Memoria divulgativa final del proyecto LIFE + EUTROMED

Marzo de 2.015

eutromed
Prevención de la eutrofización por nitrógeno agrícola

Proyecto de prevención de la contaminación por nitratos y control de la erosión

Coordinador

Diputación de Granada
Granada es Provincia

Asociados

ugr Universidad de Granada

paisajes del sur

BonTerra Ibérica s.l.

Cofinanciador

JUNTA DE ANDALUCIA
CONSEJERÍA DE AGRICULTURA, PESCA Y MEDIO AMBIENTE

eutromed
Prevención de la eutrofización por nitrógeno agrícola

ÍNDICE

1. Presentación de EUTROMED. 3
2. Problema ambiental. 5
3. Área de Actuación. 6
4. Acciones del proyecto. 8

   4.1. Acciones preventivas. 8
   4.2. Acciones correctoras. 12
   4.3. Acciones de seguimiento y análisis. 15
   4.4. Acciones de comunicación y divulgación. 31

5. Conclusiones. 35

Edita: Diputación de Granada. Servicio de Medio Ambiente.
Coordinación de la edición: Francisco Javier García Martínez / Caridad Ruiz Valero.
Diseño y maquetación: KLEINTONE

1. PRESENTACIÓN DE EUTROMED.

EUTROMED es un proyecto LIFE + de la convocatoria 2.010 desarrollado en la provincia de Granada y coordinado por la Diputación provincial. Dio comienzo en septiembre de 2.011 y finaliza en abril de 2.015.

1.1. ¿Cuál es su objetivo?

Evitar la contaminación por nitratos de nuestros ríos y pantanos, provocada por el arrastre de los fertilizantes de origen agrícola en las aguas de escorrentía.

Imagen 1: Embalse del Cubillas, Granada.

1.2. ¿Cómo se consigue?

Poniendo en práctica buenas prácticas agrícolas en el uso de fertilizantes y favoreciendo el desarrollo de una cubierta vegetal en los cultivos de olivar que evite las escorrentías de aguas.

1.3. ¿Cómo se hace?

Colocando biorrollos elaborados a partir de fibras vegetales y gaviones flexibles en los surcos y cárcavas de terrenos cultivados en pendiente, con el fin de disminuir la velocidad del agua de escorrentía y frenar la erosión.

Asesorando a los agricultores en el uso del riego y la fertilización, para reducirlos estrictamente a las necesidades del cultivo.

Imagen 2: Biorrollos y mantas orgánicas instalados en un olivar.

1.4. ¿Qué beneficios se obtienen?

- Menor costo en fertilizantes y mejor aprovechamiento de los mismos.
- Control de la pérdida de suelo fértil.
- Aumento de la capacidad de retención de agua en el suelo.
- Mejora de la calidad de las aguas.

Imagen 3: Olivar con cubierta vegetal en desarrollo.

1.5. ¿Quiénes participan en este proyecto?

Socio coordinador: Diputación de Granada.

Socios beneficiarios:

Grupo de Investigación MITA, de Microbiología y Técnicas Ambientales de la Universidad de Granada.

Paisajes del Sur S.L., empresa pionera a nivel estatal en la producción de plantas autóctonas y forestales.

Bonterra Ibérica S.L., empresa líder en la Península Ibérica en producción y comercialización de productos naturales destinados a la restauración y conservación del suelo y la vegetación.

2. PROBLEMA AMBIENTAL.

La acumulación de nitratos (NO_3) en las aguas superficiales es una de las causas de eutrofización y constituye un problema ambiental y sanitario creciente en todo el mundo.

25 mg/l < [NO_3] <50 mg/l. Potencial problema de contaminación.

[NO_3] >50 mg/l. Agua seriamente contaminada y no válida para consumo humano.

2.1. Causas.

La acumulación de nitratos es atribuida principalmente a las inadecuadas prácticas agrícolas (aplicación excesiva o inadecuada de fertilizantes nitrogenados minerales u orgánicos) y ganaderas.

La naturaleza difusa de este tipo de contaminación hace que sea un problema difícil de solucionar.

Imagen 4: Arroyo Juncarón, Deifontes, Granada.

3. ÁREA DE ACTUACIÓN.

3.1. Comarca de los Montes, provincia de Granada.

Se trata de un área con clima mediterráneo continentalizado (pluviosidad entre 500 y 600 mm concentrada en primavera y otoño, veranos calurosos e inviernos severos), suelos pobres, topografía accidentada y presencia de olivar como cultivo predominante.

La combinación de estos factores (lluvias torrenciales, suelo poco consolidado, pendientes considerables, actividad agraria, fertilización excesiva y baja cubierta vegetal) acelera los procesos erosivos en el suelo favoreciendo la formación de surcos y cárcavas, provocando el arrastre de nitratos en las aguas de escorrentía y contaminando las masas de agua superficiales (ríos y embalses).

Imagen 5: Localización del área de actuación. Vista de olivares de la zona.

COMBINACIÓN DE FACTORES	CONSECUENCIAS
Lluvias torrenciales Suelo poco consolidado Pendientes considerables Actividad agraria Fertilización excesiva Baja cubierta vegetal	Aceleración de los procesos erosivos en el suelo. Formación de surcos y cárcavas. Arrastre de nitratos en las aguas de escorrentía Contaminación por nitratos de ríos y embalses

3.2. Zona vulnerable a la contaminación por nitratos.

La cuenca del río Cubillas vierte a la Vega de Granada, la cual está designada como "Zona vulnerable a la contaminación por nitratos de origen agrario" en el Decreto 36/2008.

Imagen 6: Mapa de zonas vulnerables a la contaminación por nitratos de origen agrario de Andalucía.

3.3. Análisis de suelo, hoja y agua en el barranco del Juncarón.

Según los análisis realizados en julio de 2.012 en colaboración con la cooperativa de Deifontes, los suelos de la zona del barranco del Juncarón se caracterizan por ser suelos básicos y con altos contenidos en arcilla.

Presentan una deficiencia notable en fósforo asimilable y unos niveles elevados de caliza activa y carbonatos. El resto de elementos analizados están dentro de los niveles normales.

La notable deficiencia en fósforo asimilable que presenta el suelo se traduce en niveles bajos de fósforo en los olivos, tal y como muestran los análisis de hoja realizados. En cuanto al agua de riego, destacan los elevados niveles de carbonatos y magnesio.

4. ACCIONES DEL PROYECTO.

4.1. Acciones preventivas.

4.1.1. Acuerdos voluntarios con los agricultores.

Aquellos agricultores de la zona interesados en participar en el proyecto LIFE + EUTROMED han firmado un Acuerdo Voluntario con los socios del proyecto en el que se recogen los compromisos adoptados por todas las partes.

Compromisos para el agricultor:

- Permitir la instalación de los biorrollos y la realización de las mediciones correspondientes en sus explotaciones.
- No interferir sobre los biorrollos instalados durante todo el periodo del proyecto.
- Adoptar buenas prácticas en la fertilización, siguiendo las indicaciones de los asesores del proyecto, así como para el fomento del desarrollo de la cubierta vegetal.
- Asistir a las sesiones formativas organizadas en el marco del proyecto.

Beneficios para el agricultor:

- Instalación de los biorrollos en las cárcavas de sus parcelas, mantenimiento de los mismos, alta gratuita en la plataforma on line para el cálculo de la fertirrigación, asesoramiento gratuito y especializado en sus explotaciones para la fertilización y la puesta en marcha de buenas prácticas agrarias.
- Formación gratuita sobre diferentes aspectos relacionados con el cultivo del olivar.

