UNIVERSITAT DE LLEIDA

MÁSTER EN GESTIÓN DE SUELOS Y AGUAS

TRABAJO FINAL DE MÁSTER

USO AGRONÓMICO DE DIGERIDOS PROCENDENTES DE LODOS EDAR Y PURINES, SOMETIDOS A NUEVOS PROCESOS DE BIOMETANIZACIÓN

ALFONSO VERA AYALA

MARZO 2018

Universitat de Lleida

CSIC

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

CENTRO DE EDAFOLOGÍA Y BIOLOGÍA APLICADA DEL SEGURA

MÁSTER INTERUNIVERSITARIO DE GESTIÓN DE SUELOS Y AGUAS

Universitat de Lleida – Universitat Autònoma de Barcelona – Universitat de Barcelona – Universidad Pública de Navarra

Trabajo Final de Máster

Tipo: Investigación

Uso agronómico de digeridos procedentes de lodos EDAR y purines, sometidos a nuevos procesos de biometanización

Autor: ALFONSO VERA AYALA

Tutor: JOSEP MARIA ALCAÑIZ BALDELLOU

Director: CARLOS GARCÍA IZQUIERDO

AGRADECIMIENTOS

Este Trabajo Final de Máster, es el resultado del esfuerzo y dedicación personal durante estos últimos meses. Pero no he estado solo durante este camino, sino que he sido acompañado por diversas personas que me han aconsejado, animado, acompañado y son, sin ninguna duda, parte imprescindible de este trabajo.

En primer lugar, agradecer Carlos García Izquierdo, director del Trabajo Final de Máster y profesor investigador del Grupo de Enzimología y Biorremediación de Suelos y Residuos Orgánicos del Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC), por haberme permitido realizar el presente trabajo en el mencionado grupo, dándome todas las facilidades y aconsejándome desde un primer momento sobre la realización del trabajo y a Josep Maria Alcañiz Baldellou por haber aceptado ser mi tutor académico.

En segundo lugar, agradecer a los doctores José Guillermo Berlanga y Elena Zuriaga (FACSA) el haberme permitido realizar el Trabajo dentro del proyecto Life STO3RE.

En tercer lugar, agradecer especialmente a Lucia, mi "jefa", por la actitud desinteresada de ayudarme en todo momento, siempre con una sonrisa en la cara. A ella y a las demás compañeras del laboratorio, Carmen, Mª Carmen y Lola, agradecerles el haberme acogido en el grupo de la manera que lo han hecho, ayudándome en todo lo que necesitaba, aclarándome cualquier duda, aguantándome cuando me he puesto pesado y permitiéndome compartir momentos muy agradables con ellas.

En cuarto lugar, a mi familia. A ellos les agradezco el esfuerzo que han hecho para que pudiese estudiar lo que quisiese a lo largo de mi vida y permitirme poder haber estudiado el máster que quería y disfrutar de una experiencia nueva e inolvidable. A Diana, gracias por acompañarme en estos últimos años, apoyándome en todo momento.

Por último, a mis amigos, a los de siempre, pero también a los que acaban de llegar hace cuestión de meses. A todos, gracias por estar en mi vida, soy lo que soy en parte a lo que todos vosotros me aportáis.

