



LAYMAN'S REPORT

Julio 2018 - Diciembre 2022



CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO

Duración: **01/07/2018 – 31/12/2022**

Presupuesto : **2.221.241 €**

Contribución LIFE : **1.332.724 €**

Coordinador:

Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Medioambiental (IMIDA)

Socios:

Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CEBAS-CSIC)

Novedades Agrícolas S.A.

IDConsortium S.L.



ÍNDICE



01 CONTEXTOS Y ANTECEDENTES

Página 5

02 OBJETIVOS

Página 7

03 DESARROLLO DEL SISTEMA AGREMSOIL

Página 9

04 RESULTADOS

Página 11

05 EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA Y AMBIENTAL

Página 15

06 COMUNICACIÓN Y DIFUSIÓN

Página 17

07 PARTICIPACIÓN DE LOS STAKEHOLDERS

Página 19

08 CONCLUSIONES

Página 21



01 CONTEXTO Y ANTECEDENTES

Uno de los principales retos de la agricultura actual es mejorar la calidad y rendimiento de los cultivos evitando al mismo tiempo cualquier efecto indeseable en el medio ambiente. Sin embargo, el empleo de plaguicidas está todavía muy generalizado y su uso implica forzosamente la generación de un residuo. Si bien desde un punto de vista agronómico lo ideal es que estos compuestos persistan el mayor tiempo posible para combatir las plagas y enfermedades que afectan a los cultivos, lo cierto es que al aumentar el tiempo de exposición crece el riesgo de contaminación medioambiental.

Los residuos de plaguicidas ocasionan problemas de contaminación difusa debido a su permanencia y acumulación en el suelo (aumentando su persistencia en las zonas tratadas), a su movilidad en el agua, el suelo y el aire (que favorece la contaminación de territorios alejados de la zona original de aplicación), a sus productos de degradación (que en ocasiones presentan una estabilidad y toxicidad mayor que la de los productos de partida), y a la posibilidad de acumulación en los organismos expuestos por su capacidad de biomagnificación, pudiendo provocar trastornos toxicológicos en los seres vivos sobre los que incide.

En resumen, los residuos de plaguicidas en suelo pueden provocar efectos negativos para la salud humana y el medio ambiente y también económicos, como la devaluación de terrenos contaminados o las pérdidas económicas por su presencia en cultivos, contribuyendo seriamente al problema silencioso de la contaminación de suelos.

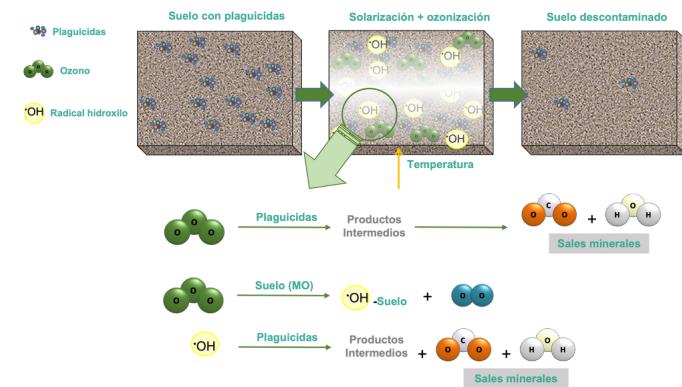
Las primeras acciones emprendidas para luchar contra la contaminación del suelo se enfocaron en el aislamiento de las zonas afectadas y en barreras de contención para evitar posibles fugas, lo que puede ser efectivo para evitar la propagación de los contaminantes pero no consigue actuar sobre la fuente de contaminación. La demanda de una sociedad cada vez más concienciada en la preservación de los recursos naturales, ha impulsado en las últimas décadas el desarrollo de tecnologías para la descontaminación y reutilización de suelos contaminados, las llamadas técnicas de remediación (limpieza del medio ambiente), que engloban una serie de operaciones que modifican la estructura de los contaminantes de manera que reduzcan la toxicidad, movilidad o volumen del material contaminado. Aunque actualmente hay disponibles una variedad de técnicas físico-químicas, térmicas y biológicas para eliminar estos compuestos nocivos, la complejidad inherente tanto de la matriz a limpiar (composición y estructura del suelo) como de los contaminantes (características y concentración del plaguicida) hace que sea muy difícil predecir el resultado del tratamiento aplicado. La selección de una u otra técnica depende de distintos factores como la naturaleza del plaguicida (propiedades físico-químicas, concentración y toxicidad), las características del suelo a tratar (tamaño de partícula, porosidad, permeabilidad, heterogeneidad, pH, temperatura, humedad y contenido en materia orgánica), características ambientales (geografía, demografía, hidrología y ecología de la zona contaminada) o el coste de la técnica a aplicar. En general, podemos decir que la mayoría de las técnicas físicas son bastante costosas, mientras que las técnicas biológicas son más económicas.

La solución que plantea AGREMSOIL se basa en la combinación de dos técnicas, ozonización y solarización, que intentan evitar los principales inconvenientes de estas tecnologías de remediación, como son la necesidad de trasladar el suelo a otra localización para realizar el tratamiento, los costes elevados de las técnicas o el tiempo necesario para la eliminación del contaminante.

La **ozonización** es un proceso de oxidación avanzada que contribuye a la degradación de contaminantes orgánicos, debido al alto poder oxidante del ozono. Este reactivo ha sido ampliamente utilizado por su capacidad para eliminar eficazmente una gran variedad de contaminantes orgánicos. El ozono puede actuar de forma directa (ozono molecular, $E_0 = 2.07 \text{ V}$) o indirectamente, mediante unas especies transitorias altamente reactivas que se generan durante su descomposición (radicales hidroxilo, $E_0 = 2.8 \text{ V}$), capaces de atacar y destruir cualquier molécula orgánica hasta su completa mineralización, es decir, su conversión a dióxido de carbono, agua y sales minerales. En ambos casos se dan dos modos de acción, por un lado pueden atacar directamente a los contaminantes orgánicos, o bien a la materia orgánica del suelo, liberando de esta forma contaminantes retenidos y permitiendo su degradación.