Se han firmado un total de 69 acuerdos de dos modalidades:

1. Acuerdo para la instalación de la tecnología, uso de la plataforma informática y aplicación de buenas prácticas.
2. Acuerdo para el uso de la plataforma informática y aplicación de buenas prácticas.

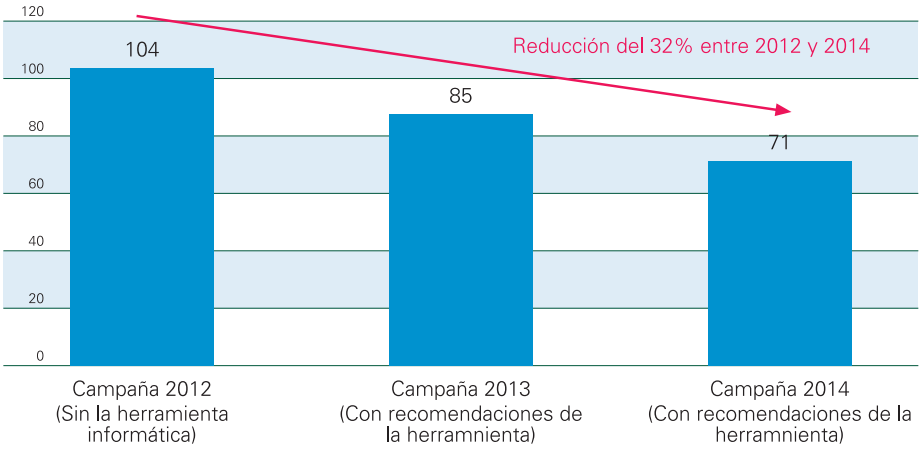
Imagen 7: Acto de firma de los acuerdos

4.1.2. Selección y adaptación de una herramienta informática para la optimización de la fertilización nitrogenada por parte de los agricultores.

Los agricultores implicados en el proyecto han contado con una plataforma informática on line que les ha permitido optimizar la aplicación de fertilizantes en su cultivo.

Orcelis Fitocontrol calcula la *cantidad exacta de unidades fertilizantes* que necesita la planta en relación a distintas variables: características edafológicas, datos del cultivo, análisis foliar, datos de riego, análisis del agua, precipitaciones, etc., evitando así posibles excesos en el suelo.

Imagen 8: Captura de pantalla de la Web de Orcelis Fitocontrol, la aplicación on line seleccionada en el marco del proyecto EUTROMED.



Gráfica 1: Media de las Unidades fertilizantes de nitrógeno aplicadas (kg/ha)

En el anterior gráfico se representa la media de Unidades fertilizantes de nitrógeno aplicados por hectárea en las distintas campañas de fertilización que se han sucedido a lo largo del proyecto. En la Campaña 2012, aun no se disponía de la aplicación Orcelis Fitocontrol, la cual comenzó a aplicarse en 2013. Durante el primer año, se produjo una reducción del 18 % y en 2014 se ha reducido un 32% respecto a la campaña 2012.

4.1.3. Asesoramiento in situ a los agricultores.

Los agricultores han recibido asesoramiento in situ en sus fincas para:

- El mantenimiento de los filtros vegetales,
- El manejo y uso de la plataforma informática para la optimización de la fertirrigación y
- La puesta en marcha de buenas prácticas agrícolas en relación con la prevención de la contaminación por nitratos de origen agrario y el control de la erosión del suelo.

Imagen 9: asesoramiento para el uso de la herramienta informática.

4.1.4. Formación técnica de los agentes implicados del sector agrario.

La Universidad de Granada ha sido la encargada de la organización de seminarios formativos dirigidos a los agricultores de la zona. Las temáticas de dichos seminarios han sido las siguientes:

- Estudio del suelo agrícola y su calidad. (Primavera 2012).
- Los recursos hídricos y su utilización. (Otoño 2012).
- Desnitrificación y ciclo del nitrógeno. (Verano 2013).
- Técnicas y materiales para el control de la erosión y la disminución de la eutrofización de las aguas de escorrentía superficial en el olivar de la cuenca mediterránea. (Primavera 2014).

Imagen 10: seminario celebrado en Albolote.

4.2. Acciones correctoras.

4.2.1. Fabricación e Instalación de filtros vegetales.

Los biorrollos están fabricados a base de fibras vegetales (esparto y paja), y se colocan perpendicularmente a las líneas de escorrentía del agua en la ladera. En el olivar actúan de filtro, reteniendo una buena parte de los nitratos arrastrados por las aguas, evitando así que alcancen las aguas superficiales. Asimismo, ayudan a minimizar los procesos erosivos y la pérdida de suelo fértil. En cárcavas de mayor profundidad se instalan además mantas orgánicas fabricadas también de las mismas fibras vegetales, pero que se fijan sobre el lecho de la cárcava evitando el arrastre de partículas de suelo.

Estas estructuras constituyen, además, el soporte y el refuerzo necesario de la vegetación para ámbitos semiáridos como los que nos encontramos. La instalación de biorrollos lleva asociada la instalación de gaviones flexibles que ayudan a dar fijación y estabilidad a los mismos.

Imagen 11: Ejemplo de biorrollos y gaviones flexibles instalados en un olivar.

La siguiente tabla de instalación muestra las características de los diferentes modelos de filtros vegetales.

	Mod. 1	Mod. 2	Mod. 3	Mod. 4
Pendiente	<10%	10%-20%	>10%	>10%
Profundidad cárcava	<0,5m	0,5m-1m	>1m	>1,5m
Nº de biorrollos en la serie	4	4	1	1
Diámetro de biorrollo	15cm	30cm	30cm	15cm
Longitud del biorrollo	3m	3-6m	3-9m	variable
Manta orgánica (m^2 mínimo)			11-33m^2	variable
Empalizada metálica				1
Distancia entre biorrollos	5m	3m	3m	variable
Final de serie	Biorrollo de 30 cm de diámetro sobre gavión flexible relleno de piedra de 30 cm de diámetro.		Gavión flexible relleno de piedra	

Tabla 1: características de los diferentes modelos de filtros vegetales.

Los modelos han cambiado ligeramente respecto al planteamiento inicial. El modelo 3 se fortaleció con mantas orgánicas sobre aquellas cárcavas en las que resultó necesario corregir su perfil con movimiento de tierras. Por otro lado, a lo largo de la instalación de los biorrollos, han ido surgiendo una serie de problemas que han llevado al diseño e instalación de un nuevo modelo de filtro vegetal compuesto por pequeños diques a base de empalizadas de acero corrugado con mantas orgánicas, que ayudan a laminar la escorrentía, a evitar el arrastre del suelo y fijar la vegetación.

Imagen 12: ejemplo de modelo 4.

Por encima de todas estas estructuras se realiza la plantación de especies vegetales nitrófilas a razón de 3 unidades por metro. Las especies vegetales elegidas cumplen los siguientes requisitos:

- Buena capacidad para fijar los restos de fertilizantes.
- Desarrollo rápido y buena capacidad de propagación, pero no tanto como para convertirse en una posible plaga para el olivar.
- Abundantes raíces secundarias que puedan actuar como filtro y fijar sólidos, pero que no supongan competencia para el cultivo.
- Disponibilidad en vivero.