Índice

1. Introducción....1

1.1 El suelo....1

1.2.1. Calidad del suelo....2

1.2. Valorización de residuos orgánicos: Una obligación ambiental....3

1.2.1. Calidad de los residuos orgánicos....4

1.3 Residuos orgánicos potencialmente valorizables....4

1.3.1. Lodos de depuración....4

1.3.2. Residuos orgánicos de origen animal: Deyecciones ganaderas....6

1.3.2. Tratamiento de residuos orgánicos: procesos de biometanización....6

1.4. Proyecto Life STO3RE: en busca de nuevas soluciones a la gestión de los residuos orgánicos. .7

2. Objetivos....10

3. Materiales y métodos....11

3.1. Ensayo previo (*preliminar; datos no mostrados en este estudio*)....11

3.2. Suelos y enmiendas utilizadas....12

3.3. Muestreo de suelos....15

3.4. Metodología....16

3.4.1. Parámetros físico-químicos....16

3.4.2. Parámetros microbiológicos....18

3.5. Análisis estadístico....22

4. Resultados y discusión....23

4.1. Parámetros agronómicos....23

4.1.1. pH del suelo....23

4.1.2. Densidad y capacidad de retención hídrica (CRH) del suelo....23

4.1.3. Carbono en el suelo....24

4.1.4. Nitrógeno en el suelo: nitrógeno total (Ntotal) e hidrosoluble (Nhidr)....27

4.1.5. Otros nutrientes....29

4.2 Parámetros ambientales....31

4.2.1. Conductividad eléctrica del suelo....31

4.2.2. Microorganismos patógenos....32

4.2.3. Aniones....33

4.2.4. Metales pesados....36

4.3. Parámetros relativos a la actividad microbiana....37

4.3.1. Actividad enzimática....37

4.3.2. Respiración basal del suelo....43

5. Conclusiones. 45
6. Bibliografía. 47
Anexos i

RESUMEN

Los residuos orgánicos (lodos de depuración y purín de cerdo) son una preocupación para la sociedad actual y su valorización en el suelo como enmiendas orgánicas, se revela como un interesante método de gestión. Esta investigación persigue valorar la eficiencia de nuevos procesos de biometanización de residuos orgánicos (proyecto Life STO3RE) para alcanzar la higienización y eliminación de los contaminantes emergentes en las enmiendas orgánicas.

El experimento ha consistido en la aplicación de tres enmiendas: un biosólido obtenido por un método de digestión convencional, otro obtenido en el nuevo proceso de biometanización y una mezcla de lodos EDAR y purín de cerdo sin tratar. Las enmiendas orgánicas se adicionaron a dos dosis (170 y 250 kg N ha^{-1}) en tres cultivos: cardo y almendro en edad joven y adulta. Los efectos de estas aplicaciones en las propiedades del suelo fueron medidos en un instante inicial y al cabo de tres meses.

En comparación con el suelo no enmendado, los materiales orgánicos empleados presentan un importante poder fertilizante tras su aplicación sobre el suelo. Se registra un incremento significativo del contenido de las fracciones lábiles de C y N en el suelo y de la actividad microbiana del suelo (actividad enzimática y respiración basal del suelo). Simultáneamente, el método alternativo de biometanización consigue reducir el contenido en contaminantes emergentes y eliminar los patógenos del material orgánico obtenido respecto a las otras dos enmiendas.

Los resultados de la investigación sugieren que el biosólido STO3RE puede ser aplicado en suelos agrícolas con un mejor nivel de calidad respecto a otros digeridos, disminuyendo los efectos perjudiciales para el medio ambiente.

ABSTRACT

Organic wastes (sewage sludge and pig slurry) are a concern for the current society and their valorization as organic amendments for agricultural soils is desirable. The aim of this study is to assess the efficiency of new biomethanation process for organic wastes (Life STO3RE project) in order to eliminate emerging contaminants and sterilize the organic amendments.

The research consisted in the application of three organic amendments to soil: a biosolid resulting from a conventional digestion process, another one resulting from a new biomethanation process and finally, a fresh mixture consisting of sewage sludge and pig slurry without treatment. Organic amendments were added in two different doses (170 and 250 kg N ha^{-1}) to three different crops: thistle (*Cynara cardunculus*) and youth and adulthood almond tree (*Prunus dulcis*). The effects of these applications on soil properties were monitored at the beginning and after three months.

The organic materials utilized show an important fertilizing capacity after its addition to soil compare with the non-amended soils. A significative increase of the C and N labile fractions soil contents and soil microbial activity (enzyme activities and basal soil respiration) was register. At the same time, the alternative biomethanation process achieved the reduction of emerging contaminants and the elimination of pathogens from the organic material obtained in comparison to the other organic amendments utilized in this study.

The results of this research suggest that STO3RE biosolid has a better-quality in relation to other biosolids that resulted from a conventional digestion process. On the other hand, STO3RE biosolid can be successfully applied in agricultural soils decreasing harmful environmental effects.

I – Siglas.