La **solarización** del suelo es un método hidrotermal de desinfección barato y simple que no implica la utilización de materiales tóxicos. Se basa en cubrir el suelo con un plástico de polietileno impermeable y transparente a la radiación solar. Este tratamiento se realiza principalmente durante los meses de verano, cuando la temperatura y la radiación solar son más intensas. En estas condiciones la temperatura del suelo alcanza niveles elevados que, además, son letales para muchos hongos, bacterias, nematodos, insectos y malas hierbas, por lo que es una técnica de uso común entre los agricultores que cultivan determinados productos en invernaderos. Además de estos reconocidos efectos, se ha comprobado que la solarización también puede acelerar la degradación de los residuos de plaguicidas en el suelo.



02 OBJETIVOS

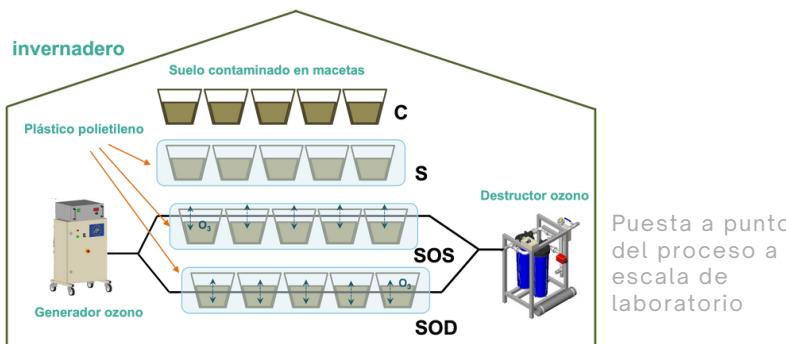
- Demostrar una tecnología alternativa para degradar los residuos de plaguicidas en suelos agrícolas en condiciones de explotación comercial, con un equipo innovador ubicado en la finca, contribuyendo a la solución de un problema europeo (global) actual.
- Evaluar el impacto de la tecnología AGREMSOIL en la biodiversidad del suelo, su efectividad en el control de la población de nematodos y la influencia en el rendimiento y la calidad de los cultivos.
- Impulsar las posibilidades de aplicación del sistema a través contribuciones a la gobernanza y la transferencia de la tecnología en el ámbito del Mediterráneo.



Prototipo
AGREMSOIL



03 DESARROLLO DEL SISTEMA AGREMSOIL



Puesta a punto del proceso a escala de laboratorio

En primer lugar, se optimizaron las distintas variables y se comprobó la viabilidad del proceso de ozonización a escala de laboratorio. A continuación y una vez seleccionadas las condiciones óptimas, se validó la tecnología a escala piloto para asegurar la eficiencia del tratamiento en una finca experimental

Finalmente, se demostró la aplicabilidad del proceso a escala de explotación comercial. La finca comercial seleccionada se encuentra en el municipio de Águilas y se dedica al cultivo de tomate en sus diferentes procesos de producción desde hace décadas.

El sistema AGREMSOIL se basa en la combinación de las técnicas de solarización y ozonización aplicadas mediante un equipo que se instala en las propias explotaciones. El prototipo AGREMSOIL se compone de un equipo de producción de ozono, un destructor de ozono, un sistema de acondicionamiento de agua, sistemas de transferencia de ozono, depósitos de acumulación y sistemas de distribución y una cubierta de material impermeable. El tratamiento AGREMSOIL se llevó a cabo en dos fases:

Fase 1. Antes de la plantación se realiza una solarización con un film de polietileno impermeable y transparente a la radiación solar y simultáneamente se aporta ozono en modo gaseoso mediante tuberías situadas bajo el plástico tanto sobre la superficie del suelo como enterradas a 10 cm de profundidad.



Tratamiento de solarización y aplicación de ozono gas antes del cultivo

Fase 2. Aplicación de ozono disuelto en el agua de riego durante el ciclo de cultivo.



Tratamiento con ozono disuelto en el agua de riego durante el cultivo

Validación del sistema AGREMSOIL a escala de finca experimental

04 RESULTADOS

Se evaluaron por separado los resultados de las fases 1 (Tratamiento de solarización y aplicación de ozono gas antes del cultivo) y 2 (Aplicación de ozono disuelto en el agua de riego durante el ciclo de cultivo). La aplicación de ozono en agua a lo largo del cultivo no mostró efectos descontaminantes sobre los residuos de plaguicidas en el suelo, ni influencia significativa sobre el resto de efectos estudiados.



Efectos del tratamiento de solarización y aplicación de ozono gas antes del cultivo

Influencia sobre los residuos de plaguicidas en el suelo

La combinación de las técnicas aplicadas mediante el equipo AGREMSOIL demostró su utilidad para descontaminar *in situ* los niveles residuales de plaguicidas en suelos agrícolas producidos tras los tratamientos fitosanitarios. Los resultados obtenidos en explotación comercial tras 40 días de exposición al tratamiento de solarización y ozonización mostraron unos porcentajes de degradación medios comprendidos entre el 57 y el 63%, mientras que la eliminación de estos residuos de plaguicidas en la parcela sin tratamiento de remediación mostraron una degradación media en torno al 15%.



Influencia sobre la población de nematodos en el suelo

El control sobre la población de nematodos se realizó mediante bioensayos para estimar la viabilidad de juveniles y masas de huevos (capaces de infestar las raíces de las plantas).

En el caso del control de la población de nematodos, el tratamiento consiguió eliminar el 100% de los juveniles y que los huevos no fueran viables.