Ejemplos de plantas adecuadas:

1. *Lavandula latifolia.*
2. *Rosmarinum officinalis.*
3. *Santolina chamaecyparisus.*
4. *Thymus mastichina.*
5. *Thymus zyggis.*

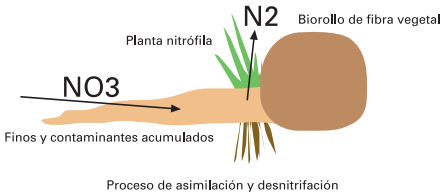
1 2 3 4 5

Se han tratado con el sistema biorrollo-planta un total de 61 cárcavas que representan 13.588 metros lineales de cárcava.

Imagen 13: Fotos de las cárcavas con plantas.

4.2.2. Mecanismos de eliminación de nitratos en los biorrollos.

El proyecto ha demostrado que el conjunto biorrollo-planta elimina nitratos, y lo hace a través de tres mecanismos:



- El propio crecimiento de la vegetación nitrófila, que asimila los nitratos presentes en el suelo.
- El desarrollo de bacterias desnitrificantes asociadas a las raíces de las plantas, que reducen los nitratos a nitrógeno gas.
- La retención de sedimentos donde previamente se han podido fijar los nitratos.

4.3. Acciones de seguimiento y análisis.

4.3.1. Seguimiento y análisis de la efectividad de los filtros.

Para evaluar y controlar la eficiencia del sistema, se han llevado a cabo una serie de acciones de medición y seguimiento de determinados parámetros.

- Rendimientos de eliminación de contaminantes físico-químicos en los filtros vegetales.

  Se han determinado la cantidad de materia orgánica, Nitrógeno (iones nitrito, nitrato y amonio), Fósforo (iones fosfato), pH y conductividad.

- Producción de gases de efecto invernadero y evolución de los parámetros agronómicos en los filtros vegetales.

  Ha consistido en el seguimiento de la producción de gases por el proceso de desnitrificación. Se han medido el gas N_2O y la evolución de los parámetros agronómicos.

- Población microbiana en los filtros vegetales.

  Se ha realizado un seguimiento y control microbiológico del agua y del suelo para determinar la presencia de microorganismos con la capacidad desnitrificadora necesaria para la eliminación del nitrógeno en el agua. En el caso del suelo, se han realizado tests de microcosmos.

4.3.2. Rendimientos de eliminación de contaminantes físico-químicos en los filtros vegetales.

Con respecto a los análisis realizados en las aguas, el objetivo principal era el seguimiento de los parámetros de contaminación físico-química, considerándose como meta principal alcanzar unos rendimientos medios esperados de reducción del 70% en nitratos, 30% en fósforo total y 50% tanto en COD como en BOD. Por lo tanto, se procedió al análisis de los siguientes parámetros: determinación de iones nitrito, nitrato y amonio, determinación de iones fosfato y determinación de materia orgánica en términos de carbono orgánico.

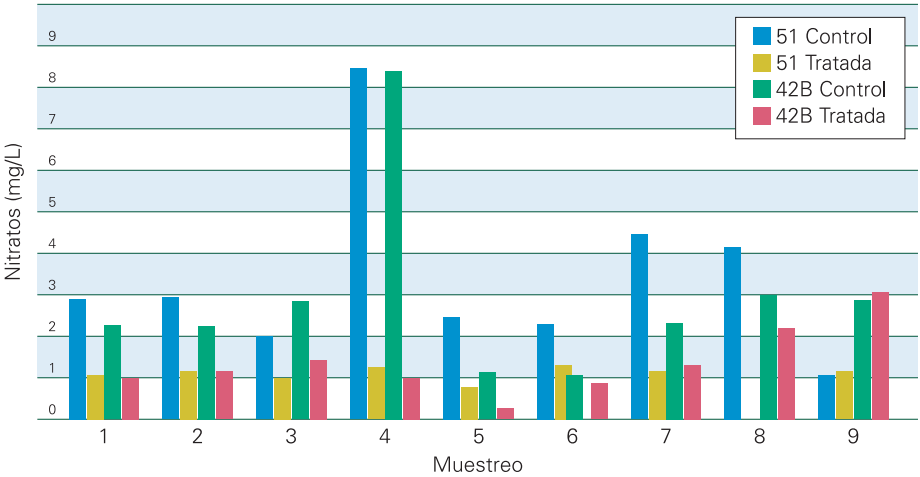
El estudio de las aguas de escorrentía en parcelas tratadas con medidas correctoras y parcelas control, representativas de la situación inicial, sugiere que la instalación de los sistemas de protección origina una reducción de la pérdida de nitratos en los suelos agrícolas como consecuencia de la acción de lavado por el agua.

En general, las pérdidas de nutrientes detectadas en las parcelas tratadas resultan menores que las detectadas en las parcelas control. Esto cobra especial relevancia en el caso de la concentración de nitrato, principal nutriente objeto de estudio, demostrándose la eficacia del tratamiento.

Así, cuando se han analizado las aguas de escorrentía de las diferentes parcelas, se puede apreciar una disminución en torno al 50% en la concentración de nitratos en las muestras procedentes de las parcelas tratadas con biorrollos en relación a las procedentes de las parcelas control.

Con el objeto de evaluar la eficacia en el tiempo de las instalaciones, se han analizado una serie de parámetros presentes en las aguas de escorrentía, en particular los nitratos.

En este contexto, se realizó un análisis de los resultados obtenidos de concentración de nitratos en cada parcela en las diversas tandas de muestreo realizadas a lo largo del proyecto. Los resultados de este estudio se muestran en la gráfica 2.

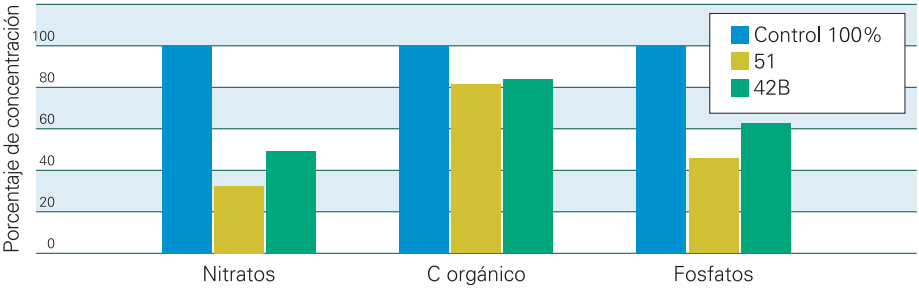


Gráfica 2. Evolución temporal de la concentración de nitratos en las aguas de escorrentía en cada parcela en los diferentes muestreos.

Como resulta evidente, aunque los resultados temporales de concentración de nitrato en las aguas de escorrentía en las parcelas tratadas y control presentan alguna disparidad entre las tandas de muestreo, los datos relativos a las parcelas tratadas resultan siempre menores con respecto a las control.

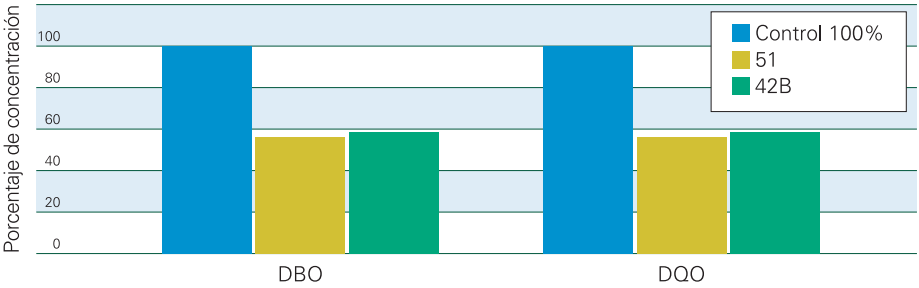
La disparidad mencionada entre tandas de muestreo es reflejo directo de la situación de experimentación en condiciones de "campo", donde un control estricto de las condiciones ambientales no es totalmente posible. Es por ello que una cierta variabilidad entre muestreos es razonable. De ahí la necesidad de llevar a cabo múltiples repeticiones en el tiempo. No obstante, los valores analíticos demuestran la eficacia del tratamiento llegando en algunos casos a registrarse una *disminución de la concentración de nitratos en las aguas de escorrentía de más de un 70%* en las parcelas tratadas con respecto a las control.