ANOVA	*análisis de las varianzas*
AR	*aguas residuales*
BSR	*respiración basal del suelo*
CEBAS-CSIC	*Centro de Edafología Aplicada del Segura – Consejo Superior de Investigaciones Científicas*
CE	*conductividad eléctrica*
COhidr	*carbono orgánico total hidrosoluble*
Corg	*carbono orgánico*
CRH	*capacidad de retención hídrica*
Csh	*carbono de las sustancias húmicas*
Ctotal	*carbono total*
d1	*dosis 1, equivalente a 170 kg n ha-1*
d2	*dosis 2, equivalente a 250 kg n ha-1*
DC	*digerido convencional*
DS	*digerido STO3RE*
EDAR	*estación depuradora de aguas residuales*
fr.a.	*franco arcillosa*
fr.a.A	*franco arcillo arenosa*
GEI	*gases de efecto invernadero*
ICP – OES	*espectrometría óptica de emisión*
ISO	*International Organization for Standardization*
M	*mezcla de lodos de depuradora y purín de cerdo 1:1*
m.f.	*materia fresca*
MO	*materia orgánica*
MUB	*tampón universal modificado*
Nhidr	*nitrógeno hidrosoluble*
Ntotal	*nitrógeno total*
OMP	*microcontaminantes orgánicos*
PPCP	*fármacos y productos de cuidado personal*
SH	*sustancias húmicas*
sms	*sobre materia seca*
STO3RE	*Synergic TPAD and O3 process in WWTPs for Resource Efficient waste management*
text	*textura*
TPAD	*digestión anaerobia en doble fase de temperatura*
Vis-UV	*visible-ultra violeta*

1. Introducción.

1.1 El suelo.

Una de las características de algunos componentes de la naturaleza es la complejidad que encontramos a la hora de explicarlos en un enunciado de manera clara y concisa, es decir, la dificultad a la hora de definirlos. Y esto es justamente lo que ocurre con el ***suelo***, debido en gran parte a su carácter multifuncional (Certini y Ugolini, 2012), el cual ocasiona la aparición de diversas definiciones que dependen del punto de vista desde el que se elaboran y que se complementan entre ellas, enriqueciendo el término ***suelo***.

Numerosos autores han intentado dar una definición definitiva, sin lograrlo finalmente. A pesar de esto, se podría definir al suelo como "un cuerpo natural que comprende a sólidos (minerales y materia orgánica, MO), líquidos y gases que ocurren en la superficie de las tierras, que ocupa un espacio y que se caracteriza por uno o ambos de los siguientes: horizontes o capas que se distinguen del material inicial como resultado de adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia o por la habilidad de soportar plantas en un ambiente natural" (Soil Survey Staff, 1999).

El carácter multifuncional al que se refiere anteriormente, ha sido ampliamente estudiado y descrito. Las principales funciones que realiza el suelo vienen resumidas en la siguiente tabla.

Tabla 1.1. Funciones del suelo (Porta, 2008**).**

Funciones del suelo
Producción de biomasa.
Mantenimiento y mejora de las aguas que lo atraviesan.
Regulación del ciclo hidrológico.
Transformación de las sustancias que reciba.
Fijación de gases de efecto invernadero (GEI).
Regulación del microclima.
Hábitat biológico y reserva genética, al ser un medio poroso.
Soporte físico de actividades humanas.
Fuente de materias primas.
Mantenimiento del paisaje.
Protección de restos arqueológicos.
Fuente de información geológica y geomorfológica.

La multifuncionalidad de los suelos depende de la variabilidad espacial y se ha de tener muy en cuenta al entorno en el cual se localizan unos determinados suelos para estudiarlos desde una determinada función. La sociedad ha de dejar atrás esa única visión del suelo como productor de alimentos y fibras. El suelo es más que eso, es un importante componente de la biosfera terrestre.

Para que un suelo pueda llevar a cabo su función, sea esta cualquiera de las anteriores, ha de tener unas características óptimas, es decir, ha de gozar de una calidad tal que le permita desarrollar dicha función de forma idónea y con un máximo rendimiento y aprovechamiento. Por tanto, es indispensable para la sociedad actual la protección y conservación del suelo, recurso natural que cubre una función básica para nuestra vida.