Los nematodos del género *Meloidogyne* son endoparásitos obligados de más de 5500 especies de plantas. Algunas especies son responsables de grandes pérdidas económicas debido a su alta tasa de multiplicación ya que tienen varias generaciones al año en climas cálidos y templados. *Meloidogyne incognita* es considerado el principal nematodo fitoparásito a escala mundial y es, junto con *M. javanica* y *M. arenaria*, la especie predominante en España. Dañan al sistema radicular de las plantas con la aparición de nódulos debido a las picaduras de los juveniles, este daño en las raíces se traduce en amarilleos de la parte aérea, reducción del desarrollo vegetativo, disminución de la producción y en caso extremo muerte de las plantas.



Influencia sobre la microbiota del suelo

La influencia de la tecnología AGREMSOIL en el suelo se estimó midiendo las principales propiedades físico-químicas (pH, conductividad eléctrica, contenido total de nitrógeno y carbono orgánico, etc.), así como indicadores bioquímicos (actividad deshidrogenasa, ureasa, fosfatasa alcalina y β -glucosidasa) y microbiológicos (biomasa microbiana y diversidad) de la salud y fertilidad del suelo. Los resultados obtenidos indicaron que la combinación de solarización más ozono no exarcebó los efectos de la solarización en la química del suelo y las comunidades microbianas.



El suelo es un ecosistema que alberga una gran variedad de microorganismos, que constituyen un componente fundamental para el mantenimiento de los servicios del ecosistema, preservando su fertilidad y sostenibilidad. Además, juegan un papel crucial en la regulación de los ciclos biogeoquímicos, por lo que el mantenimiento de la diversidad microbiana del suelo debe asegurarse en cualquier actuación que se realice sobre el mismo.



Demostración en 2 fincas comerciales

dedicada al cultivo del tomate en invernadero y bajo malla.



Residuos de 34 materias activas

detectados en suelo han sido
degradados



9 mg/kg
de plaguicidas encontrados
en suelo

Eliminado el
57-63%
de residuos de plaguicidas en suelo



05 EVALUACIÓN SOCIOECONÓMICA Y AMBIENTAL

Existe una creciente preocupación social por los efectos negativos del uso de plaguicidas sobre los suelos agrícolas. En los últimos años se han desarrollado técnicas de remediación de suelos, si bien su aplicación no es obligatoria para los agricultores. Además, las técnicas disponibles no han sido adaptadas a las condiciones de suelos agrícolas a escala comercial.

El uso del ozono no está actualmente permitido en agricultura debido principalmente a su peligrosidad y toxicidad, sin embargo AGREMSOIL ha demostrado ser una tecnología prometedora para la descontaminación de residuos plaguicidas en suelos. La amplia adopción de una nueva técnica requiere de los correspondientes estudios de impacto socioeconómico y medioambiental.



Con esta premisa, se realizó el correspondiente estudio económico y el Análisis de Ciclo de Vida, ambos aplicados a la finca demostrativa. Se contemplaron diferentes escenarios de uso, concluyendo que algunos tales como un cambio de producción convencional a producción ecológica o un proceso de cambio de uso del suelo (abandono del uso agrícola) reunirían las mejores condiciones para la aplicación del equipo y la tecnología AGREMSOIL.

Para estos casos, el coste total del tratamiento de descontaminación asciende a 862,32 €/ha. Esta cifra supone tan sólo un incremento del 1,2% del coste total anual de una hectárea de tomate bajo invernadero. El sobrecoste por kilo producido sería de en torno a 0,5 céntimos de euro según tamaño del equipo. El coste ambiental desde la perspectiva del ciclo de vida también supone un incremento bajo, del 1,17%.

En otros escenarios de descontaminaciones periódicas el coste adicional es mayor pero todavía son cifras bajas en relación al coste total de producción, alrededor de 2,8 céntimos de euro por kilo de tomate producido. Estas cifras son similares en otros cultivos bajo invernadero tales como pimiento y calabacín. En términos de huella de carbono, los valores de las distintas opciones de tratamiento varían desde 0,138 a 0,156 kg CO₂-eq por kg de tomate producido, que siguen siendo valores bajos en relación a los obtenidos en el cultivo de tomate en otras áreas productivas.

En relación al trabajo en finca debido el uso del equipo AGREMSOIL podemos afirmar que es un proceso que requiere muy poca mano de obra. Así, comprobamos que los tiempos de trabajo de un operario son de pocos minutos, relacionados con la coordinación del funcionamiento del equipo. Las labores de mantenimiento representan un porcentaje muy bajo sobre el coste total de aplicación del tratamiento por hectárea (en torno al 5%).



06 COMUNICACIÓN Y DIFUSIÓN

Durante todo el proyecto se han realizado numerosas actividades de comunicación para lograr una mayor difusión y transferencia de resultados a los usuarios finales y grupos de interés.



Web: www.agremso3il.eu

Post: 56 noticias publicadas en nuestra página web

Newsletters: 7 envíos a más de 1.000 usuarios registrados

Videos:

- 3 vídeos de difusión
- 2 vídeos de talleres y seminarios
- 5 vídeos de entrevistas

Eventos
18 congresos científicos y técnicos
11 actividades de networking
7 ferias nacionales e internacionales

Noticias
15 noticias del proyecto
14 noticias relacionadas con el proyecto
6 artículos en medios

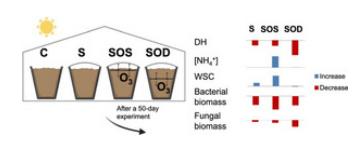
Publicaciones Científicas

MARZO 2021

Combined ozonation and solarization for the removal of pesticides from soil: Effects on soil microbial communities

Science of the Total Environment 758 (2021) 143950.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143950>.

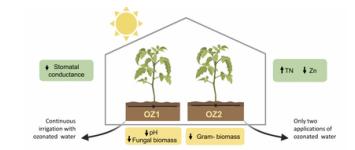


NOVIEMBRE 2021

The effects of ozone treatments on the agro-physiological parameters of tomato plants and the soil microbial community

Science of the Total Environment 812 (2022) 151429

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151429>.