Además de analizar con carácter temporal los valores de nitratos, se ha estudiado la evolución de otros nutrientes presentes en el agua de escorrentía, concretamente los contenidos en materia orgánica y fosfatos. En la memoria inicial del proyecto, se marcaron como objetivos, la reducción del 70% de los nitratos, 30 % de Ptotal y 50% de la DBO. Los resultados alcanzados se han situado en torno al 60% de reducción de los nitratos, 50% de reducción de fosfatos y 20% de carbono orgánico (gráfica 3).



Gráfica 3. Concentración de los contaminantes en las aguas de escorrentía alcanzada en las parcelas tratadas con respecto a las parcelas control.

Además, en el caso del carbono orgánico, si se analizan los datos obtenidos en términos de Demanda Biológica de Oxigeno (DBO) y Demanda Química de Oxigeno (DQO), parámetros normalmente utilizados para determinar este tipo de contaminante, los resultados son todavía más prometedores llegándose a una disminución de más del 40% (gráfica 4).



Gráfica 4. Concentración de DQO y DBO alcanzada en las aguas de escorrentía en las parcelas tratadas con respecto a las parcelas control.

Como resulta evidente, los resultados temporalizados demuestran que los valores obtenidos en las parcelas donde se ha instalado el tratamiento alcanzan los resultados esperados y en el caso de los fosfatos se llega a una disminución en una de las dos parcelas de casi un 60%, más alta de lo estimado en un primer momento. Podemos concluir por lo tanto que la instalación de barreras biofiltrantes, hace posible una reducción importante y significativa de nutrientes en las aguas de escorrentía con una disminución del aporte de estos nutrientes a las masas acuáticas superficiales. Es por tanto evidente la acción ambientalmente positiva de la tecnología utilizada en nuestros estudios.

Una vez que pudo realizarse análisis de agua en el arroyo Juncarón, se detectó que el mismo se encuentra significativamente contaminado con nutrientes nitrogenados.

Al analizar su contenido en nitratos, nitritos y amonio en el mes de febrero de 2013 (momento en el que existió caudal de agua suficientemente representativo), se detectaron cantidades de nitratos superiores a 70 mg/l (tabla 2).

Puntos de muestreo	Nitritos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Amonio (mg/L)	Carbono orgánico (mg/L)
Juncarón inicio	0,15	51,84	0,47	0,25	40,32
Juncarón mitad	0,17	79,66	0,30	0,07	58,37
Juncarón final	0,24	59,34	0,37	0,06	68,93

Tabla 2. Concentración de nitritos, nitratos, amonio y fosfato en el agua del arroyo Juncarón. Los resultados son media aritmética de cinco réplicas.

Uno de los objetivos básicos del actual proyecto era disminuir la concentración de estos nutrientes en el agua del arroyo mediante medidas preventivas y correctoras, ya que estos valores son indicativos de un peligro potencial de eutrofización de áreas sensibles. Además, la presencia de este alto contenido en nutrientes puede asociarse a un uso excesivo de fertilizantes que, bien por escorrentía o por su presencia en aguas subterráneas, determina este proceso de enriquecimiento en compuestos inorgánicos nitrogenados del agua del arroyo.

A continuación se presentan los resultados obtenidos analizando aguas del arroyo Juncarón en diciembre 2013 y en octubre 2014 (tablas 3 y 4).

Puntos de muestreo	Nitritos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Amonio (mg/L)	Carbono org. (mg/L)	pH	Conductividad (µS)
Juncarón mitad	0,13	85,54	3,53	0,01	50,40	8,80	814
Juncarón final	0,15	74,86	1,84	0,09	62,61	8,20	792

Tabla 3. Concentración de los parámetros analizados en el agua del arroyo Juncarón en diciembre 2013.

Puntos de muestreo	Nitritos (mg/L)	Nitratos (mg/L)	Fosfatos (mg/L)	Amonio (mg/L)	Carbono org. (mg/L)	pH	Conductividad (µS)
Juncarón inicio	0,33	32,75	4,29	0,22	20,53	7,89	995
Juncarón mitad	0,34	34,96	0,63	0,16	41,87	7,86	982

Tabla 4.. Concentración de los parámetros analizados en el agua del arroyo Juncarón en octubre 2014.

Se puede notar cómo los niveles de contaminantes en el agua del arroyo resultan ser bastante inferiores después de dos años de tratamiento con medidas correctoras.

Cabe destacar que el parámetro nitratos presentaba una concentración muy elevada tanto en una fase inicial del proyecto como en el muestreo realizado en un estado ya

avanzado de tratamiento. En el último muestreo realizado la presencia de nitratos en las aguas parece haberse reducido considerablemente, *llegando a alcanzar más de un 50% de disminución*. Aunque en el caso del fosfato y de los otros parámetros analizados, los valores detectados no parecen cambiar de manera considerable, en el caso de los nitratos los resultados son particularmente sorprendentes.

Por lo tanto, se puede afirmar que la instalación de los biorrollos confirma las previsiones del proyecto y determina una disminución significativa de los componentes inorgánicos (Nitratos y fosfatos) en las aguas de escorrentía.

4.3.3. Producción de gases de efecto invernadero y evolución de los parámetros agronómicos en los filtros vegetales.

Con independencia de los análisis realizados en las muestras de agua de escorrentía de las parcelas agrícolas seleccionadas, se ha procedido al análisis físico-químico del suelo de dichas parcelas con el objetivo de detectar posibles alteraciones producidas como consecuencia de la aplicación de las medidas correctoras en el tiempo transcurrido. La analítica efectuada sobre muestras de suelos ha comprendido toda una serie de parámetros que representan la fertilidad de los suelos agrícolas sometidos a restauración en relación a los suelos control no tratados.

Los análisis incluyeron el estudio textural y la cuantificación de las concentraciones de fósforo asimilable, materia orgánica oxidable, nitrógeno total, pH y potasio asimilable. Conjuntamente con los análisis mencionados se realizó la clasificación de las parcelas para su mejor comprensión edafológica. En cada muestreo, se tomaron cinco muestras de forma aleatoria y a su vez cada determinación analítica fue repetida 3 veces para garantizar la fiabilidad de las medidas. En la tabla 5 se muestran los promedios de los resultados obtenidos en todos los muestreos a lo largo del proyecto.

