenan y se vacían periódicamente, con el fin de airear el lecho, con una superficie de 20 m^2 cada uno. En este caso, el medio poroso está formado por fango de potabilizadora granulado, el cual se encarga de adsorber fósforo y reducir así su concentración en el agua depurada. La vegetación plantada en estos dos humedales también fue diversa y adicionalmente se plantaron plantas aromáticas alrededor, para favorecer la presencia de insectos beneficiosos (véase Figura 1). Estos dos elementos forman parte de un nivel de tratamiento terciario y fueron construidos gracias al proyecto LIFE Renaturwat. El tratamiento terciario se completa con dos lámparas de radiación ultravioleta alimentadas con placas fotovoltaicas, cuya misión es desinfectar el agua para poder reutilizarla para riego agrícola. Esta mejora del tratamiento terciario ha sido posible gracias al proyecto MITERD “Carrícola más que circular”. Tras las lámparas, existen dos humedales más: un humedal de flujo subsuperficial horizontal de 200 m^2 y un pequeño humedal de flujo superficial de unos 13 m^2 de superficie, bautizado como charca de anfibios, que tiene una función de renaturalización y mejora de la biodiversidad, así como de desinfección del agua. Allí se pueden observar ranas, sapos, culebras, libélulas, invertebrados acuáticos, y hasta alguna gallineta de agua. También fue lugar para la introducción de una especie de

[2] El ayuntamiento llevó a cabo una campaña municipal para concienciar a la población de la importancia de no arrojar toallitas húmedas al inodoro, pues terminan provocando atascamientos en distintos puntos de la red de saneamiento y la depuradora, perjudicando así a su funcionamiento.

anfibio que se encuentra en estado vulnerable en el Catálogo Valenciano de Especies Protegidas. En la Figura 1 se muestra un esquema de la instalación.

El consumo energético de la Ecodepuradora es prácticamente nulo, gracias a que el agua residual fluye por gravedad a través de todas las etapas, por lo que no se necesitan bombeos. El único gasto energético se produce cuando hay que extraer los fangos acumulados en el fondo de los tanques Imhoff, generalmente cada doce meses, los cuales se depositan en una pequeña era de secado, donde son deshidratados y posteriormente pueden utilizarse como abono. Las lámparas ultravioletas se alimentan con placas solares y los humedales secuenciales disponen de una electroválvula alimentada por una pila que tiene una duración muy extensa.