Las actuaciones por parte de diversas administraciones y organismos a todos los niveles, han ido encaminadas siempre a legislar la protección ambiental fijándose siempre en la calidad del aire o del agua y dejando en un segundo plano al suelo, a pesar de que necesita ser protegido y cuidado para no degradarse y perderse. Así pues, ante la pregunta ¿es realmente necesario legislar sobre la protección y conservación del suelo?, se ha de responder afirmativamente. No podemos permitir que la ausencia de esta legislación acabe con el suelo. Ni la sociedad ni el medio ambiente pueden consentir perder una parte de la naturaleza que desempeña tal cantidad de funciones (y de tal importancia). De este modo es necesaria la actuación en materia de protección de la calidad del suelo.

1.2.1. Calidad del suelo.

De esta forma, la Real Academia Española (RAE) en su Diccionario de la Lengua Española, define ***calidad*** como una "propiedad o conjunto de propiedades inherentes a algo, que permiten juzgar su valor" y "adecuación de un producto o servicio a las características especificadas".

En el mundo de las ciencias del suelo, han sido varias las definiciones que se han dado sobre la calidad del suelo. Lejos de intentar crear un debate sobre la definición más ajustada a la realidad o no, una definición aceptable sería la expresada por la Sociedad Americana de Ciencias del Suelo (en inglés, SSSA), que entiende por ***calidad del suelo*** "la capacidad de un tipo específico de suelo para funcionar, dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, para sustentar la producción vegetal y animal, mantener o mejorar la calidad del agua y aire, y soportar la salud humana y su hábitat" (Karlen et al., 1997).

La calidad del suelo está muy relacionada con algunas de las propiedades intrínsecas (de carácter físico, químico o biológico) al mismo, como pueden ser: la estructura, el valor del pH, presencia y niveles de los distintos nutrientes en el suelo, contenido de materia orgánica, masa microbiana del suelo y muchas otras.

1.2.1.1. Indicadores de calidad.

Así pues, para la evaluación de la calidad de un suelo es necesario proveernos de herramientas que nos aporten información sobre determinados fenómenos que ocurren en la naturaleza y que, a partir de ellas, podamos discutir y decidir la manera de actuar. Estas herramientas son los indicadores (Porta et al., 2008).

La elección de los indicadores de calidad para un suelo dependerá en gran medida de las características de éste, del entorno donde se localiza, del uso del suelo, de la climatología de la zona, etc. No existe un determinado número de indicadores, fijo y común a todos, para determinar la calidad de un suelo, pues los suelos son muy variados y tienen muchos usos y funciones, como ya se ha comentado anteriormente.

En el caso de los suelos, son indicadores de su calidad varios parámetros de carácter físico, químico y biológico. Los suelos de las regiones semiáridas del sureste de España muestran unos pobres contenidos en materia orgánica. Además, la intensa actividad agrícola de estas zonas ha potenciado la carencia de materia orgánica de estos suelos y esto ha conducido a la disminución de su fertilidad (García et al., 1994).

Uno de los mejores indicadores de calidad para estos suelos son los del tipo biológico, es decir, la actividad biótica en el suelo, diferentes procesos de índole biológica que se

desarrollan en el suelo y se evalúan mediante la determinación de una serie de parámetros, como pueden ser la respiración basal del suelo (en inglés, BSR), la biomasa microbiana y la actividad enzimática. De todos ellos, la actividad enzimática se muestra como el indicador más útil al ser el más sensible ante los cambios que se producen en el suelo, entre ellos, los relacionados con el contenido de materia orgánica (Bastida et al., 2006 y García et al., 1994).

Las actividades enzimáticas son catálisis biológicas de procesos esenciales y vitales para los organismos en general (Bastida et al., 2006) y de entre todas las enzimas, como comenta García et al. (1994), es interesante estudiar el comportamiento de aquellas hidrolasas, o enzimas de clase 3, por su fuerte relación con los ciclos de algunos de los nutrientes más importantes, como son el N (***ureasa***), P (***fosfatasa***) y C (***β-glucosidasa***). Conocer este comportamiento nos señala la disposición del suelo para alcanzar o mantener su fertilidad.