Parcela	P asimila-ble (ppm)	Materia orgánica oxidable (%)	N total (%)	pH	K asimila-ble (ppm)	Textura arcilla (%)	Textura arena (%)	Textura limo (%)
51 Control	14,1± 17,1	0,9±0,1	0,07± 0,00	8,0±0,2	263,8± 30,2	29,8±2,9	17,9±1,1	52,2±3,5
51 Control	6,3±1,8	0,6±0,1	0,05± 0,01	8,0±0,3	250,4± 52,5	33,5±1,8	15,4±0,7	14,4±0,7
42 B Control	10,0± 8,7	0,6±0,2	0,05± 0,01	8,0±0,2	237,3± 71,8	33,1± 3,0	12,5± 2,4	54,4± 3,7
42 B Tratada	36,9± 20,7	0,9± 0,1	0,07± 0,01	8,0± 0,2	375,0± 56,3	26,8± 7,5	15,6± 2,1	57,6± 8,9

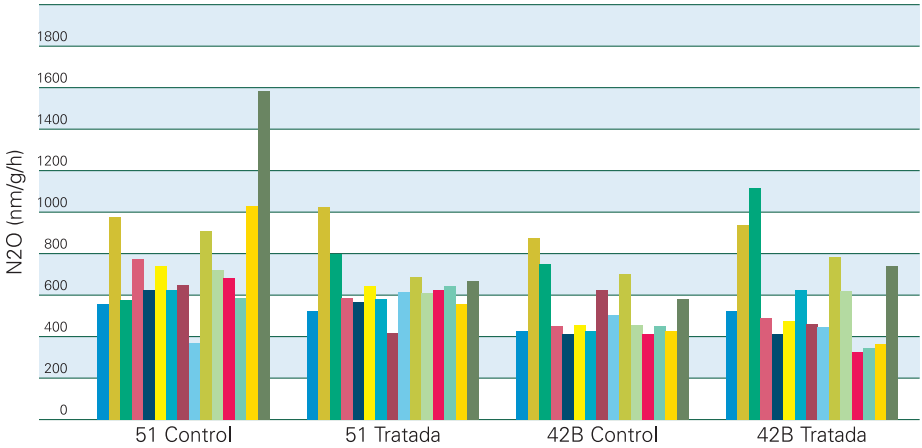
Tabla 5. Analíticas de parámetros físico-químicos sobre muestras de aguas recogidas en dos parcelas tratadas y testigo de las instalaciones objeto de estudio.

Si se analizan los resultados obtenidos, se puede apreciar cómo no hay una diferencia destacable entre los valores registrados en las parcelas tratadas con biorrollos y en las parcelas control. Parece ser que los suelos analizados mantienen las mismas características a lo largo del tiempo sin que la presencia de los biorrollos modifique o afecte de ninguna manera la riqueza mineral y la estructura de los mismos.

También resulta evidente que en las zonas tratadas se está desarrollando una cubierta edáfica de características estables, y las ligeras modificaciones observadas en algunas cárcavas tratadas no suponen ninguna alteración negativa del hábitat. Además, los valores de riqueza mineral de los suelos tratados continúan siendo respetuosos con los valores existentes en la zona.

Por lo tanto, siempre en base a los estudios realizados, se puede establecer que las medidas correctoras no determinan cambios significativos en las características texturales y físico-químicas del suelo. Al contrario, parece posible afirmar que se mantienen inalteradas la estabilidad y fertilidad de los suelos.

De forma paralela a los análisis texturales y físico-químicos en las muestras de suelo, se procedió al estudio de la actividad desnitrificante mediante la técnica de inhibición de la enzima óxido nitroso reductasa. Los resultados se expresan como cantidad de N_2O producido en nanomoles por gramo de suelo y hora. De cada parcela analizada se tomaron cinco muestras (con carácter aleatorio) y de cada una de las medidas se realizaron tres determinaciones para posteriores análisis estadísticos. En la gráfica 5 se muestran los resultados en cada parcela.



Gráfica 5. Actividad desnitrificante de la microbiota presente en los suelos de las parcelas (con cárcavas tratadas y control) del área de actuación de EUTROMED, expresada como producción de N_2O (nm/g/h).

Según los resultados alcanzados, parece ser que en los suelos analizados, tanto en las parcelas tratadas como en las control, existe una elevada actividad biológica que produce una alta capacidad de desnitrificación. Esto puede sugerir que los suelos tratados no modifican de forma significativa esta actividad biológica. Comparados estos resultados con los de las analíticas de otros parámetros físico-químicos podrían indicar que muy probablemente los biorrollos actúan más reteniendo los nutrientes contaminantes del agua, que por modificaciones de la actividad biológica en los suelos tratados.

En el caso específico de los nitratos, se puede afirmar que los mismos pueden ser eficientemente biotransformados por las comunidades microbianas presentes en el suelo. Es por tanto evidente que a un mayor contenido de nitratos en el suelo se producirá un incremento de la actividad desnitrificante, originándose un efecto de pérdida de nitrógeno del hábitat que en ningún caso será utilizado por las plantas. Además, considerando que aproximadamente el 50% de los microorganismos desnitrificantes no culminan el proceso con la generación de nitrógeno molecular sino que generan óxido nitroso (gas con alto efecto invernadero), resulta evidente que la adecuación de un sistema de fertilización con concentración de nitrógeno apropiada a las necesidades de la planta, es de máxima importancia.

No obstante, parece ser que la utilización de los sistemas filtrantes, estaría ayudando al proceso de asimilación de los nitratos por parte de las plantas evitando su pérdida mediante desnitrificación. En ese sentido, la actuación determinaría no solo una menor pérdida de nitrógeno por escorrentía sino al mismo tiempo una menor pérdida de este nutriente por procesos de desnitrificación.

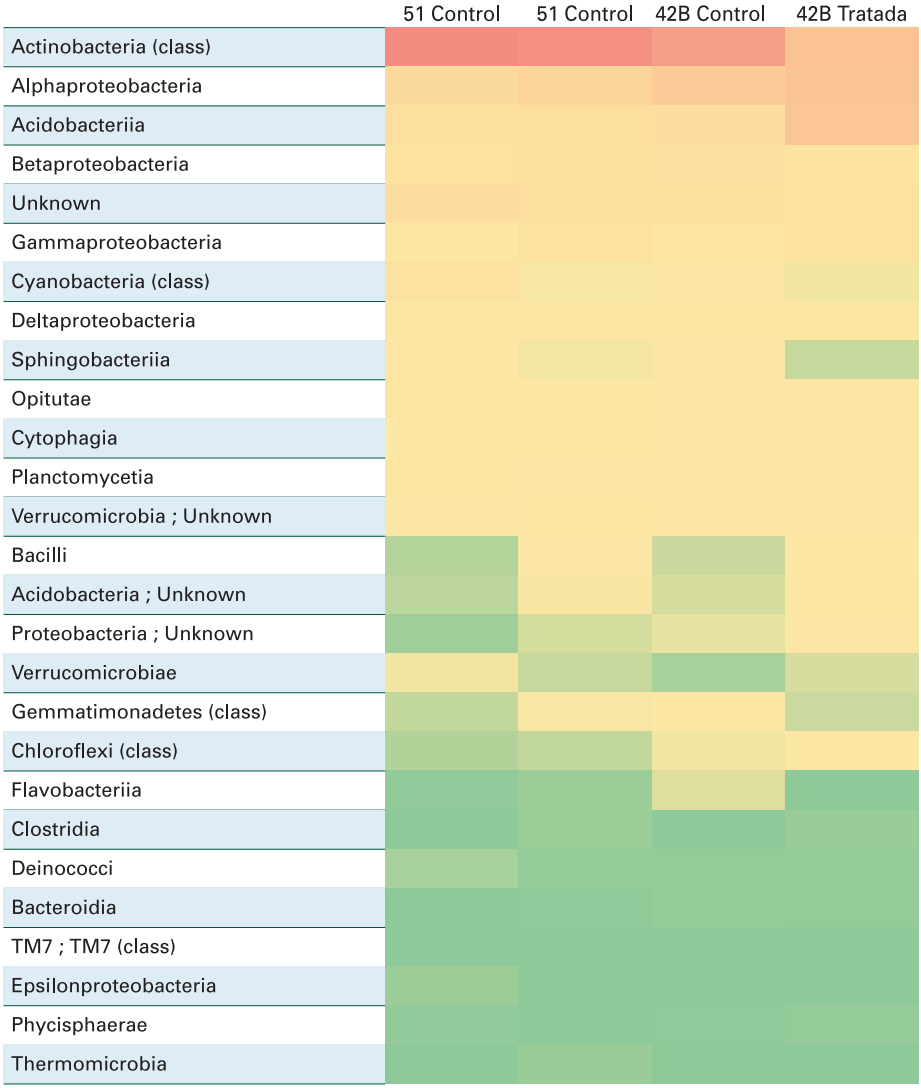
La confirmación de este hecho es que en las parcelas tratadas se detecta una menor actividad desnitrificante en relación a las control. Esto resulta de especial interés ya que determinaría una menor pérdida de nitrato en los suelos tratados (incrementando la fertilidad) y una menor emisión de óxido nitroso, contaminante atmosférico gaseoso con claro efecto invernadero. En conclusión, estos resultados se deben de considerar de un gran interés agronómico y ambiental.