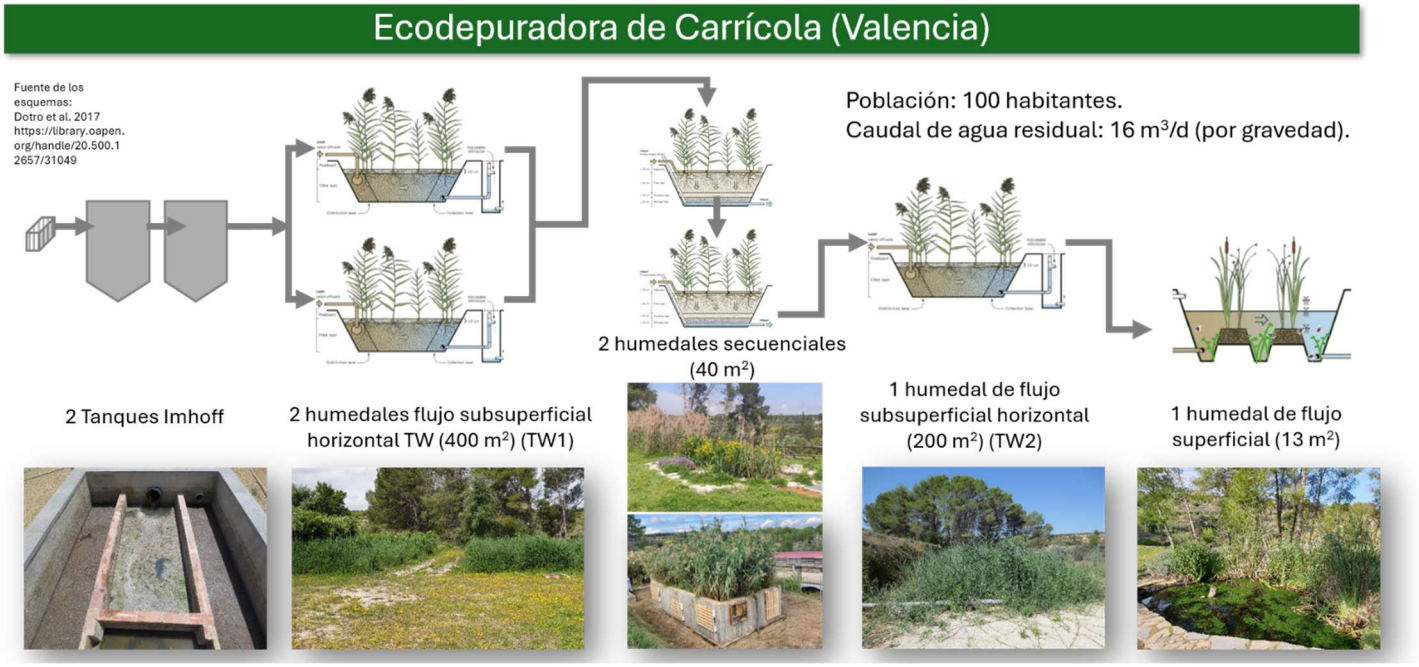


Figura 1. Infografía de la Ecodepuradora de Carrícola.

4. Resultados y discusión.

En este apartado se presentan los principales resultados que se han ido obteniendo a partir de los diversos estudios realizados y del seguimiento que ha realizado el IIAMA de la UPV desde la puesta en marcha de la depuradora.

Las concentraciones medias del agua residual urbana que entra a la depuradora y sale de ella se muestran en la Figura 2. Para el caso del fósforo, se muestra el valor medio de salida antes y después de la implementación de los humedales secuenciales con fango de potabilizadora como material poroso adsorbente. Como se puede observar, las eficiencias de depuración del agua son muy elevadas para las variables Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO_5) y Sólidos en Suspensión Totales (SST), las cuales cumplen con amplio margen los requisitos de vertido establecidos en su autorización de vertido (DQO: 125 mg/l; DBO_5: 25 mg/l; SST: 35 mg/l). Cabe mencionar que la autorización de vertido no establece límite de vertido para los nutrientes, nitrógeno y fósforo, debido a la pequeña magnitud de la población y a que no vierten en una masa de agua sensible a la eutrofización. No obstante, el compromiso ambiental del municipio queda patente una vez más, al participar en el proyecto LIFE Renaturwat implementando los humedales secuenciales con

fango de potabilizadora, que permiten mejorar la eficiencia de reducción de fósforo del 27% original hasta un 73%.

Variable	Influente	Effluente	Efficiencia (%)	
DQO (mg/l)	848	42.5	95%	✓
DBO_5 (mg/l)	524	11.2	98%	✓
SST (mg/l)	308	5.2	98%	✓
NT (mg/l)	50.8	32.8	35%	
PT (mg/l)	7.3	5.3	27%	
PT (mg/l)		2.0	73%	



Figura 2. Concentraciones medias de entrada (influente) y salida (efluente) y eficiencias de distintas variables de calidad del agua (DQO: demanda química de oxígeno; DBO_5: demanda bioquímica de oxígeno en 5 días; SST: sólidos en suspensión totales; NT: nitrógeno total; PT: fósforo total), desde la puesta en marcha de la depuradora hasta 2022. Para el fósforo total se presenta la mejora obtenida al implementar los humedales secuenciales con el proyecto LIFE Renaturwat.

En 2020-2021 se llevó a cabo un estudio centrado en la contaminación microbiológica, analizando la bacteria fecal *Escherichia coli (E. coli)*, empleada como uno de los principales indicadores en la normativa sobre reutilización de agua depurada[3]. Esto fue posible gracias a un proyecto del programa ADSIDEO del Centro de Cooperación al Desarrollo de la UPV.

Los resultados obtenidos en el seguimiento de *E. coli* en las distintas etapas del sistema de tratamiento arrojó resultados muy interesantes. La bacteria se reducía de forma progresiva a lo largo del sistema de humedales, pero de manera especialmente eficiente en el último elemento, el pequeño humedal de flujo superficial, o charca de anfibios. Ello despertó la curiosidad de los investigadores del IIAMA, quienes profundizaron en el estudio de este pequeño estanque. Empleando herramientas de modelación matemática pudieron determinar la importancia de los principales mecanismos de eliminación de esta bacteria fecal. Se pudo concluir que la desinfección por efecto de la radiación solar representaba el 65% de la eliminación, seguida del mecanismo de depredación por parte de invertebrados filtradores, como los cladóceros (*Daphnia sp*., popularmente conocida como pulga de agua), que contribuían a filtrar el agua eliminando un 25% de la *E. coli*. Mecanismos como la muerte natural de la bacteria o su adsorción a los sólidos suspendidos y posterior sedimentación representaron apenas el 5% de la remoción cada uno.