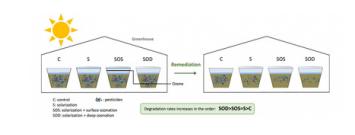


FEBRERO 2022

Remediation of triazole, anilinopyrimidine, strobilurin and neonicotinoid pesticides in polluted soil using ozonation and solarization

Journal of Environmental Management 310 (2022) 114781

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114781>



MAYO 2022

Ozonation for remediation of pesticide-contaminated soils at field scale

Chemical Engineering Journal 446 (2022) 137182

<https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.137182>

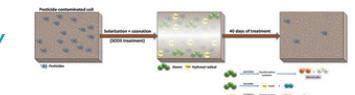


FEBRERO 2023

Remediation of pesticides in commercial farm soils by solarization and ozonation techniques

Journal of environmental Management 329 (2023) 117062

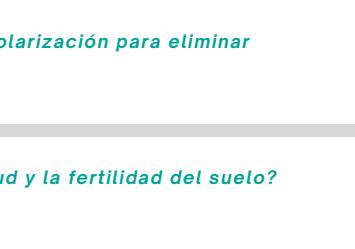
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117062>



Artículos de divulgación

FEBRERO 2022

El proyecto LIFE-AgRemSO3il combina ozonización y solarización para eliminar residuos de plaguicidas en suelos agrícolas.
REVISTA AGRÍCOLA VERGEL



JUNIO 2022

¿Es el riego con agua ozonizada compatible con la salud y la fertilidad del suelo?
Resultados del proyecto LIFE AGRESO3IL
REVISTA HORTICULTURA

07 PARTICIPACIÓN DE LOS STAKEHOLDERS

La participación de los stakeholders fue un punto clave para proporcionar asesoramiento y recomendaciones al consorcio sobre la estrategia del proyecto basándose en sus conocimientos sobre la descontaminación de suelos. Se seleccionaron varios grupos de interés en los ámbitos del medio ambiente, la agricultura, la alimentación y la salud con enfoques científicos, técnicos, políticos y administrativos. Esta participación de los grupos de interés se estableció a través de dos enfoques:

LA PLATAFORMA DE LOS STAKEHOLDERS

Este grupo se compuso finalmente de 15 expertos, con una función de asesoramiento estratégico del proyecto a través de reuniones y comunicaciones formales e informales, incluidas visitas a las fincas de demostración del proyecto. Las consultas con estos expertos fueron muy decisivas para la adopción de importantes decisiones estratégicas del proyecto.



DIFUSIÓN DE RESULTADOS Y ACTIVIDADES DE NETWORKING

- Conferencia "Innovations to reduce and remediate agricultural soil contamination" en Bruselas, con la presencia de representantes de la Comisión Europea y el evento final del proyecto en Murcia, destinado a difundir los resultados del proyecto, ambos eventos asociados al Día Mundial del Suelo
- Evento EIP AGRI sobre Healthy Soils
- Webinar EAIC: El Programa LIFE: ¿Cuáles son los beneficios para las empresas?
- Taller del proyecto PestNu
- Observatorio del Suelo de la UE del JRC para la nueva edición Zero Pollution Outlook 2022
- Consulta pública sobre una posible Ley de la UE sobre la salud del suelo
- Encuesta sobre el conocimiento de la contaminación del suelo y la disposición a utilizar el sistema AGREMSOIL

ANÁLISIS DAFO de la tecnología AGREMSOIL para la descontaminación de suelos (conclusiones tras la encuesta a los stakeholders)

Strengths (favorable internal factors) Demonstrated powerful effect of the AGREMSOIL system for soil remediation (~60%). Partnership's know-how. The partnership has available research and development options for further studies of the technology. Good adaptation to environments protected from weather events as wind (greenhouse, net). The AGREMSOIL system does not essentially modify the activity of micro-organisms. The AGREMSOIL system did not produce any notable differences with regard to the physiology and yield of the tomato plants. Good economic and environmental performance of the application of AGREMSOIL to conversion from conventional to organic production or a process of land use change (abandonment of agricultural use).	Weaknesses (unfavorable internal factors) Intermediate compounds in the pollutants' degradation process should be further studied. The AGREMSOIL system has still to be scaled up for larger surfaces. It is developed to TRL7 (Demonstration system operating in operational environment at pre-commercial scale), as foreseen in the project proposal. The AGREMSOIL system has still to be adapted for outdoor application.
Opportunities (favorable external factors) Concern of international administrations on soil contamination by pesticides Local stakeholders widely consider soil pollution a relevant environmental problem with economic and commercial implications Local stakeholders widely consider soil remediation a necessity as well as the availability of soil decontamination techniques Local stakeholders, in special those who are the potential final users, find the AGREMSOIL system a useful solution. Stakeholders consider the commercial orientation of the AGREMSOIL system towards organic farming to be of interest to prevent the occurrence of pesticides in these agricultural products. More economically efficient if implemented as a service to be provided by a third party with a transportable facility, or if a facility were shared between several farms, preferably portable. Public funding availability (e.g., CAP Operational Funds). Local stakeholders do not believe that the use of ozone for soil decontamination should be completely banned. Stakeholders, and in particular technical field staff, are in favour of further investigating the effects of ozone applied to agricultural soils, promoting the legal authorisation of the use of the AGREMSOIL system, and developing it for its rapid availability.	Threats (unfavorable external factors) Ozone is not included in any list of fertilisers nor phytosanitary products allowed for their use in agriculture, nor as a basic substance. There is a legal gap concerning farm soil remediation technologies. The legislation on conversion from conventional to organic production does not foresee any shortening of time periods by the application of any technology. All stakeholders are aware of the problem of soil contamination by the use of plant protection products and the need for a solution, but most of farmers are reluctant to abandon the use of agrochemicals. Its use involves a new cost added to their current production costs. The application procedure for the approval of the specific use of ozone in AGREMSOIL is a long and expensive process. The market has a lack of maturity as farmers do not have the obligation to decontaminate pesticide residues in their soils.