1.2. Valorización de residuos orgánicos: Una obligación ambiental.

La sociedad se ha acostumbrado a vivir en un modelo de desarrollo donde no se piensan las consecuencias que puede acarrear en un futuro. Esta dinámica está cambiando actualmente y tendemos cada vez más, hacia un modelo de desarrollo sostenible. En este plano, la Comisión Europea propuso en 2016 un ambicioso programa sobre ***Economía Circular***, con el objetivo de alcanzar un aprovechamiento sostenible y eficaz de los recursos mediante el alargamiento del ciclo de vida de los productos (Comisión Europea, 2016).

El actual esquema que rige nuestra sociedad hace imposible por el momento alcanzar el ***residuo cero***, por lo que es necesario plantear la reutilización y el aprovechamiento de estos residuos. De todos ellos, los residuos orgánicos son importantes por su procedencia diversa (residuos sólidos urbanos, lodos de depuración, deyecciones ganaderas, residuos de la actividad agrícola o agroalimentaria, etc.) y porque se generan en grandes cantidades y de formar continuada en el tiempo.

Es indispensable plantear una gestión de los mismos que evite los problemas que estos generan (malos olores, focos de infecciones, etc.) y, a la vez, reporte un beneficio en el medio ambiente y el entorno. Esta gestión es su puesta en valor como aporte para los suelos agrícolas. Pero, ahora bien, su valorización no debe realizarse a cualquier precio, sino que debe garantizarse el menor riesgo posible para los ecosistemas implicados.

En este contexto entra en juego la investigación científica, que con su aporte de conocimientos consigue hacer viable la valorización de los residuos dentro de una economía saludable y activa, ligada a los mismos, capaz de generar puestos de trabajo dentro de una perspectiva social y ambientalmente correcta. Un ejemplo de ello sería la producción de enmiendas o fertilizantes para la agricultura y la obtención de energía a través de procesos de biometanización a partir de ciertos residuos orgánicos.

En la actualidad, existe una situación de caos en la gestión y valorización de estos residuos a nivel europeo, nacional y autonómico a causa la disparidad de criterios tanto entre países como entre comunidades autónomas, que complica e imposibilita alcanzar la correcta gestión de todos los residuos, lo que sería deseable, y podríamos decir que obligatorio. Si conseguimos tal objetivo, podremos tener una sana economía a partir de los residuos orgánicos, sostenible, con futuro y generadora de riqueza y trabajo. Si no, podríamos tener serios problemas ambientales.

1.2.1. Calidad de los residuos orgánicos

Un detalle importante a la hora de valorizar los residuos orgánicos, para que sean unas perfectas enmiendas orgánicas (aumentando su fertilidad y productividad) para los suelos de zonas de climas áridos y semiáridos, es la calidad de los mismos. Ya existe una legislación al respecto, de estricto cumplimiento, pero sería interesante avanzar un poco más lejos de la mencionada legislación para conocer las verdaderas posibilidades de valorizar como enmiendas orgánicas algunos residuos orgánicos.

En general, los residuos orgánicos cuentan con características que hacen favorable su transformación en enmiendas agrícolas (alto contenido de materia orgánica, importante presencia de nutrientes esenciales, etc.). Pero también hay otras que son desfavorables, como los problemas derivados de su contenido en sales, el elevado contenido en nutrientes solubles como los nitratos (y capacidad potencial de producir eutrofización de masas de agua), y la presencia de metales pesados. También interesa tener presente la estabilidad de la materia orgánica que se adiciona (cuanto más estable sea, más carbono puede ser fijado en el suelo y más favorece la fertilidad edáfica del mismo).

Aun así, hay dos aspectos claves relacionados con la calidad de los materiales orgánicos, a los que se debe prestar atención para usarlos como enmiendas para los suelos agrícolas: la ***higienización*** de dichos residuos (que soportan una importante carga de patógenos, como *Escherichia Coli* y *Salmonella spp.*, de forma natural) y la presencia de ***contaminantes emergentes*** o ***microcontaminantes orgánicos*** (en inglés, OMP), que son "una amplia selección de sustancias, tanto de carácter antropogénico como natural. Esto incluye fármacos y productos de cuidado personal (PPCP), plaguicidas, hormonas y muchos otros compuestos emergentes. Los microcontaminantes están comúnmente presentes en agua en forma de trazas, oscilando desde unos pocos ng/L hasta varios µg/L" (Luo et al., 2014), y que pueden llegar hasta algunos de los residuos orgánicos que pueden ser usados como enmiendas orgánicas al suelo, tales como lodos de depuración o estiércoles como los purines de cerdo. Este tipo de OMP hay que intentar eliminarlos o disminuirlos a valores no problemáticos; sobre estos aspectos, aún hoy en día hay un elevado desconocimiento y controversia, pero sin duda es de interés tenerlos presentes, e intentar su eliminación.