[3] Real Decreto 1085/2024, de 22 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de reutilización del agua y se modifican diversos reales decretos que regulan la gestión del agua, y se incorpora a la legislación española el Reglamento Europeo 2020/741.

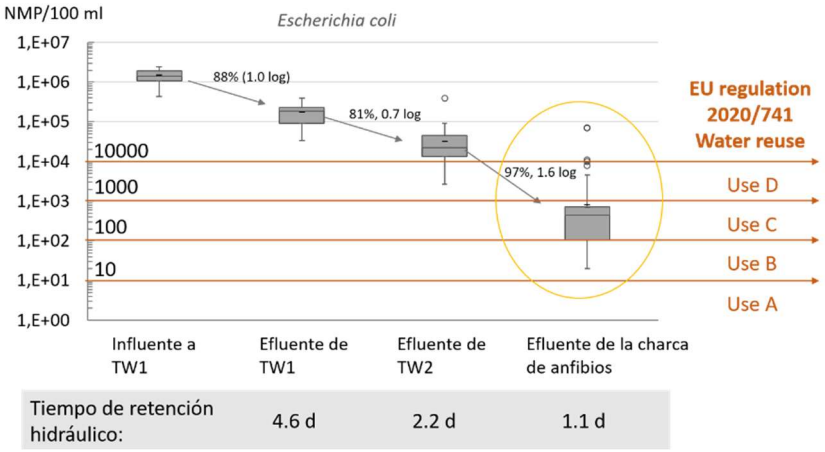


Figura 3. Diagramas de cajas y bigotes de la concentración de bacteria Escherichia coli en las distintas etapas de la Ecodepuradora de Carrícola. NMP: número más probable de bacterias.

Otra línea de estudio consistió en evaluar la eficiencia de retención de microplásticos en los humedales artificiales. Los análisis realizados mostraron una alta eficiencia de retención, en torno al 97%, es decir, de los microplásticos que entraban a los humedales únicamente el 3% escapaban del sistema. Este resultado es altamente prometedor ya que pone de manifiesto el gran potencial de estas SbN para atacar el problema de contaminación de las aguas residuales con microplásticos. Por otro lado, también se demostró que los microplásticos retenidos en los humedales, como permanecen allí durante mucho tiempo, comienzan a presentar signos de degradación, lo cual es un primer paso para hacer posible su descomposición total a dióxido de carbono y agua.

La última mejora introducida en la Ecodepuradora, gracias al proyecto "Carrícola más que circular" ha consistido en la instalación de un sistema de desinfección de bajo coste consistente en dos lámparas de radiación ultravioleta alimentadas con placas fotovoltaicas y batería, para poder operar de manera constante, las 24 h del día y evitar que crezca biopelícula bacteriana alrededor de las lámparas durante las horas sin luz solar. Estas lámparas se colocaron en un punto intermedio de la depuradora, concretamente tras los humedales secuenciales, que era un punto donde la turbidez del agua era muy baja (3.4 UNT[4]), lo cual es necesario para que este sistema de desinfección funcione adecuadamente. Y también por razones de posterior aprovechamiento mediante almacenamiento en un depósito situado cerca de este punto.

Aunque los resultados son todavía muy preliminares porque corresponden a apenas 2 meses de seguimiento, se puede decir que este sistema de desinfección presenta un gran potencial para desinfectar el agua depurada hasta niveles aptos para la mayoría de los usos agrícolas. Con una lámpara el valor medio de E. coli alcanzado es de 50 NMP/100 ml y con dos lámparas en serie el valor medio se reduce hasta 1.4 NMP/100 ml, el cual permitiría todos los usos agrícolas contemplados en el reglamento de reutilización de las aguas depuradas.

Por último, conviene mencionar el estudio realizado sobre valoración económica de los servicios ecosistémicos ofrecidos por el sistema de humedales secuenciales. Este estudio, realizado por miembros del Grupo de Economía del Agua de la Universidad de Valencia, en colaboración con el resto de socios del proyecto LIFE Renaturwat, arrojó una relación entre el valor de los servicios ecosistémicos y el coste de implementación de 7, esto es, una ratio beneficio/coste de 7, o dicho de otra manera, el valor de los servicios proporcionados por la actuación fue de 7 veces su coste de implementación.

[4] Para hacerse una idea de la transparencia del agua en este punto, la normativa de agua potable exige 1 UNT (unidades nefelométricas de turbidez).

Aunque esta ratio fue obtenida para los humedales secuenciales, se puede estimar que el resultado sería similar o todavía mejor si se considerase el sistema completo de depuración.