08 CONCLUSIONES

- El sistema AGREMSOIL muestra un alto rendimiento en la degradación de pesticidas a escala comercial.
- El sistema AGREMSOIL presenta ventajas sobre otras técnicas de remediación: aplicación in situ, eficacia en profundidad y corto tiempo de tratamiento (disponibilidad del suelo).
- Es necesario desarrollar y evaluar técnica y económicamente la adaptación del sistema a una mayor superficie de suelo y a otros contaminantes.
- El sistema AGREMSOIL debe utilizarse en entornos protegidos, como el suelo de los invernaderos, para evitar posibles interferencias atmosféricas en zonas abiertas.
- El uso del ozono en agricultura no está permitido y su utilización como sistema de remediación debe ser considerada por las administraciones competentes. Las aplicaciones potenciales incluyen el cambio de uso del suelo y la aceleración del proceso de conversión de la agricultura convencional a la ecológica a un coste asequible.
- El uso económico más eficiente del sistema AGREMSOIL sería como servicio contratado por los agricultores.



LIFE17 ENV/ES/000203 WITH THE CONTRIBUTION OF THE
LIFE PROGRAMME OF THE EUROPEAN UNION



agremso3il.eu

LAYMAN'S REPORT

July 2018 - December 2022



LIFE AGREMSO₃IL



LIFE17 ENV/ES/000203 WITH THE CONTRIBUTION OF THE
LIFE PROGRAMME OF THE EUROPEAN UNION

lifeagremsoil
 LIFE AgRemSO3IL
 @LIFEagremsoil
 LIFE agremsoil



NOVAGRIC

CEBAS
CENTRO DE EDAFOLÓGIA Y
BIOLOGÍA APLICADA DEL SEGURO

ID consortium



PROJECT CHARACTERISTICS

Duration: 01/07/2018 – 31/12/2022

Budget : 2.221.241 €

LIFE Contribution : 1.332.724 €

Coordinator:

**Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo
Agrario y Medioambiental (IMIDA)**

Partners:

**Agencia Estatal Consejo Superior de
Investigaciones Científicas (CEBAS-CSIC)**
Novedades Agrícolas S.A.
IDConsortium S.L.



INDEX

01 CONTEXT AND BACKGROUND

Page 5

02 OBJECTIVES

Page 7

03 ACTIONS

Page 9

04 RESULTS

Page 11

05 SOCIO-ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT

Page 15

06 COMMUNICATION AND DISSEMINATION

Page 17

07 STAKEHOLDER PARTICIPATION

Page 20

08 CONCLUSIONS

Page 20



01 CONTEXT AND BACKGROUND

One of the main challenges of today's agriculture is to improve crop quality and yields while avoiding any undesirable effects on the environment. However, the use of pesticides is still widespread and their use implies the generation of a residue. From an agronomic point of view, these compounds should ideally persist for as long as possible to combat pests and diseases affecting crops. But as the exposure time increases, so does the risk of environmental contamination.

Pesticide residues cause diffuse pollution problems due to their permanence and accumulation in the soil, their mobility in water, soil and air, their degradation products and the possibility of causing toxicological disorders in living organisms.

In summary, pesticide residues in soil can cause negative effects on human health and the environment. Economic impacts such as the devaluation of contaminated land or economic losses due to their presence on crops can also be caused, seriously contributing to the silent problem of soil contamination.

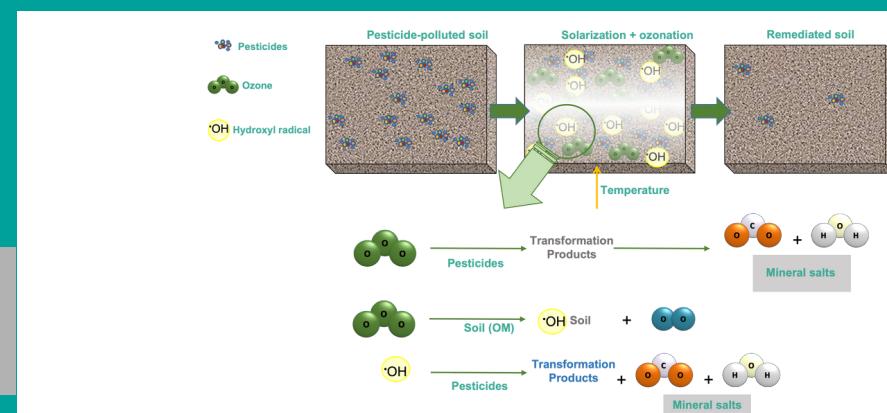
The first actions taken to combat soil contamination focused on the isolation of affected areas and containment barriers to avoid possible leaks, which may be effective in preventing the spread of contaminants but fails to act on the source of contamination. The demand of a society that is increasingly aware of the need to preserve natural resources has, in recent decades, driven the development of technologies for the decontamination and reuse of contaminated soils, the so-called remediation techniques (environmental clean-up), which encompass a series of operations that modify the structure of the pollutants in such a way as to reduce the toxicity, mobility or volume of the contaminated material. Although a variety of physical-chemical, thermal and biological techniques are currently available to remove these harmful compounds, the inherent complexity of both the matrix to be cleaned (soil composition and structure) and the contaminants (pesticide characteristics and concentration) makes it very difficult to predict the outcome of the treatment applied. The selection of one technique or another depends on different factors such as the nature of the pesticide (physical-chemical properties, concentration and toxicity), the characteristics of the soil to be treated (particle size, porosity, permeability, heterogeneity, pH, temperature, humidity and organic matter content), environmental characteristics (geography, demography, hydrology and ecology of the contaminated area) or the cost of the technique to be applied. In general, we can say that most physical techniques are quite expensive, while biological techniques are more economical.

