

**LIFE ECOGRANULARWATER: ELIMINACIÓN DE NITRATOS Y OTROS  
CONTAMINANTES DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS DESTINADAS A AGUAS DE  
CONSUMO MEDIANTE VÍA BIOLÓGICA**

RUIZ VALERO, María Caridad<sup>(1)</sup>; GARCIA MARTINEZ, Francisco Javier<sup>(1)</sup> ; RODRIGUEZ RAMÍREZ, Cristina<sup>(1)</sup> ; GONZÁLEZ LOPEZ, Jesús<sup>(2)</sup>; GONZÁLEZ MARTÍNEZ, Alejandro<sup>(2)</sup>; OSORIO ROBLES, Francisco<sup>(2)</sup>; ROBLES ARENAS, Virginia<sup>(2)</sup>; MUÑOZ PALAZÓN, Bárbara<sup>(2)</sup>; GONZALEZ GÓMEZ, Francisco<sup>(2)</sup>; GARCIA RUBIO, Miguel Ángel<sup>(2)</sup>; SALINAS, José Antonio<sup>(2)</sup>; ALGUACIL DUARTE, Fernando<sup>(2)</sup>; VAHALA Riku<sup>(3)</sup>; GÓMEZ NIETO, Isabel<sup>(4)</sup>; SALGUERO MELGUIZO, Francisco<sup>(4)</sup>.

(1) Diputación Provincial de Granada. Delegación de Asistencia a Municipios y Medio Ambiente. Periodista Barrios Talavera, 1. 18071 Granada. [caridadruizvalero@dipgra.es](mailto:caridadruizvalero@dipgra.es); [jgarcia@dipgra.es](mailto:jgarcia@dipgra.es); [cristinarodriguez@dipgra.es](mailto:cristinarodriguez@dipgra.es)

(2) Universidad de Granada. Cuesta del Hospicio, s/n. 18071 Granada. [jgl@ugr.es](mailto:jgl@ugr.es); [roblesarenas@ugr.es](mailto:roblesarenas@ugr.es); [fcojose@ugr.es](mailto:fcojose@ugr.es)

(3) Aalto University. Department of Built Environment. Tietotie 1E, P.O. box 15200. FI-00076 Aalto - 02150, Espoo, Finland [riku.vahala@aalto.fi](mailto:riku.vahala@aalto.fi)

(4) Construcciones Otero. C/ Acequia del Corón nº2. Edificio Manantial, Parque Empresarial Cortijo del Conde 18015 Granada [inieto@construccionesotero.com](mailto:inieto@construccionesotero.com); [fsalguero@construccionesotero.com](mailto:fsalguero@construccionesotero.com)

**RESUMEN:**

El proyecto LIFE ECOGRANULARWATER es un proyecto de la temática “Agua potable” aprobado dentro del área prioritaria “Eficiencia en el uso de Recursos” de la convocatoria 2016 del Programa LIFE.

Su objetivo es demostrar la eficacia de una tecnología basada en métodos biológicos para la eliminación de nitratos, fosfatos, plaguicidas y otros contaminantes del agua subterránea destinada a consumo humano. La tecnología propuesta en el proyecto supondrá una solución de bajo coste para los municipios que sufren este problema de contaminación hídrica.

El proyecto está siendo implementado por un grupo de socios formado por la Universidad de Granada, la Universidad de Aalto (Finlandia), la empresa Construcciones Otero y la Diputación de Granada, quien actúa como socio coordinador del mismo.

La tecnología será instalada en el municipio granadino de Torre Cardela, donde se han detectado valores elevados de concentración de nitratos en el agua subterránea y se viene utilizando un sistema de ósmosis inversa para poder dar cumplimiento al Real Decreto 140/2003, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, así como a las Directivas 98/83/UE (de Agua Potable) y 2013/39/UE, que modifica la Directiva 2000/60/UE (Directiva Marco del Agua) y la Directiva 2008/15/UE en lo relativo a las sustancias prioritarias en el campo de la política de aguas. El periodo de desarrollo del proyecto se extiende desde el 1 de septiembre de 2017 hasta el 31 de octubre de 2020.

**Palabras Clave:** Aguas subterráneas, Nitratos, Tratamiento Biológico, Energías Renovables, Agua Potable.

## 1. INTRODUCCIÓN

La contaminación por nitratos y otros contaminantes de las aguas subterráneas es un problema ambiental extendido a nivel europeo, principalmente en áreas con intensa actividad agrícola y ganadera.