5. Conclusión.

La Ecodepuradora de Carrícola es una Solución basada en la Naturaleza que depura adecuadamente las aguas residuales generadas en el municipio, sin apenas consumo energético y sin insumos de materias primas, alcanzando un nivel de depuración tan elevado que el agua puede reutilizarse para cualquiera de los usos contemplados en la normativa de reutilización. Y todo ello aportando una serie de beneficios ambientales o servicios ecosistémicos cuyo valor económico se ha estimado en 7 veces el coste de implantación.

6. Relación de trabajos y publicaciones.

El seguimiento llevado a cabo en la Ecodepuradora por el IIAMA y las mejoras implementadas gracias a diversos proyectos, han posibilitado la publicación de cinco artículos científicos, que se recogen a continuación:

1. Echeverría-Puertas, Julie; Martín Monerris, Miguel; Asensi Dasí, Enrique Javier; Oliver Rajadel, Nuria; Rousseau, Diederik P.L.; Hernández Crespo, Carmen. (2026) Assessment of microplastics accumulation and aging in horizontal subsurface flow constructed wetlands. Water Research, 36. 10.1016/j.watres.2026.126516.
2. Hernández-Chover, Vicent; Castellet-Viciano, Lledó; Bellver-Domingo, Águeda; Hernández-Sancho, Francesc; Hernández Crespo, Carmen. (2026) Integrating multicriteria analysis and economic valuation to assess nature-based water reuse systems (LIFE Renaturwat). Environmental Science and Pollution Research, 33, 16084 - 16105. 10.1007/s11356-026-38244-3.
3. Hernández Crespo, Carmen; Oliver, Nuria; Gil-Martínez, Enric; Añó, Miguel; Fernández-Alba, Sonia; Benedito Durá, Vicent ... Martín Monerris, Miguel. (2024). Integrating circular economy and biodiversity in upgrading full-scale constructed wetlands (LIFE Renaturwat). Ecological Engineering, 24 (3-4). 10.1016/j.ecoleng.2024.107263
4. Calzadilla-Cabrera, Darío; Wang, Qintong; Martín Monerris, Miguel; Oliver Rajadel, Nuria; Rousseau, Diederik P.L.; Hernández Crespo, Carmen. (2023) Microplastics occurrence and fate in full-scale treatment wetlands. Water Research, 24, 1 - 10. 10.1016/j.watres.2023.120106.
5. Hernández Crespo, Carmen; Fernández-Gonzalvo, Miriam Inmaculada; Miglio, Rosa M.; Martín Monerris, Miguel. (2022) Escherichia coli removal in a treatment wetland - pond system: A mathematical modelling experience. Science of The Total Environment, 839 (4), 1 - 10. 10.1016/j.scitotenv.2022.156237.

A continuación, se expone un listado de Trabajos finales de Grado o Máster desarrollados gracias a la cooperación con el municipio de Carrícola:

1. Echeverría Puertas, Julie Alejandra. (2024). Evaluación de la acumulación y la potencial biodegradación de microplásticos en humedales artificiales. Martín Monerris, Miguel (Cotutor/a), Hernández Crespo, Carmen (Cotutor/a), Oliver Rajadel, Nuria (Ext.). Máster Universitario en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente.
2. Calzadilla Cabrera, Darío. (2021). Evaluación de la eficiencia de los humedales artificiales de Carrícola (Valencia) y Urbanización "Los Monasterios" (Puçol, Valencia) para reducir la concentración de microplásticos en las aguas residuales urbanas. Martín Monerris, Miguel