4.3.4. Población microbiana en los filtros vegetales.

Para estudiar las comunidades bacterianas presentes en el suelo se utilizaron técnicas de biología molecular de última generación que permiten el análisis metagenómico de un hábitat. Estas técnicas constan esencialmente de extracción de DNA de las muestras de suelo y análisis mediante técnicas de tag-pirosecuenciación.

La pirosecuenciación es una tecnología de determinación de secuencia de ADN a gran escala, es decir un método de secuenciación masiva del DNA que permite obtener análisis de comunidades complejas. Los resultados analizados aquí

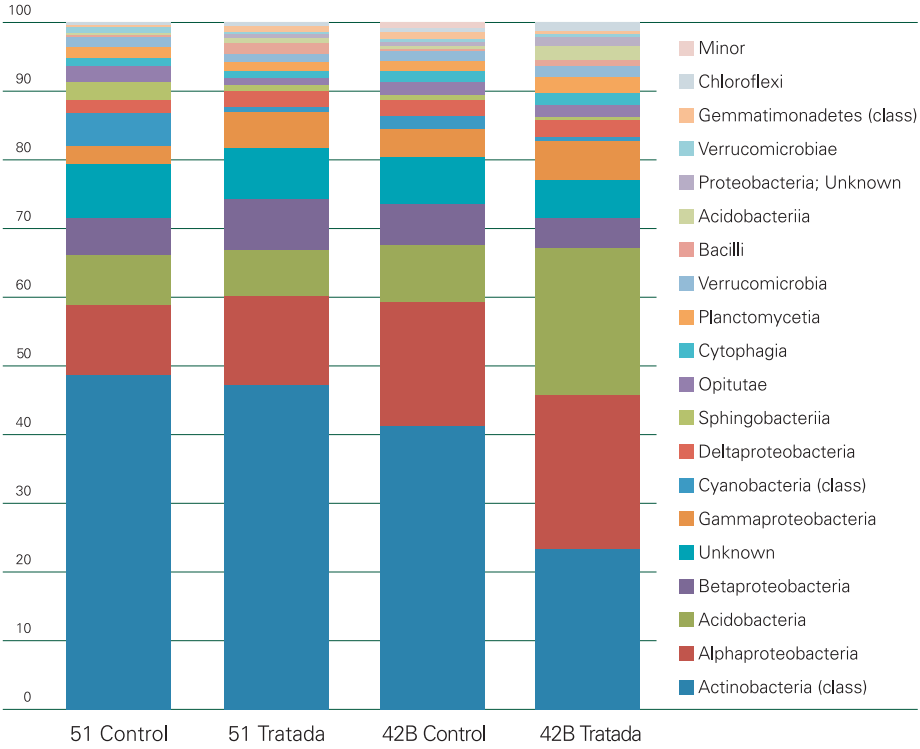
presentados nos sugieren que en las muestras estudiadas se observa una grande complejidad y biodiversidad (gráfica 6).



Gráfica 6. Análisis de la biodiversidad de Clases presentes en el microbioma mediante Heat-map. Las celdas degradan del rojo al verde al bajar el porcentaje de clases presentes en cada muestra.

Dado que la comunidad bacteriana presente en las muestras analizadas resultaba bastante compleja, se ha decidido representar las clases presentes con un porcentaje superior al 1%. Las demás clases se han unido en el grupo definido "Minor".

Los porcentajes de clases presentes en cada muestra se pueden apreciar en la gráfica 7, donde se muestra un promedio de los porcentajes registrados en cada muestra recogida.

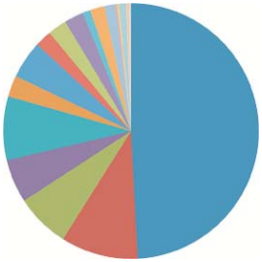


Gráfica 7. Análisis de la biodiversidad de Clases presentes en el microbioma de los suelos agrícolas estudiados. Porcentaje de cada clase encontrado en cada muestra.

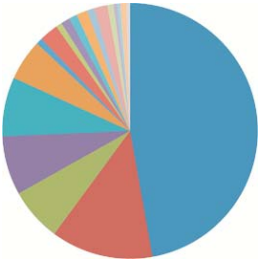
Los microbiomas de las parcelas control y tratadas presentan una alta diversidad bacteriana en la que destacan de forma cuantitativa la presencia de Actinobacterias, Proteobacterias y Acidobacterias. Estas características son típicas de suelos agrícolas fértiles y en consecuencia estos resultados son esperables en nuestro caso. Estas clases bacterianas predominantes, especialmente las Actinobacterias, constituyen el grupo más frecuentemente encontrado en suelos agrícolas donde realizan una importante actividad de biodegradación y biotransformación de macromoléculas. En

el mismo sentido el resto de los microorganismos detectados constituyen un amplio abanico de diversidad que determina una funcionalidad biológica de los suelos aparentemente muy satisfactoria. En el caso concreto de las Proteobacterias, la clase más abundante ha resultado ser la de las Alphaproteobacterias. Este resultado era de esperar dado que este amplio grupo de bacterias presenta una elevada capacidad de biotransformación de moléculas hidrosolubles. Esta clase de microorganismos son típicos de ambiente marino aunque se pueden encontrar también en suelos, debido a que muchos de ellos son fijadores de nitrógeno y por ello capaces de crecer en simbiosis con plantas. En concreto, muchas especies de Rhizobium viven en nódulos de las raíces de leguminosas, donde realizan la fijación de nitrógeno.

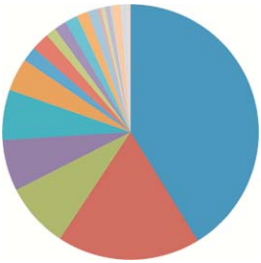
Un análisis comparado de la biodiversidad en los suelos de parcelas tratadas y control, nos sugieren que los microbiomas son semejantes en todas las condiciones analizadas *(gráficas 8 a 11).* Estos resultados son de especial importancia ya que demuestran que la intervención en las cárcavas *no determina cambios en la estabilidad de las comunidades microbianas del suelo.* En consecuencia los microbiomas no sufren ninguna alteración tras la intervención en los suelos agrícolas con los sistemas "buffers", garantizándose a priori que el establecimiento de estos sistemas no altera el desarrollo de los ciclos biogeoquímicos que aportan la fertilidad de un suelo.