La contaminación de las masas de agua por nitratos y otros contaminantes se debe principalmente al uso inadecuado o excesivo de fertilizantes y productos fitosanitarios en la agricultura (Galloway et al., 2008). Entre los años 2011 y 2015 dos de los socios de este proyecto (la Universidad de Granada y la Diputación de Granada), junto a dos empresas granadinas (Paisajes del Sur y Bonterra Ibérica) llevaron a cabo el proyecto LIFE EUTROMED. En este proyecto, entre otras actuaciones, se desarrollaron medidas preventivas dirigidas a la optimización de la fertilización nitrogenada por parte de los agricultores, con el objetivo de evitar la contaminación de las masas de agua por nitratos. En esta línea se ha venido trabajando desde la Diputación de Granada a través de nuevos proyectos con el apoyo de la Red Granadina de Municipios hacia la Sostenibilidad (más información en [www.eutromed.org](http://www.eutromed.org)).

Las Directivas de Nitratos (91/676/EC) y de Agua Potable (98/83/EC) fijan el límite para la concentración de nitratos en 50 mg/l para poder declarar el agua como apta para el consumo humano. Cuando los valores de este parámetro superan dicho límite, las autoridades locales deben buscar soluciones técnicas que reduzcan la concentración de dicho contaminante por debajo de los límites establecidos en la legislación. Además de los nitratos, preocupa la presencia de otros contaminantes en las aguas subterráneas como los fosfatos o restos de plaguicidas.

El exceso de nitratos en el agua destinada a consumo humano es un asunto de gran preocupación para numerosos municipios de la provincia de Granada, y en especial en la Comarca de los Montes Orientales, por las altas concentraciones en las aguas subterráneas. Concretamente, el municipio de Torre Cardela ha registrado declaración de no aptitud del agua de consumo humano durante un largo periodo de tiempo, problema que fue solucionado mediante la instalación de un sistema de ósmosis inversa.

Los sistemas más utilizados actualmente para reducir la concentración de estos contaminantes son la ósmosis inversa y el intercambio aniónico. Son sistemas eficientes, pero resultan costosos para los municipios, tanto en lo referente a la adquisición de los equipos como a su mantenimiento, debido al elevado consumo energético, la pérdida de agua durante el proceso de potabilización, la renovación de membranas, la utilización de productos, etc., tal y como se ha demostrado en Torre Cardela con la ósmosis.

En este contexto, cuatro entidades: la Diputación de Granada, que actúa como coordinadora; la Universidad de Granada; la Universidad de Aalto (Finlandia) y la empresa Construcciones Otero, que actúan como entidades beneficiarias asociadas, decidieron embarcarse en un proyecto que permitiese dar una solución a este problema, reduciendo los costes para los municipios.

LIFE ECOGRANULARWATER es un proyecto de la temática “Agua potable” aprobado dentro del área prioritaria “Eficiencia en el uso de Recursos” de la convocatoria 2016 del Programa LIFE.

El periodo de desarrollo del proyecto se extiende desde el 1 de septiembre de 2017 hasta el 31 de octubre de 2020 con un presupuesto de 995.000 € de los cuales 546.113 € son aportados por la Comisión Europea a través del Programa LIFE, que equivalen al 54,9 % del total. La diferencia será aportada por las entidades beneficiarias, en proporción a la magnitud de sus acciones.

## 2. OBJETIVOS Y RESULTADOS ESPERADOS

Los objetivos del proyecto son los siguientes:

1. Demostrar, a escala real, la viabilidad de una tecnología sostenible y de bajo coste basada en tecnología granular aerobia para eliminar contaminantes orgánicos e inorgánicos, como  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  y pesticidas, de las masas de agua subterránea que abastecen a pequeñas poblaciones, asegurando la liberación de nitrógeno como  $\text{N}_2$  y materia orgánica como  $\text{CO}_2$ , obteniendo, por lo tanto, agua en mejores condiciones para su uso final como agua potable. Además, esta planta será autosuficiente energéticamente ya que estará dotada de paneles solares fotovoltaicos y baterías que proveerán el 100 % de la energía demandada.
2. Llevar a cabo la aplicación de tecnologías biológicas en sistemas de tratamiento de aguas subterráneas para consumo humano bajo estricto control de bioseguridad.
3. Conocer la viabilidad económica y ambiental de la nueva tecnología propuesta y compararla con la actual, utilizando herramientas que permiten el cálculo de la huella de carbono, la huella ambiental y el análisis del ciclo de vida. Se pretende demostrar que la nueva tecnología propuesta es más eficiente y de menor coste, representando una alternativa al alcance de los municipios afectados por esta problemática.
4. Redactar un plan de negocio que permita conocer la situación del mercado de los sistemas de potabilización a nivel europeo, para establecer estrategias comerciales e industriales para impulsar la tecnología propuesta y garantizar su transferibilidad y replicabilidad en otras regiones europeas a través de negociaciones firmes con autoridades locales y gestores públicos.
5. Difundir los resultados obtenidos para dar a conocer la solución propuesta entre la ciudadanía, técnicos locales, gestores del ciclo integral del agua y entre la comunidad investigadora, lo cual contribuirá a la replicación y transferencia de esta tecnología a otras áreas geográficas y otros sectores económicos, tanto a nivel local en otros municipios de la provincia de Granada, como a nivel europeo en otras regiones de la Unión.
6. Establecer y mantener un contacto cercano con otros proyectos LIFE que persigan objetivos similares. El propósito de este contacto es contribuir al conocimiento existente en tecnologías de tratamiento de agua subterránea y

compartir los resultados y experiencias adquiridas durante el proyecto.

Los resultados que se esperan tras la implantación completa del proyecto son:

1. Eliminación de contaminantes orgánicos e inorgánicos del agua de abastecimiento en pequeñas poblaciones de manera que los niveles de nitratos, fosfatos y otros contaminantes orgánicos como los plaguicidas permanezcan por debajo de los límites establecidos en la Directiva de Agua Potable (98/837UE), Directiva Marco del Agua (2000/60/UE) y Directiva 2013/39/UE (que modifica las directivas 2000/60/UE y 2008/105/UE en lo relativo a las sustancias prioritarias en la política de aguas).
2. Eliminación de más del 90 % de los nutrientes del volumen de agua tratada sin generación de residuos en el proceso de tratamiento del agua, evitando la generación de salmuera o vertidos de cualquier otro tipo.
3. Producción de agua potable con total bioseguridad desde el punto de vista químico y biológico.
4. Evaluación de los costes y beneficios de esta tecnología, así como de los aspectos económicos y ambientales comparados con los de otras tecnologías existentes para el tratamiento de agua subterránea. Se espera alcanzar una mejor relación coste-beneficio en comparación con otros sistemas: reducción del consumo de energía en un 70 %, de los costes de mantenimiento en un 50 % (membrana y productos químicos) y costes de tratamiento de residuos en un 100 %.
5. Redactar un plan de negocio y conseguir el compromiso con 15 entidades a nivel europeo para la instalación de la planta de potabilización en otros territorios con el mismo problema.

### 3. ACCIONES

Todas las acciones de las que consta el proyecto se dividen en 5 grupos que se pasan a describir:

#### A. Acciones preparatorias.

##### A.1. Caracterización del agua subterránea.

Mediante esta acción se pretende realizar una caracterización hidroquímica de la masa de agua subterránea destinada al abastecimiento humano en el área de actuación. En esta región, el agua subterránea es el único recurso destinado a consumo humano y esta presenta problemas de calidad, debido principalmente a las elevadas concentraciones de nitratos.

Se realizarán muestreos en los sondeos destinados al abastecimiento y se analizarán los niveles de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3\text{H}^-$ , fosfatos y pesticidas. La determinación de estos parámetros es esencial para poder

seleccionar el inóculo apropiado a introducir en la planta de tratamiento de agua propuesta en el proyecto.

## A.2. Selección y evaluación de la fuente de carbono orgánico, las bacterias a inocular y las condiciones de operación del sistema granular aerobio.

Con esta acción se pretende desarrollar una serie de experiencias de laboratorio que permitan seleccionar y evaluar factores significativos que afectan al proceso de tratamiento de aguas subterráneas utilizando tecnología granular aerobia. Las pruebas a realizar permitirán seleccionar los microorganismos más eficientes, la fuente de carbono y su concentración, así como las condiciones de operación del biorreactor para la formación de gránulos estables.