(Cotutor/a), Hernández Crespo, Carmen (Cotutor/a), Oliver Rajadel, Nuria (Ext.). Máster Universitario en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente.
3. Mariño Salguero, Carmen Elizabeth. (2020). Evaluación de la eficiencia de desinfección de los humedales artificiales de la Estación Depuradora de Aguas Residuales de Carrícola (Valencia). Martín Monerris, Miguel (Cotutor/a), Hernández Crespo, Carmen (Cotutor/a). Máster Universitario en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente.
4. Martín Claudio, María Isabel. (2020). Estudio de revalorización de fango generado de potabilizadoras como material adsorbente de fósforo en humedales artificiales. Martín Monerris, Miguel (Cotutor/a), Hernández Crespo, Carmen (Cotutor/a). Máster Universitario en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente.
5. García Cárdenas, María Isabel. (2020). Estudio de mezclas de fango deshidratado en polvo con carbón activado granular agotado procedentes de Estaciones de Tratamiento de Aguas Potables para su empleo como sustrato activo en humedales artificiales. Martín Monerris, Miguel (Cotutor/a), Hernández Crespo, Carmen (Cotutor/a). Máster Universitario en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente.
6. Martínez Biosca, Adrián. (2018). Puesta en marcha de una planta piloto de humedal artificial de flujo subsuperficial empleando fango de potabilizadora como medio filtrante reactivo para mejorar la calidad del efluente de una EDAR. Martín Monerris, Miguel (Cotutor/a), Hernández Crespo, Carmen (Cotutor/a), Oliver Rajadel, Nuria (Dir.). Máster Universitario en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente.
7. Granell Ruiz, Josep. (2017). Modelización matemática de un Humedal Artificial de Flujo Horizontal en Carrícola (Valencia, España) mediante HYDRUS-Wetland Module. Martín Monerris, Miguel (Tutor/a), Hernández Crespo, Carmen (Tutor/a). Máster Universitario en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente.
8. Fernández Gonzalvo, Miriam Inmaculada. (2016). DESARROLLO DE UN MODELO MATEMÁTICO PARA EL DISEÑO Y LA GESTIÓN DE HUMEDALES ARTIFICIALES SUBSUPERFICIALES. APLICACIÓN AL HUMEDAL ARTIFICIAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL DE CARRÍCOLA (VALENCIA). Martín Monerris, Miguel (Tutor/a), Hernández Crespo, Carmen (Tutor/a). Máster Universitario en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos.
9. Naranjo Ríos, Norman Yarmari. (2016). Estudio para mejorar la eliminación de fósforo en humedales artificiales empleando fangos generados en la potabilización del agua, mediante procesos de adsorción. Aplicación a la potabilizadora La Presa (Manises, Valencia). Martín Monerris, Miguel (Tutor/a), Macián Cervera, Vicente Javier (Tutor/a), Hernández Crespo, Carmen (Tutor/a). Máster Universitario en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente.
10. Granell Ruiz, Josep. (2017). Modelización matemática de un Humedal Artificial de Flujo Horizontal en Carrícola (Valencia, España) mediante HYDRUS-Wetland Module. Martín Monerris, Miguel (Tutor/a), Hernández Crespo, Carmen (Tutor/a). Máster Universitario en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente.
11. Cruz Vicente, Blanca de la. (2014). EVALUACIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS PROPORCIONADOS POR LOS HUMEDALES ARTIFICIALES. APLICACIÓN AL HUMEDAL ARTIFICIAL DE CARRÍCOLA (VALENCIA). Martín Monerris, Miguel (Tutor/a). Grado en Ingeniería de Obras Públicas.
12. Illera Gómez, Iván. (2012). Diseño de un humedal artificial de flujo subsuperficial para la deshidratación de fangos de la EDAR de Carrícola (Valencia). Martín Monerris, Miguel (Tutor/a). Ingeniería Técnica de Obras Públicas, especialidad en Hidrología.
13. Blasco Argenti, María Eva. (2010). Diseño de un sistema de Humedales Artificiales para el tratamiento secundario de las aguas residuales de la población de Carrícola (Valencia). Martín Monerris, Miguel (Tutor/a). Licenciatura en Ciencias Ambientales (2º ciclo).

Además, está siendo posible la realización de dos tesis doctorales, actualmente en curso:

1. Calzadilla Cabrera, Darío. Evaluación del potencial de remoción de microplásticos en Soluciones Basadas en la Naturaleza para la gestión sostenible de aguas pluviales y residuales.
2. Echeverría Puertas, Julie Alejandra. Evaluación de la dinámica, retención y potencial de biodegradación de microplásticos en humedales artificiales de tratamiento de aguas.

ANEXO II: COMUNICACIÓN EXPERIENCIA EN AGROCOMPOSTAJE EN CARRICOLA (CIAGRO-UMH)

DE RESIDUO A RECURSO: EJEMPLO DE GESTIÓN DESCENTRALIZADA DE BIORRESIDUOS EN EL MUNICIPIO DE CARRÍCOLA (COMUNIDAD VALENCIANA)

Cristina Álvarez-Alonso[1], Mª Ángeles Bustamante[1], Natalia Manrique-Córdoba[1], Ana Garcia-Rández[1], Mª Dolores Pérez-Murcia[1], Encarnación Martinez-Sabater[1], Maite Chafer[2], Raúl Moral[l]

[1]*Centro de Investigación e Innovación Agroalimentaria y Agroambiental (CIAGRO-UMH), Universidad Miguel Hernández de Elche, EPS-Orihuela, Alicante.*