Gráfica 8. Porcentaje de clases de bacteria en la parcela 51 control.

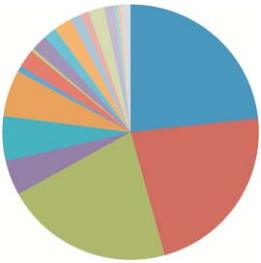


Gráfica 9. Porcentaje de clases de bacteria en la parcela 51 tratada.



41% Actinobacteria (class)
18% Alphaproteobacteria
8% Acidobacteriia
6% Betaproteobacteria
6% Unknown
4% Gammaproteobacteria
2% Cyanobacteria (class)
2% Deltaproteobacteria
1% Sphingobacteriia
2% Opitutae
2% Cytophagia
1% Planctomycetia
1% Verrucomicrobia
0% Bacilli
0% Acidobacteria
1% Proteobacteria
0% Verrucomicrobiae
1% Gemmatimonadetes (class)
1% Chloroflexi (class)
1% Minor

Gráfica 10. Porcentaje de clases de bacteria en la parcela 42B control.



23% Actinobacteria (class)
22% Alphaproteobacteria
21% Acidobacteriia
4% Betaproteobacteria
6% Unknown
6% Gammaproteobacteria
1% Cyanobacteria (class)
2% Deltaproteobacteria
0% Sphingobacteriia
2% Opitutae
2% Cytophagia
2% Planctomycetia
2% Verrucomicrobia
1% Bacilli
2% Acidobacteria
1% Proteobacteria
1% Verrucomicrobiae
0% Gemmatimonadetes (class)
1% Chloroflexi (class)
0% Minor

Gráfica 11. Porcentaje de clases de bacteria en la parcela 42B tratada.

4.3.5. Seguimiento de la producción de biomasa.

Para estudiar la producción de biomasa fueron instaladas pequeñas parcelas en tres puntos de control coincidentes con las cárcavas en las que se realiza la recogida de muestras de agua *(cárcavas 17, 42B y 51).* Las parcelas se han situado aleatoriamente, a 10 y 20 metros a izquierda y derecha del centro de la cárcava, aguas arriba de los referidos puntos de muestreo de agua.

Al final de la primavera (mes de junio de cada año de seguimiento) se siega todo el material vegetal y se realiza su pesado, primero en verde y posteriormente tras un proceso de secado. Los resultados obtenidos han sido los que se reflejan en la tabla de la página siguiente.

Hay que destacar que, aunque si bien lo deseable en último término fuese la obtención de una gran cantidad de biomasa seca que pudiera contribuir a la protección y formación de suelo, lo deseable inicialmente para la descontaminación de aguas de escorrentía y control de la erosión, sería tener una gran cantidad de biomasa verde.

La tabla refleja los resultados promedio de las dos temporadas muestreadas. Según estos datos, se obtuvo una gran producción media de biomasa en fresco en el año 2.013, año de abundantes lluvias, observándose una diferencia entre las parcelas de

las cárcavas tratadas sobre las control (las que no tienen ningún tipo de tratamiento) de más de 4 t/ha. Sin embargo, en la temporada siguiente (2014), se aprecia una disminución de la cantidad de biomasa producida respecto al año anterior, condicionada por la intensa sequía ocurrida entre el otoño de 2013 y la primavera de 2014, lo que ha producido un escaso desarrollo vegetal, de solo 485 Kg/ha de biomasa en fresco, cuando lo esperado y deseable hubiera sido haber obtenido un incremento de la misma. No obstante, estas oscilaciones son habituales en zonas con clima mediterráneo, donde buenas y aceptables producciones agrícolas en años lluviosos se alternan con producciones bajas o muy bajas en años de sequía.

En todo caso, lo importante es que se demuestra un incremento medio de biomasa en las cárcavas tratadas respecto a las control, tanto en un año como en el siguiente, y que prácticamente se logra el objetivo establecido en el proyecto LIFE+ EUTROMED de conseguir un incremento de la biomasa acumulada de 5 t/ha al final del mismo.

	Toma de muestra biomasa			
	05/06/2013		12/06/2014	
Localización	Peso fresco (gr/m^2)	Peso seco (gr/m^2)	Peso fresco (gr/m^2)	Peso fresco (gr/m^2)
Promedio control 51	16,13	4,70	6,47	3,99
Promedio tratado 51	188,50	64,43	126,03	64,42
Promedio control 42B	152,77	46,41	254,07	109,69
Promedio tratado 42B	1.415,43	412,60	268,10	97,79
Promedio control 17	483,00	291,83	111,67	86,69
Promedio tratado 17	294,20	141,57	123,47	73,95
Promedio control	217,41	114,31	124,07	66,79
Promedio tratado	632,11	206,20	172,53	78,72
Diferencia (gr/m^2)	415,41	91,89	48,47	11,93
Diferencia Kg/ha	4.154,11	918,86	484,67	119,31
			Kg/ha	
Biomasa introducida con los tratamientos: 93.330 kg de esparto en 276 ha			338,15	338,15
BIOMASA TOTAL ACUMULADA (Suma de introducida y generada)			4.96,93	1.376,32

Tabla 6. Datos de seguimiento de la biomasa.

Imagen 14: Punto de muestreo para evaluación de biomasa y control de erosión, donde se observa la forma de siega de planta espontánea desarrollada por encima del biorrollo.

4.3.6. Seguimiento de la erosión del suelo.

Sobre los mismos puntos de muestreo de la biomasa, se clavaron en junio de 2013 dos picas de acero separadas 75 cm, marcando el nivel del suelo existente en ese momento con pintura fluorescente para poder tener una medida de pérdidas de suelo por erosión. Esto nos permitiría tomar medidas de la variación del nivel del suelo y por consiguiente de los arrastres o acumulación de material en su entorno y extrapolar los datos a su superficie adyacente. Sin embargo, este sistema de toma de datos ha presentado todo tipo de dificultades en su evaluación, ya que muchas de las picas se han modificado por distintas causas: han sido arrancadas, pisadas por el tractor, movidas por inestabilidad de la propia cárcava, tapadas por sedimentos u otros elementos, etc. Ello, sumando a la dificultad para su lectura, ha impedido una correcta evaluación e interpretación de los datos disponibles. Dado que no se han podido realizar nuevas evaluaciones por la precariedad de lluvias en otoño de 2014, sólo se dispone de los datos recogidos en mayo de 2014, que se reflejan en el cuadro siguiente:

Localización	Nivel piqueta izq (cm)	Nivel piqueta der (cm)	Nivel piqueta med (cm)	Observaciones	cm^3/m^2	Media cm^3/m^2	Objetivo reducción 80%
Testigo 1 (51) 10 m.			0	P. aplastadas			
Testigo 1 (42B) 20 m.	-3,00	0	-1,5		-200		
Testigo 2 (51) 10 m.			0	P. arrancadas			
Testigo 2 (42B) 20 m.	0	0	0	No apreciable	0		
Testigo 3 (17) 50 m.	3,00	-1,00	1	Dificil lectura	133,33		
Testigo 3 (17) 60 m.		-1	-0,5	Dificil lectura	-66,67	-33,33	
Tratado (51) 10 m.	0	0	0		0		
Tratado (51) 20 m.			0	P. aplastadas			
Tratado (42B) 10 m.	1,00	0,50	0,75		100		**-150%**
Tratado (42B) 20 m.	3,00	-45,00	-21	Socavada			
Tratado 2 (17) 20 m.	15,00	2,00	8,5	Dificil lectura	1.133,33		
Tratado 2 (17) 60 m.	2,00	7,00	4,5	Dificil lectura	600	458,33	-1.475%

Tabla 7. Datos de seguimiento de la erosión.