The solution proposed by AGREMSOIL is based on the combination of two techniques, ozonation and solarization, which attempt to avoid the main disadvantages of some of the current remediation technologies, such as the need to move the soil to another location in order to carry out the treatment, the high costs or the time required for the elimination of the pollutant.

Ozonation is an advanced oxidation process that contributes to the degradation of organic pollutants, due to the high oxidising power of ozone. This reagent has been widely used for its ability to effectively remove a wide range of organic pollutants. Ozone can act directly (molecular ozone, $E^{\circ} = 2.07 \text{ V}$) or indirectly, through highly reactive transient species generated during its decomposition (hydroxyl radicals, $E^{\circ} = 2.8 \text{ V}$). These radicals are capable of attacking and destroying any organic molecule until their complete mineralisation (i.e. their conversion to carbon dioxide, water and mineral salts) takes place. In both cases there are two modes of action, on the one hand they can directly attack the organic pollutants, or they can attack the organic matter in the soil, thus releasing retained pollutants and allowing their degradation.



Soil solarization is a cheap and simple hydrothermal method of disinfection that does not involve the use of toxic materials. It is based on covering the soil with a polyethylene plastic that is impermeable and transparent to solar radiation. This treatment is mainly carried out during the summer months, when the temperature and solar radiation are more intense. Under these conditions, the changes in soil environment favor the destruction of pathogens, mites, nematodes and weed seeds, reducing crop diseases and increasing yields. In addition to these recognised effects, it has been shown that solarization can also accelerate the degradation of pesticide residues in the soil.



02 OBJECTIVES

- Demonstrating an alternative technology for degrading pesticide residues in agricultural soils under commercial farming conditions, with innovative on-farm equipment, contributing to the solution of a global problem.
- Evaluating the impact of AGREMSOIL technology on soil biodiversity, its effectiveness in controlling nematode populations and its influence on crop yield and quality.
- Boosting the application possibilities of the system through contributions to governance and technology transfer in the Mediterranean area.



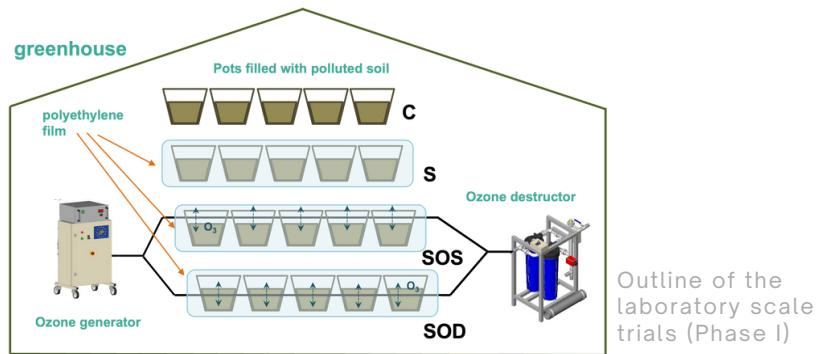
AGREMSOIL
Prototype



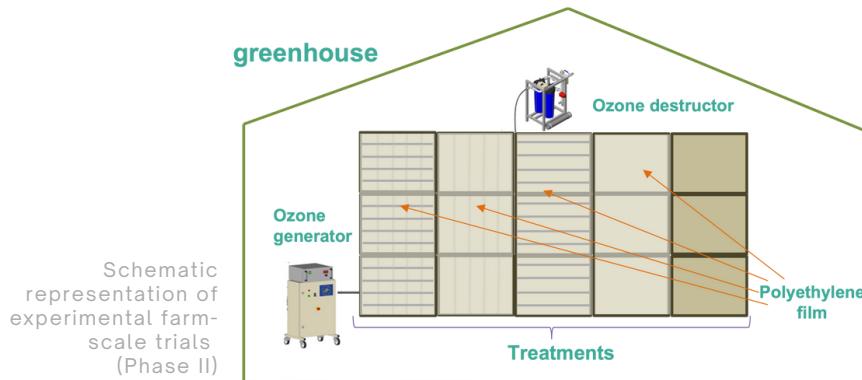
AGREMSOIL Layman's Report



03 ACTIONS



First, the different variables were optimised and the feasibility of the ozonation process was tested at laboratory scale. Then, once the optimal conditions were selected, the technology was validated at pilot scale to ensure the efficiency of the treatment on an experimental farm.



Finally, the applicability of the process on a commercial farm scale was demonstrated. The commercial farm selected is located in the municipality of Águilas and has been dedicated to tomato cultivation in its different production processes for decades.

The AGREMSOIL system is based on the combination of solarization and ozonation techniques applied through the development of equipment that is installed on the farms themselves. The AGREMSOIL prototype comprises ozone production equipment, an ozone destructor, a water conditioning system, ozone transfer systems, storage tanks and distribution systems and a cover of impermeable material. The AGREMSOIL treatment was carried out in two phases:

Phase 1. Before planting, solarization is carried out with a polyethylene film that is impermeable and transparent to solar radiation and simultaneously ozone is supplied in gaseous form through pipes placed under the plastic both on the surface of the soil and buried at a depth of 10 cm.



Solarisation treatment and ozone gas application before cultivation

Phase 2. Application of dissolved ozone in the irrigation water during the growing cycle.



Ozone treatment with dissolved ozone in irrigation water during cultivation

04 RESULTS

The results of phase 1 ("Solarization treatment and application of ozone gas before cultivation") and phase 2 ("Application of dissolved ozone in irrigation water during the cultivation cycle") were evaluated separately. The application of ozone in water throughout the crop showed no decontaminating effects on pesticide residues in the soil, and no significant influence on the other effects studied.



Effects of solarization treatment and application of ozone gas before cultivation

Influence on pesticide residues in soil

The combination of the techniques applied by the AGREMSOIL equipment proved its usefulness in decontaminating in situ the residual levels of pesticides in agricultural soils produced after phytosanitary treatments. The results obtained on commercial farms after 40 days of exposure to the solarization and ozonation treatment showed average degradation percentages between 57% and 63%, while the elimination of these pesticide residues on the plot without remediation treatment showed an average degradation of around 15%.