**Instituto de Ingeniería de Alimentos Para El Desarrollo, Departamento de Tecnología de Alimentos, Universitat Politécnica de Valencia, Valencia.*

Correo electrónico: cristina.alvareza@umh.es

Resumen: El municipio de Carrícola, reconocido históricamente por su modelo agroecológico pionero desde la década de 1980, puso en marcha en enero de 2017 un sistema de gestión de la fracción orgánica domiciliaria basado en compostaje comunitario que permite la valorización in situ de aproximadamente una tonelada mensual de biorresiduos, con la participación activa de la población local. La gestión combina recogida puerta a puerta, precompostaje en composteras y compostaje en pila volteada, optimizando progresivamente tanto las condiciones operativas como la calidad del producto final. Durante el periodo 2017—2024 se analizaron 17 procesos de compostaje, observándose una evolución hacia una mayor estandarización en las mezclas (FORS y restos de poda) y en los tiempos de proceso, estabilizados entre 4 y 6 meses. El seguimiento térmico mostró en todos los casos una elevada actividad microbiológica, con temperaturas superiores a 70 °C y una adecuada higienización del material, cumpliendo los requisitos de la normativa europea. Asimismo, los parámetros físico-químicos y químicos de los materiales iniciales resultaron adecuados, y el compost obtenido presentó características agronómicas óptimas, destacando su estabilidad, ausencia de fitotoxicidad y contenido relevante en materia orgánica, nutrientes y sustancias húmicas. Además, no se detectaron patógenos ni concentraciones de metales pesados superiores a los límites legales, y se estimó su valor económico según nutrientes y sustancias húmicas. Este modelo descentralizado se presenta como una estrategia viable y sostenible en entornos rurales, contribuyendo a la reducción de residuos, la mitigación del cambio climático, la participación ciudadana y la economía circular.

Palabras clave: compostaje comunitario, economía circular, sostenibilidad, gestión descentralizada, participación ciudadana.

1. Introducción

En la actualidad, el crecimiento de la población mundial y el desarrollo económico, han producido un aumento en el consumo de recursos y en consecuencia en la generación de residuos. Se espera que para 2050 la generación de residuos sólidos municipales aumente hasta las 3400 toneladas si no se ponen limitaciones (Kaza y col., 2018). Los modelos de gestión descentralizada de residuos municipales, especialmente la fracción orgánica recogida separadamente y los restos de podas urbanas también denominados biorresiduos, se consolidan como una alternativa sostenible frente a los sistemas centralizados tradicionales. Además, el compostaje *in sito* permite por un lado avanzar hacia un modelo de gestión más eficiente y alineado con los principios de la economía

circular, fundamentado en la valorización local de los residuos orgánicos a través de procesos biológicos aerobios, como el compostaje, que posibilita el cierre del ciclo de la materia orgánica en el propio territorio (Storino y col., 2018). En este sentido, el municipio de Carrícola, reconocido históricamente por su modelo agroecológico pionero desde la década de 1980, puso en marcha en enero de 2017 un sistema de gestión de la fracción orgánica domiciliaria recogida separadamente basado en compostaje comunitario. En el marco de este proyecto, la primera pila de compostaje se conformó en junio del mismo año, marcando el inicio de la valorización *in situ* de los biorresiduos generados en el municipio. Actualmente, en la iniciativa participan alrededor de 40 familias, dos de ellas con compostaje doméstico individual, además de un restaurante y un establecimiento hostelero. Se trata de un sistema de gestión de carácter circular y autosuficiente que permite gestionar de forma conjunta la fracción orgánica y los restos de jardinería urbana generados en el propio municipio. Este tipo de instalaciones basadas en el compostaje comunitario permiten no solo gestionar biorresiduos de manera local, sino que reducen el transporte de los residuos y, por lo tanto, las emisiones asociadas, disminuyen los costes de gestión, fomentan la economía circular en zonas rurales y refuerzan el carácter social de este tipo de iniciativas al implicar a la ciudadanía en la separación de residuos en su origen (Álvarez-Alonso y col., 2025).

El objetivo de este estudio fue realizar el seguimiento de diferentes ciclos de compostaje en cuanto a capacidad de gestión, evolución del proceso (temperatura, duración, incidencias) y calidad del compost obtenido en términos de higienización, madurez y calidad agronómica del compost final.