La acción consta de tres subacciones:

- A.2.1. Selección y evaluación de la fuente de carbono orgánico. Se realizarán pruebas con acetato, etanol y metanol.
- A.2.2. Selección y evaluación de cadenas de bacteria para una inoculación selectiva. Se trabajará con cultivos puros de bacterias que serán inculados para evaluar su eficiencia en la eliminación de nutrientes.
- A.2.3. Estudio del efecto de los pesticidas en el funcionamiento de los reactores y el rendimiento en la eliminación de estos compuestos del agua.

## **B. Acciones de implementación.**

### B.1. Diseño de la planta de potabilización a escala real.

Una vez realizados los experimentos de laboratorio, esta acción pretende diseñar y dimensionar todos los componentes que conformarán la planta de tratamiento a escala real, prestando atención a todos los detalles necesarios para que la planta sea autosuficiente energéticamente, ambientalmente sostenible y económicamente viable.

### B.2. Construcción y mantenimiento de la planta potabilizadora a escala real y tratamiento de fangos.

Esta acción está dirigida a la construcción de la planta a escala real, su instalación en el municipio de Torre Cardela donde se han detectado valores elevados de concentración de nitratos en el agua subterránea y se viene utilizando un sistema de ósmosis inversa para poder dar cumplimiento al Real Decreto 140/2003 por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. También incluye el mantenimiento durante el periodo de seguimiento previsto en el proyecto, de acuerdo al diseño elaborado en la acción B1. Además, se instalarán las placas solares fotovoltaicas para abastecer la energía necesaria

para su funcionamiento. Asimismo, un sistema para el tratamiento de lodos permitirá que no se generen residuos en el proceso de potabilización del agua.

La planta será construida como un prototipo debido a que esta tecnología no ha sido utilizada anteriormente en el tratamiento de agua potable.

### B.3. Promoción de la transferibilidad y replicabilidad del proyecto.

Para conseguir que la planta sea replicada en el futuro una vez que haya quedado demostrada su efectividad, se desarrollarán una serie de actuaciones entre las que destacan la redacción de un Plan de Negocio, la elaboración de un mapa que identifique las regiones y áreas urbanas con mayor potencial para la replicación del proyecto, la identificación de los potenciales clientes a nivel local y en otras regiones europeas, el establecimiento de contactos y compromisos con entidades afectadas por este problema de contaminación e interesados en la tecnología, etc.

## **C. Acciones de monitorización de los impactos del proyecto.**

### C.1. Seguimiento de los impactos de la planta potabilizadora a escala real.

El objetivo de esta acción de seguimiento es evaluar el impacto de la planta a escala real tras su construcción y puesta en funcionamiento. La acción incluye varias subacciones:

- C.1.1. Evaluación de la calidad del agua y del proceso de mineralización del lodo generado.
- C.1.2. Control de la estructura de la comunidad microbiana en los gránulos del biorreactor.
- C.1.3. Seguimiento de la emisión de gases.

La acción también desarrollará estudios de bioseguridad para la salud humana y el medio ambiente, incluyendo indicadores fecales.

### C.2. Análisis de la sostenibilidad socio-económica y ambiental: análisis coste-beneficio y análisis de la huella de carbono y ambiental.

Mediante esta acción se realizará el análisis del coste-beneficio de la planta de tratamiento instalada y se comparará con el coste-beneficio de un sistema de ósmosis inversa. Con ayuda de un software especializado se analizará el ciclo de vida de una y otra planta para evaluar sus impactos ambientales, sociales y económicos. Asimismo, se realizará el análisis de la huella de carbono y la huella ambiental de uno y otro sistema.

### C.3. Seguimiento de los indicadores del Programa LIFE.



Para evaluar el impacto que el programa LIFE tiene a nivel europeo, se ha diseñado un sistema de indicadores conjunto para todos los proyectos. El objetivo de esta acción es realizar un seguimiento a estos indicadores e ir registrando su valor a lo largo del proyecto, de manera que, al final del mismo, se tenga información del impacto del proyecto a nivel territorial, social, económico, ambiental, de comunicación y divulgación.

## **D. Concienciación pública y difusión de los resultados.**

### **D.1. Planificación y desarrollo de la difusión del proyecto y del trabajo en red.**

La acción consiste en el diseño y ejecución de un plan de comunicación que permita dar a conocer el problema ambiental, la solución propuesta en el proyecto y los resultados obtenidos entre diferentes grupos de destinatarios, desde sectores muy específicos y relacionados con la gestión del agua hasta grupos genéricos incluida la ciudadanía general.