Influence on the nematode population in soil

The nematode population was controlled by bioassays to estimate the viability of juveniles and egg masses (capable of infesting plant roots).

In the case of nematode population control, the treatment achieved a 100% elimination of juveniles and the non-viability of eggs.



Nematodes of the genus *Meloidogyne* are obligate endoparasites of more than 5500 plant species. Some species are responsible for large economic losses due to their high multiplication rate as they have several generations per year in warm and temperate climates. *Meloidogyne incognita* is considered the main phytoparasitic nematode worldwide and is, together with *M. javanica* and *M. arenaria*, the predominant species in Spain. These damage the root system of the plants with the appearance of nodules due to the bites of the juveniles. This damage to the roots results in yellowing of the aerial part, a reduction of vegetative development, a reduction of production and, in extreme cases, the death of the plants.

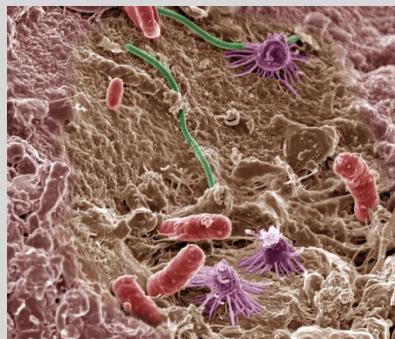


Influence on soil microbiota

The influence of AGREMSOIL technology in soil was estimated by measuring the main physical and chemical properties (pH, electrical conductivity, total nitrogen and organic carbon content, etc.), as well as biochemical (dehydrogenase activity, urease, alkaline phosphatase and β -glucosidase) and microbiological (microbial biomass and diversity) indicators of soil health and fertility. The results obtained indicated that the combination of solarization plus ozone did not exacerbate the effects of solarization in soil chemistry and microbial communities.



The soil is an ecosystem that harbours a great variety of microorganisms, which constitute a fundamental component for the maintenance of ecosystem services, preserving its fertility and sustainability. Moreover, they play a crucial role in the regulation of biogeochemical cycles, so the maintenance of soil microbial diversity must be ensured in any action carried out on the soil.



Demonstration on
2 commercial farms
dedicated to tomato cultivation
under greenhouse and under net
house conditions.



Waste from
**34 active
substances**
detected in soil have been
degraded



**2000 m² of
decontaminated soil**



57-63%
of pesticide residues in soil
eliminated



05 SOCIO-ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT

There is growing social concern about the negative effects of pesticide use on agricultural soils. Soil remediation techniques have been developed in recent years, although their application is not mandatory for farmers. Moreover, the available techniques have not been adapted to agricultural soil conditions on a commercial scale.

The use of ozone is currently not allowed in agriculture mainly due to its hazardousness and toxicity. AGREMSOIL, however, has proven to be a promising technology for the decontamination of pesticide residues in soils. The widespread adoption of a new technique requires the corresponding socio-economic and environmental impact studies.



With this premise, the corresponding economic study and Life Cycle Analysis were carried out, both applied to the demonstration farm. Different scenarios of use were considered, the conclusion being that some of them, such as a change from conventional to organic production or a process of land use change (abandonment of agricultural use) would bring together the best conditions for the application of AGREMSOIL equipment and technology.

For these cases, the total cost of the decontamination treatment amounts to 862.32 €/ha. This figure represents an increase of only 1.2% of the total annual cost of a hectare of tomatoes under glass house conditions. The additional cost per kilo produced would be around 0.5 euro cents depending on the size of the equipment used. The environmental cost from a life cycle perspective also represents a low increase of 1.17%.

In other scenarios of periodic decontamination the additional cost is higher, but still low in relation to the total cost of production, around 2.8 euro cents per kilo of tomato produced. These figures are similar for other greenhouse crops such as peppers and courgettes. In terms of carbon footprint, the values for the different treatment options vary from 0.138 to 0.156 kg CO₂-eq per kg of tomato produced, which are still low values in relation to those obtained for tomato cultivation in other production areas.

In relation to the work on the farm due to the use of the AGREMSOIL equipment, it can be said to be a process that requires very little manpower. Thus, we found that the working time of an operator is only a few minutes, related to the coordination of the operation of the equipment. Maintenance work represents a very low percentage of the total cost of applying the treatment per hectare (around 5%).



06 COMMUNICATION AND DISSEMINATION

During the project, numerous communication activities have been carried out in order to achieve a wider dissemination and transfer of results to end-users and stakeholders.



Web: www.agremso3il.eu

Post: 56 news items published on our website

Newsletters: 7 mailings to over 1,000 registered users

Videos:

3 promotional videos
2 workshops videos
5 interview videos

Eventos
18 scientific and technical congresses
11 networking activities
7 national and international tradeshows

Noticias
15 project news
14 news items related to the project
6 media articles

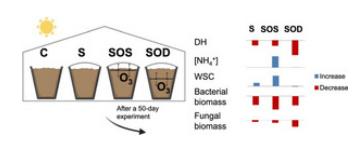
Publicaciones Científicas

MARCH 2021

Combined ozonation and solarization for the removal of pesticides from soil: Effects on soil microbial communities

Science of the Total Environment 758 (2021) 143950.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143950>.

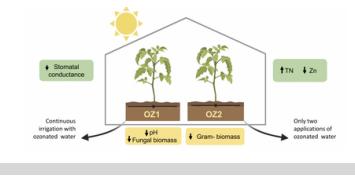


NOVEMBER 2021

The effects of ozone treatments on the agro-physiological parameters of tomato plants and the soil microbial community

Science of the Total Environment 812 (2022) 151429

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151429>.