1.3 Residuos orgánicos potencialmente valorizables.

Del total de residuos orgánicos que se generan en la sociedad actual, la mayor parte de estos la conforman los derivados del tratamiento de aguas residuales (AR), los conocidos como ***lodos de depuración*** o ***lodos EDAR*** y los que se producen en las explotaciones ganaderas, y que son el conjunto de las excreciones animales, las ***deyecciones ganaderas***. Si bien estos dos son de los residuos más importantes, no se debe pasar por alto la presencia, cada vez mayor, de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos debido a la implantación de sistemas de recogida selectiva de residuos en los núcleos de población. Estos residuos orgánicos se utilizan para la elaboración de compost.

1.3.1. Lodos de depuración.

1.3.1.1. Estado actual y características.

La tendencia actual en la evolución demográfica del mundo es la de un aumento importante de la población año tras año. De hecho, el Departamento de Economía y Asuntos

Sociales de la Organización de Naciones Unidas (UNDESA), en un informe publicado en 2017, revela la actual previsión de crecimiento poblacional para las próximas décadas. En él, este organismo prevé un incremento, respecto a 2016, de un 13% para el año 2030 y de un 30% para el año 2050, es decir, 8.551 y 9.772 millones de personas respectivamente, con una tasa de incremento interanual de alrededor de 80 millones de personas (UNDESA, 2017).

El comportamiento demográfico unido al comportamiento de la sociedad actual en cuanto a la producción de residuos se refiere, nos sitúa en una situación problemática en cuanto a su gestión ambiental. En España se observa un aumento considerable en la producción de lodos de depuración. Entre 2010 y 2012 se produjo un incremento de un 128%, llegando a superar los 1,9 millones de toneladas de materia seca (m.s.). (EUROSTAT, 2014).

Este rápido auge en la producción tiene su explicación en la iniciativa legislativa que determinó unos plazos para que toda aglomeración urbana dispusiera de sistemas de recolección de AR y que éstas fuesen objeto de un tratamiento previo a su vertido (Dir. 1991/271 del Consejo, de 21 de mayo de 1991).

Se considerarán ***lodos tratados*** una vez hayan sido sometidos a un tratamiento por vía biológica, química o térmica, mediante almacenamiento a largo plazo o por cualquier otro procedimiento apropiado, de manera que se reduzca, de manera significativa, su poder de fermentación y los inconvenientes sanitarios de su utilización (Dir. 1986/278 del Consejo, de 12 de junio de 1986).

Existe un progresivo interés en la sociedad actual ante la gestión ambiental de los lodos tratados debido a la carga contaminante que presentan, principalmente metales pesados y OMPs. Como respuesta, la legislación introduce la obligatoriedad de realizar analíticas a los lodos, pero sólo considerando los metales pesados (Dir. 1986/278 del Consejo, de 12 de junio de 1986). En el caso de los OMP, no existe una posición común entre los diferentes organismos políticos acerca de ellos, lo que da lugar a un vacío legislativo en relación a su regulación (Luo et al., 2014; González-Gil et al., 2016) y los avances en su caracterización y cuantificación se hacen indispensables para elaborar futuras estrategias de eliminación.

La presencia de OMPs en lodos depende de la carga contaminante de las AR y del carácter fisicoquímico de los mismos (Carballa et al., 2008), en particular de su constante de distribución (Kd). La presencia de OMPs puede provocar efectos negativos en entornos acuáticos y problemas de salud pública a causa de la aparición de posibles resistencias en determinadas bacterias del suelo que pueden llegar al organismo por medio de la ingesta de alimentos (Barron et al., 2010; Luo et al., 2014).