2. Material y Métodos

El estudio evalúa el proceso de compostaje realizado en la «Illa de compostatge» (modelo CORVS de Carrícola), la cual dispone de solera de hormigón, sistema de recogida de lixiviados y riego (aspersión y manguera). La Fracción Orgánica de Residuos Sólidos (FORS), recogida puerta a puerta se mezcla en proporción 1:1 en volumen con restos de poda urbana (material estructurante para reducir olores y lixiviados), añadiendo un 10% de estiércol de burro. El proceso se realiza en 2 fases: 1) Acopio y pre-compostaje donde la mezcla se deposita en capas alternas de FORS y poda en composteras (450 y 800 L) durante un mes, repitiéndose este ciclo de acopio durante 4 meses para alcanzar el volumen óptimo de biomasa, 2) Volteo y maduración, donde se retira el material de las composteras y se forman pilas mediante la volteadora mecánica, asegurando la homogeneización, aireación y el aporte de humedad por riego. Con el fin de evaluar el proceso, se cuantificaron los residuos gestionados y se controló la evolución térmica. El seguimiento analítico incluyó la toma de muestras en cuatro etapas clave: mezcla inicial (M1), fase termófila (M2), final de la fase bio-oxidativa (M3) y madurez (M4). En cada etapa se determinaron parámetros físico-químicos, químicos y biológicos siguiendo la metodología descrita por Álvarez-Alonso y col., (2025).

3. Resultados y Discusión

3.1 Procesos estudiados y materiales orgánicos gestionados

Se han realizado un total de 17 procesos de compostaje durante el periodo de estudio 2017-2024. Se observaron ligeras variaciones en las proporciones de cada uno de los materiales utilizados en todos los lotes estudiados, con predominio de la FORS (rango entre 73-87 %), frente a la poda (rango entre 5,6-26,5 %), reflejando una evolución hacia un modelo de mezcla más estandarizado y controlado, lo que contribuye a una mayor estabilidad del proceso de compostaje y a una mejora en la calidad del compost final. Se observó por un lado un incremento en la cantidad

de FORS gestionada (de 2.500 a 10.000 kg estabilizándose en el rango de 4.000—6.500 kg por lote), lo que sugiere una optimización del tamaño de las pilas, así como la estacionalidad en cuanto a la recogida selectiva, con incrementos en las temporadas de verano y navidad.

3.2 *Control* del *proceso* de *compostaje en la Isla de Compostaje de Carrícola.*

La medición de la temperatura se realiza de forma periódica (2-3 veces por semana) mediante lectura directa con termómetro en diferentes puntos y profundidades de la pila, con el fin de definir el perfil térmico característico de cada pila, en el que se distinguen las principales fases del proceso de compostaje (Figura 1). En general, se observa un rápido incremento de la temperatura durante los primeros días (valores >70 °C), reflejo de la alta actividad biológica, que desciende hacia valores mesófilos que repuntan tras cada volteo. Las temperaturas descienden con el tiempo de proceso por agotamiento de la materia orgánica hasta alcanzar valores cercanos a los ambientales. Todos los procesos estudiados cumplieron con los criterios establecidos en el Reglamento UE 1009/2019 que garantizan la higienización del compost.

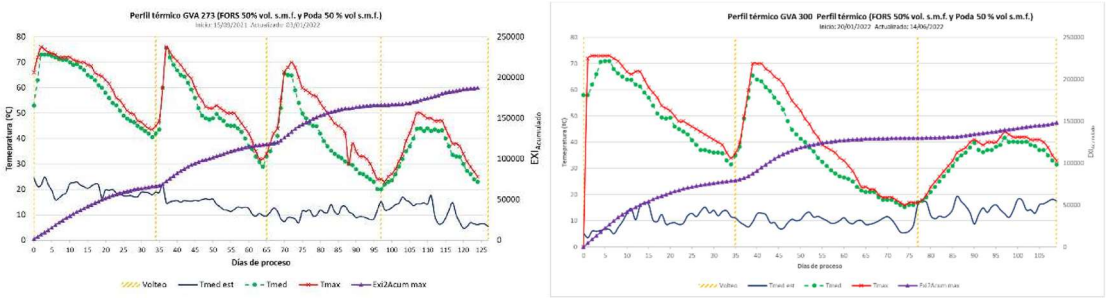


Figura 1: Ejemplos de los diferentes perfiles térmicos desarrollados por los procesos de compostaje de la isla de Carrícolaa.