Dentro de esta acción se integra el diseño de un logotipo, la creación y mantenimiento de una página web, la producción de folletos, tabloneros de anuncios, boletines periódicos, vídeo de difusión del proyecto, etc.

Por otro lado, es de gran importancia la relación con otros proyectos para la creación de redes de trabajo, el intercambio de resultados, la puesta en común de problemas y soluciones, así como de iniciativas conjuntas.

### **D.2. Difusión técnica del proyecto y promoción de la replicabilidad de los resultados del proyecto.**

A través de esta acción se desarrollará toda la difusión técnica del proyecto, tanto entre la comunidad científica como entre las entidades con competencias en materia de agua. Todo ello facilitará la transferencia y replicación de los resultados obtenidos en otras áreas con problemas de contaminación similares. Esta acción contiene varias subacciones:

- D.2.1. Asistencia a reuniones, conferencias y seminarios sobre temas ambientales en general y sobre contaminación de aguas subterráneas en particular.

Los socios del proyecto participarán en este tipo de eventos para dar difusión al proyecto en los foros especializados.

- D.2.2. Celebración de seminarios técnicos para transferir los resultados a otros territorios afectados por el problema de contaminación por nitratos.

Se organizarán y celebrarán dos seminarios técnicos a lo largo de la vida del proyecto en los que se presentarán los resultados obtenidos hasta la fecha y se invitará a ponentes de proyectos relacionados.

- D.2.3. Edición y publicación de una guía técnica.

Se redactará una guía técnica en inglés, español y finlandés en la que se recoja la descripción de la tecnología para facilitar su transferencia a otros territorios.

## **E. Gestión del proyecto.**

### **E.1. Gestión del proyecto.**

El objetivo de esta acción es llevar a cabo todas las tareas necesarias para poder dar cumplimiento a todas las obligaciones establecidas en el Acuerdo de Subvención en términos de coordinación y gestión técnica y financiera del proyecto. El socio coordinador, la Diputación de Granada, coordinará el trabajo realizado por los socios beneficiarios, recopilará toda la documentación justificativa necesaria y enviará los informes establecidos a EASME.

Dentro de esta acción se incluyen dos subacciones:

- E.1.1. Gestión del proyecto.
- E.1.2. Redacción del Plan “*After-LIFE*”.

En la Figura 1 se puede ver el cronograma de las actuaciones.



ACCIONES	2017		2018				2019				2020				2021	
	3T	4T	1T	2T	3T	4T	1T	2T	3T	4T	1T	2T	3T	4T	1T	2T
A1: Caracterización del agua subterránea		D														
A2: Selección y evaluación de la fuente de carbono orgánico, las bacterias a inocular y las condiciones de operación del sistema granular aerobio				D												
B1: Diseño de la planta de potabilización a escala real					D											
B2: Construcción y mantenimiento de la planta potabilizadora a escala real y tratamiento de fangos						D						D				
B3: Promoción de la transferibilidad y replicabilidad del proyecto					D		D				D		D			
C1: Seguimiento de los impactos de la planta potabilizadora a escala real										D	D	D	D			
C2: Análisis de la sostenibilidad socio-económica y ambiental: análisis coste-beneficio y análisis de la huella de carbono y ambiental													D			
C3: Seguimiento de los indicadores del Programa LIFE							D				D		D			
D1: Planificación y desarrollo de la difusión del proyecto y del trabajo en red			D		D	D	D	D	D	D	D	D	D			
D2: Difusión técnica del proyecto y promoción de la replicabilidad de los resultados del proyecto													D			
E1: Gestión del proyecto			D				R				R			D	R	





Acciones preparatorias		Informes previstos	
Acciones de implementación		Entregables	
Acciones de monitorización de los impactos del proyecto		Periodo de desarrollo	
Concienciación pública y difusión de los resultados			
Gestión del proyecto			

Figura 1.- Cronograma de las actuaciones.