Según los datos obtenidos, la media de pérdida de suelo sobre las parcelas control está en 33,3 cm^3/m^2, y de ganancia de suelo sobre las parcelas tratadas en una media de 458,3 cm^3/m^2 (descartando la medida con pica socavada como accidental), lo que supone una eficiencia sobre las pérdidas medias de las testigo del 1.475 %.

Estos resultados pueden parecer excesivamente optimistas, habida cuenta de la dificultad en la lectura de las piquetas. Sin embargo, si realizamos una ponderación de los datos obtenidos en los dos puntos de seguimiento más "fiables" (testigo 51 a 20 m y tratada 42B a 10 m), señaladas como las más objetivas en su observación, se pueden también deducir "ganancias de suelo netas" o retención de sedimentos sobre las cárcavas tratadas con respecto de las no tratadas del 150 %, con lo que en todo caso se demuestra la retención real de sedimentos y del efecto de control de la erosión en las cárcavas tratadas, superándose con creces el objetivo del 80 % de reducción de la pérdida de suelo fértil.

Imagen 15: Piqueta para el seguimiento y evaluación de la erosión del suelo. Parcela testigo 1(51) a 20 m.

Imagen 16: Piqueta para el seguimiento y evaluación de la erosión del suelo. Parcela tratada 42B a 10m.

4.4. Acciones de comunicación y divulgación.

4.4.1 Página Web.

EUTROMED cuenta con una Web "*www.eutromed.org*" en la que se puede encontrar toda la información del proyecto. En el apartado "Publicaciones" se pueden descargar todos los materiales divulgativos editados y publicados en el marco del proyecto.

Imágenes 16 y 17: Capturas de la Web

4.4.2. Tablones de anuncios.

En los ayuntamientos de los municipios de Albolote, Deifontes e Iznalloz, así como en la sede de la Diputación Provincial de Granada, han estado habilitados tablones de anuncios en los que se han publicado las noticias más relevantes y los eventos relacionados con proyecto EUTROMED.

Imágenes 18 y 19: Tablones de anuncios

4.4.3.Guías prácticas.

Se han publicado 4 guías prácticas sobre temáticas directamente relacionadas con los ámbitos de trabajo del proyecto, que contribuyen a la difusión de la experiencia.

1 **Guía de formación.** Recoge los contenidos que han sido tratados en los seminarios formativos con los agricultores.

2 **Manual de buenas prácticas agrícolas frente a la contaminación por nitratos.** Integra buenas prácticas agrícolas para la fertilización nitrogenada, centrándose principalmente en el cultivo del olivar y describe las limitaciones, obligaciones y recomendaciones recogidas en la legislación sobre fertilización nitrogenada para zonas vulnerables a la contaminación por nitratos.

3 **Optimización de la fertirrigación en olivar.** Manual para el manejo de la aplicación informática "Orcelis Fitocontrol". Se trata de una guía que facilita el uso de la plataforma informática seleccionada para el proyecto, detallando todos los pasos necesarios para darse de alta, introducir los datos de la explotación y obtener los resultados de la fertirrigación.

Imagen 20: Guías y Manuales

4 **Guía del método.** Recopila todos los aspectos necesarios para poder aplicar la experiencia en otros territorios, tales como la definición de los criterios para la selección del área, la descripción de los modelos de filtros vegetales, los métodos de instalación y mantenimiento, problemas encontrados, soluciones planteadas, etc.

Se ha editado un CD que contiene las cuatro guías en español y en inglés (aquellas que han sido traducidas).

4.4.3. Boletines científico-técnicos.

Con el objetivo de dar difusión a la experiencia demostrativa, periódicamente se han ido publicando los avances y resultados del proyecto en los boletines científico-técnicos, los cuales han sido ampliamente distribuidos y están disponibles en la Web del proyecto.

Se han publicado un total de 12 boletines.

Imagen 21: Boletines científico-técnicos

4.4.4. Jornadas divulgativas, seminarios y Congresos.

Asimismo, los socios del proyecto han organizado dos jornadas divulgativas, la primera hacia la mitad de su ejecución y la segunda en su periodo final.

Por otro lado, para dar visibilidad a este proyecto financiado con fondos del programa LIFE en los principales foros de medio ambiente, los socios han presentado pósters, comunicaciones técnicas y exposiciones en numerosos seminarios y Congresos de ámbito nacional e internacional.

Imagen 22: Stand situado en el CONAMA 2014.

4.4.5. Folletos divulgativos.

Se han editado folletos dirigidos a los agricultores para la puesta en marcha de buenas prácticas agrícolas.

Imagen 23: folletos divulgativos

5. CONCLUSIONES.

Los resultados obtenidos después de dos años y medio de instalación de los sistemas de filtros vegetales, parecen sugerir que éstos retienen una buena parte de los nutrientes arrastrados en las aguas de escorrentía, reduciendo por tanto la contaminación de las aguas superficiales.

- En concreto, los análisis de los contaminantes presentes en las aguas de escorrentía y en particular el nitrato, muestran cómo la presencia de los biorrollos determina una retención de las concentraciones de este compuesto si se comparan las cárcavas tratadas con las control. En algunos casos esta disminución en pérdidas por escorrentía puede llegar hasta un 70% menos gracias a la presencia de los filtros.

- Las medidas correctoras no provocan cambios significativos en la fertilidad de los suelos y en sus características físico-químicas, observándose un elevado índice de semejanza entre suelos tratados y suelos control.

- Por otro lado, el estudio de la actividad microbiana del suelo muestra una elevada capacidad desnitrificante en la zona de actuación en general. Los filtros no actúan modificando la actividad biológica sino más bien reteniendo los nutrientes contaminantes presentes en el agua. Aun así, su instalación podría ayudar en el proceso de asimilación de los nitratos por parte de las plantas evitando su pérdida mediante desnitrificación.

- Con el estudio de la composición de la microbiota presente en las cuatro parcelas, se ha demostrado que las comunidades bacterianas presentes en los suelos objeto de estudio presentan una alta biodiversidad. Comparando los suelos tratados y sin tratar, se puede apreciar que, tanto a nivel de clase como a nivel de género, las poblaciones más abundantes no sufren diferenciaciones debido al tratamiento y a la cárcava en estudio.

Por lo tanto, se puede concluir que los filtros vegetales producen una reducción significativa de la contaminación ambiental por nitrato de origen agrario sin comprometer las características principales de los suelos que se someten a tratamiento.

eutromed

Prevención de la eutrofización por nitrógeno agrícola

www.eutromed.org

Diputación de Granada. Servicio de Medio Ambiente
C/ Periodista Barrios Talavera, 1. 18014 Granada
Tfno.: 958 80 49 56 / E-mail: eutromed@dipgra.es

Coordinador

Diputación de Granada
Granada es Provincia

Asociados

Universidad de Granada

paisajes del sur

BonTerra Ibérica S.L.

Cofinanciador

JUNTA DE ANDALUCIA
CONSEJERÍA DE AGRICULTURA, PESCA Y MEDIO AMBIENTE