3.3 Principales características de los materiales de la Isla de Compostaje de Carrícola.

Los materiales iniciales presentan propiedades complementarias idóneas para un buen proceso de compostaje: a) FORS homogénea, con elevada humedad, pH ligeramente ácido, alta conductividad eléctrica (CE), alta materia orgánica (MO) y una relación C/N adecuada para la actividad microbiana; por el contrario, la poda aporta heterogeneidad, baja humedad y densidad, un pH neutro, baja CE y un alto contenido en MO que equilibra la relación C/N de la mezcla; finalmente, el estiércol de burra muestra homogeneidad, baja humedad, pH ligeramente alcalino, baja CE y niveles medios de MO con una relación C/N también idónea.

3.4. Principales características agronómicas y ambientales de los compost generados y capacidad fertilizante.

En general, el compost de Carrícola destaca por un pH alcalino, medio contenido en MO, relación C/N inferior a 20 y alta presencia de ácidos húmicos y fúlvicos que favorecen la humificación, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y el secuestro de carbono. A nivel nutricional, puede actuar como un fertilizante de liberación lenta con un aporte medio-alto de nitrógeno (N) y potasio (K_2O), y bajo de fósforo (P_2O_5), minimizando el riesgo de lixiviación de nutrientes. Sin embargo, la CE relativamente elevada exige precaución en cultivos sensibles a la salinidad. Además, se presenta como un compost estable, según el test de autocalentamiento, y maduro (IG>50%). En cuanto a los posibles riesgos para la salud humana y el medio ambiente, se observó ausencia de *Salmonella sp.* y *E. coli* y concentraciones de metales pesados por debajo de los límites legales nacionales y europeos.

3.5 Valor económico eqtzrva/enfe del compost obtenido en Carrícola

Se calculó el valor económico por tonelada del compost integrando el coste de sus macronutrientes y sustancias húmicas, ajustado según la humedad del material. Se estimó el valor de las unidades fertilizantes en 6,5 € para el N, 26,9 € para el P2Os y 6,2 € para el K2O. Asimismo, se asignó un valor de referencia de 0,2 € por gramo a los ácidos húmicos y fúlvicos, reconociendo así el impacto económico de estos insumos clave para la resiliencia y fertilidad del suelo.

Valor económico equivalente	GVA 273 (€/tn, s.m.f.)	GVA 300 ('€/tn, s.m.f.)	GVA 358 (G/tn, s.m.f.)	GVA 387 (€/tn, s.m.f.)
Humedad	28,1	44,1	34,7	42,0
Valor nutrientes primarios NPK	31,2	74,9	63,0	62,4
Valor de sustancia húmicas	79,1	58,1	79,5	81,0
Valor Total (€lton)	134,7	152,0	160,5	167,4

4. Conclusiones

El compostaje comunitario de la FORS con poda urbana y estiércol en Carrícola constituye una estrategia viable y sostenible para obtener enmiendas orgánicas seguras y estables, donde la implicación ciudadana en la separación en origen resulta clave para garantizar la calidad del producto final y promover la economía circular en áreas rurales. Desde una perspectiva ambiental y agronómica, esta gestión no solo minimiza el volumen de residuos y las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) derivadas de un manejo deficiente, sino que también impulsa la mitigación del cambio climático al favorecer el secuestro de carbono mediante el incremento de la materia orgánica en el suelo y permitir la sustitución de fertilizantes minerales convencionales.

5. Bibliografía

Àlvarez-Alonso, C.; Pérez-Murcia, M.D.; Martinez-Sabater, E.; Irigoyen, I.; Sànchez-Arizmendiarrieta, J.; Plana, R.; López, M.; Nogués, I.; Bustamante, M.À. Integrated Biowaste Management by Composting at a University Campus: Process Monitoring and Quality Assessment. *Appl. Sci.* 2025, 15, 2910. https://doi.org/10.3390/app15062910

Kaza, S.; Yao, L.; Bhada-Tata, P.; VanWoerden, F. *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050,* Urban Development Series; World Bank: Washington, DC, USA, 2018.

Storino, F.; Plana, R.; Usanos, M.; Morales, D.; Aparicio-Tejo, P.M.; Muro, J.; Irigoyen, I. Integration of a Communal Henhouse and Community Composter to Increase Motivation in Recycling Programs: Overview of a Three-Year Pilot Experience in Noàin (Spain). *Sustainability* (Switzerland) 2018, 10, doi:10.3390/su10030690.

6. Agradecimientos

Esta investigación ha sido financiada en el marco del proyecto de investigación NEOCOMP (ref. PID2020-113228RB-I00) financiado por MCIN/ AEI /10.13039/501100011033 y, también por el Ministerio de Ciencia e Innovación español con una beca de doctorado al primer autor (FPU21/01207). Los autores también agradecen al Ayuntamiento de Carrícola y al