## 4. ESTADO DE EJECUCIÓN

Como ya se ha indicado, el proyecto dio comienzo el 1 de septiembre de 2017 y se extenderá hasta el 31 de octubre de 2020. Desde el comienzo del proyecto, tanto en la Universidad de Aalto como en la Universidad de Granada se han estado desarrollando experiencias a escala de laboratorio por parte de las dos Universidades participantes para determinar las condiciones óptimas de operación del sistema: selección de los microorganismos más eficientes, selección de la fuente de carbono y su concentración, definición de las condiciones de funcionamiento, etc. Para ello se han construido biorreactores secuenciales (**Figura 2**), basados en 4 etapas: aireación, decantación de la biomasa, vaciado del agua tratada y llenado con agua contaminada.

Figura 2.- Izquierda: Diseño de los biorreactores aeróbicos granulares). Derecha: Gránulos formados en el biorreactor inoculado con una de las cepas ensayadas.

El volumen de cada uno de los biorreactores fue de 2.3 L, aireados desde la base del reactor mediante burbuja fina. Los resultados de esta fase han permitido realizar el diseño de la planta a escala real y comenzar con la construcción de la misma en los talleres del socio Construcciones Otero. Para el diseño de la planta a escala real se han tenido en cuenta las dimensiones de la caseta donde será instalado el biorreactor, lo que determinará su altura máxima, el diámetro máximo del cilindro disponible en el mercado en el material seleccionado como el óptimo, el tiempo de retención hidráulica del proceso, etc. Todo ello determina el volumen máximo que puede ser tratado en un día.

Asimismo, en el proyecto se está llevando a cabo un estudio del acuífero de la zona para conocer los niveles actuales de nitratos y otros contaminantes en las aguas subterráneas. Los resultados obtenidos hasta la fecha nos muestran que la presencia de los contaminantes en los acuíferos, particularmente los nitratos, es muy cambiante y su evolución en el tiempo es afectada por las condiciones meteorológicas y los hábitos de abonado, entre otros factores.

Por otro lado, se están recopilando los datos necesarios sobre consumo de energía, recursos, eliminación de contaminantes, etc., para poder calcular la relación coste-eficiencia del actual sistema instalado en Torre Cardela y poder después compararlo con el sistema biológico propuesto en el proyecto.

En la parte de la transferencia de resultados y replicación del proyecto en otros territorios, se ha elaborado un mapa de los municipios de Andalucía con mayor potencial para instalar la tecnología en el futuro, considerando por un lado las zonas más afectadas por contaminación por nitratos y, por otro lado, variables socioeconómicas como el dinamismo demográfico, la actividad económica, el empleo o las rentas de los municipios.

En el siguiente mapa, los colores azules representan los municipios con mayor desarrollo socioeconómico, y los rojos los menos desarrollados. La escala de colores varía en función de los percentiles calculados para los valores un indicador sintético. El Indicador ha sido calculado para los municipios más afectados por contaminación por nitratos. Solo en Andalucía, 340 municipios tienen parte de su territorio incluido en Zona designada como vulnerable a la contaminación por nitratos.

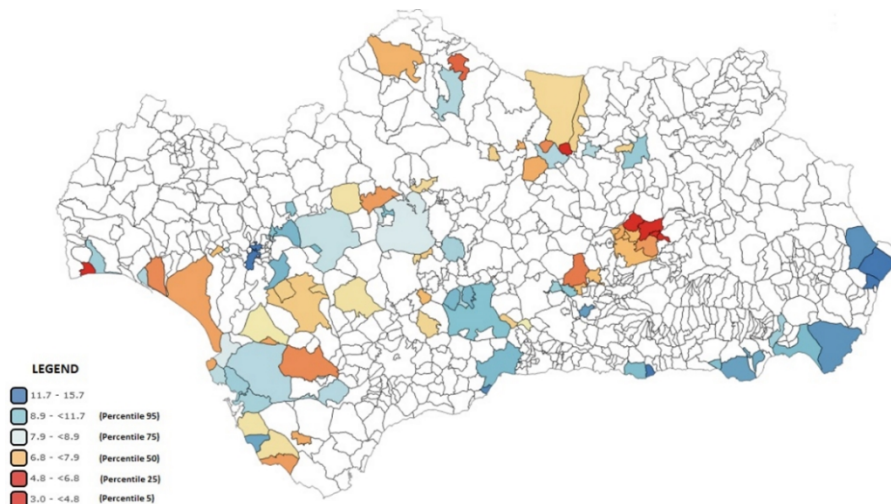


Figura 3.- Resultados del Índice Sintético sobre desarrollo socioeconómico en Andalucía