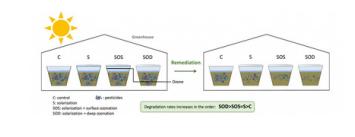


FEBRUARY 2022

Remediation of triazole, anilinopyrimidine, strobilurin and neonicotinoid pesticides in polluted soil using ozonation and solarization

Journal of Environmental Management 310 (2022) 114781

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114781>



MAY 2022

Ozonation for remediation of pesticide-contaminated soils at field scale

Chemical Engineering Journal 446 (2022) 137182

<https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.137182>

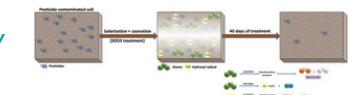


FEBRUARY 2023

Remediation of pesticides in commercial farm soils by solarization and ozonation techniques

Journal of environmental Management 329 (2023) 117062

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117062>



Artículos de divulgación

FEBRUARY 2022

El proyecto LIFE-AgRemSO3il combina ozonización y solarización para eliminar residuos de plaguicidas en suelos agrícolas.
REVISTA AGRÍCOLA VERGEL

JUNE 2022

¿Es el riego con agua ozonizada compatible con la salud y la fertilidad del suelo?
Resultados del proyecto LIFE AGRESO3IL
REVISTA HORTICULTURA

07 STAKEHOLDER PARTICIPATION

The stakeholder participation was a key point in providing advice and recommendations to the consortium on the project strategy based on their knowledge of soil remediation. Several stakeholder groups were selected in the fields of environment, agriculture, food and health with scientific, technical, political and administrative approaches. This stakeholder involvement was established through two approaches:

THE STAKEHOLDER PLATFORM

This group eventually consisted of 15 experts, with a strategic advisory role to the project through formal and informal meetings and communications, including visits to the project's demonstration farms. Consultations with these experts were very instrumental in making important strategic decisions for the project.



DISSEMINATION OF RESULTS AND NETWORKING ACTIVITIES

- Conference "Innovations to reduce and remediate agricultural soil contamination" in Brussels, with the presence of representatives of the European Commission and the final event of the project in Murcia, aimed at disseminating the results of the project, both events associated with World Soil Day.
- EIP AGRI event on Healthy Soils
- EAIC Webinar: The LIFE Programme: What are the benefits for companies?
- PestNu project workshop
- JRC EU Soil Observatory for the new edition Zero Pollution Outlook 2022
- Public consultation on a possible EU law on soil health
- Survey on awareness of soil pollution and willingness to use the AGREMSOIL system

SWOT ANALYSIS of the AGREMSOIL technology for soil remediation (conclusions after the stakeholder survey)

Strengths (favorable internal factors) Demonstrated powerful effect of the AGREMSOIL system for soil remediation (~60%). Partnership's know-how. The partnership has available research and development options for further studies of the technology. Good adaptation to environments protected from weather events as wind (greenhouse, net). The AGREMSOIL system does not essentially modify the activity of micro-organisms. The AGREMSOIL system did not produce any notable differences with regard to the physiology and yield of the tomato plants. Good economic and environmental performance of the application of AGREMSOIL to conversion from conventional to organic production or a process of land use change (abandonment of agricultural use).	Weaknesses (unfavorable internal factors) Intermediate compounds in the pollutants' degradation process should be further studied. The AGREMSOIL system has still to be scaled up for larger surfaces. It is developed to TRL7 (Demonstration system operating in operational environment at pre-commercial scale), as foreseen in the project proposal. The AGREMSOIL system has still to be adapted for outdoor application.
Opportunities (favorable external factors) Concern of international administrations on soil contamination by pesticides Local stakeholders widely consider soil pollution a relevant environmental problem with economic and commercial implications Local stakeholders widely consider soil remediation a necessity as well as the availability of soil decontamination techniques Local stakeholders, in special those who are the potential final users, find the AGREMSOIL system a useful solution. Stakeholders consider the commercial orientation of the AGREMSOIL system towards organic farming to be of interest to prevent the occurrence of pesticides in these agricultural products. More economically efficient if implemented as a service to be provided by a third party with a transportable facility, or if a facility were shared between several farms, preferably portable. Public funding availability (e.g., CAP Operational Funds). Local stakeholders do not believe that the use of ozone for soil decontamination should be completely banned. Stakeholders, and in particular technical field staff, are in favour of further investigating the effects of ozone applied to agricultural soils, promoting the legal authorisation of the use of the AGREMSOIL system, and developing it for its rapid availability.	Threats (unfavorable external factors) Ozone is not included in any list of fertilisers nor phytosanitary products allowed for their use in agriculture, nor as a basic substance. There is a legal gap concerning farm soil remediation technologies. The legislation on conversion from conventional to organic production does not foresee any shortening of time periods by the application of any technology. All stakeholders are aware of the problem of soil contamination by the use of plant protection products and the need for a solution, but most of farmers are reluctant to abandon the use of agrochemicals. Its use involves a new cost added to their current production costs. The application procedure for the approval of the specific use of ozone in AGREMSOIL is a long and expensive process. The market has a lack of maturity as farmers do not have the obligation to decontaminate pesticide residues in their soils.



08 CONCLUSIONS

- The AGREMSOIL system shows high performance in the degradation of pesticides on a commercial scale.
- The AGREMSOIL system has advantages over other remediation techniques: in situ application, depth efficacy and short treatment time (soil availability).
- Adaptation of the system to a larger soil surface and to other contaminants needs to be developed and evaluated both technically and economically.
- The AGREMSOIL system should be used in protected environments such as greenhouse floors to avoid possible atmospheric interference in open areas.
- The use of ozone in agriculture is not allowed and its use as a remediation system should be considered by the competent administrations. Potential applications include land use change and accelerating the conversion process from conventional to organic farming at an affordable cost.
- The most economically efficient use of the AGREMSOIL system would be as a contracted service for farmers.



LIFE17 ENV/ES/000203 WITH THE CONTRIBUTION OF THE
LIFE PROGRAMME OF THE EUROPEAN UNION