1.3.1.2. Reutilización de lodos: hacia un aprovechamiento agronómico.

Desde instancias europeas se fomenta el reciclado de los lodos, principalmente como biosólidos, al implicar un doble beneficio, agrario y ambiental, al aportarse a suelos que muestran descensos acelerados de su contenido orgánico y al no reportar alteraciones notables en el ecosistema (RD 1310/1990, de 1 de noviembre). De hecho, algunos estudios apuntan en esta dirección y revelan que los biosólidos gozan cada vez de una mayor popularidad (Chen et al., 2008) Ejemplo de esto es que, en 2012, España se mostró como el primer país europeo en reutilización de lodos en este ámbito, con casi un 70% del total producido (EUROSTAT, 2014).

Según la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los EE.UU., se entiende por ***biosólido*** aquel material orgánico primario obtenido en el proceso de tratamiento de AR, que puede ser utilizado para obtener algún uso beneficioso (USEPA, 2000).

Aparte de suponer un aporte orgánico, los biosólidos se manifiestan como un estupendo fertilizante orgánico que, al contrario de los fertilizantes minerales, es de lenta liberación, dependiendo del proceso de mineralización, y sólo una pequeña proporción está en forma hidrosoluble, atenuándose el lavado de los nutrientes, nitratos principalmente, a las aguas superficiales y subsuperficiales (USEPA, 2000). Para evitar la contaminación de aguas, la administración europea elaboró la Directiva Nitratos (Dir. 91/676 del Consejo, de 31 de diciembre de 1991), que tenía por objetivos la eliminación de la contaminación y la prevención en zonas en riesgo.

1.3.2. Residuos orgánicos de origen animal: Deyecciones ganaderas.

Al igual que con los lodos de depuración, la elevada producción de deyecciones ganaderas, mayoritariamente purín de cerdo, en las explotaciones ganaderas supone un problema de gestión. El elevado contenido en nitrógeno, elemento esencial en el suelo relacionado con un correcto crecimiento y desarrollo de los cultivos hace necesario su puesta en valor y que se tienda a aplicar las deyecciones en las explotaciones agrícolas próximas a las instalaciones de las que salen.

Pero como cualquier otro residuo, éste debe mostrar unas condiciones óptimas para poder ser valorizado en el suelo y estas son equivalentes a las de otros residuos: higienización del purín, concentraciones no peligrosas de OMP, bajos contenidos en nutrientes en forma hidrosoluble (p. ej., nitratos) que no puedan producir episodios de contaminación de masas de agua subsuperficial o superficial, posibilitando la aparición de procesos de eutrofización.

La aplicación de deyecciones ganaderas está legislada a nivel comunitario, mediante la Directiva Nitratos (Dir. 91/676 del Consejo, de 31 de diciembre de 1991), a nivel estatal mediante la transposición de dicha directiva que se plasma en el RD 261/1996 y a nivel autonómico con el objetivo de evitar cualquier contaminación del medio acuático.

Del mismo modo que con cualquier otro residuo, se ha de dar un paso más allá de la legislación actual, pensando en que las actualizaciones de la legislación son cada vez más restrictivas, e intentar obtener una transformado proveniente del purín que tenga una mejor calidad para poder ser aplicado en el suelo con mejores garantías que las actuales.

1.3.2. Tratamiento de residuos orgánicos: procesos de biometanización.

Una opción de tratamiento para los residuos orgánicos que se generan a consecuencia de las distintas actividades que tienen lugar a en la sociedad (lodos de depuración y deyecciones ganaderas, entre otros) es la aplicación de un tratamiento de biometanización.

El proceso de ***biometanización*** o ***digestión anaerobia*** consiste en "un proceso biológico que, en ausencia de oxígeno y a lo largo de varias etapas en las que intervienen una población heterogénea de microorganismos, permite transformar la fracción más degradable de la materia orgánica en biogás, una mezcla de gases formada principalmente por CH_4 y CO_2 y por otros gases en menor proporción" (MAPAMA, 2018).

El objetivo de este proceso de biometanización es la obtención de CH_4 para su posterior aprovechamiento como fuente de energía secundaria al ser un gas con unas características

combustibles ideales. Además, el proceso de digestión anaerobia produce al mismo tiempo una disminución del volumen de residuo, facilitando la gestión posterior.

1.4. Proyecto Life STO3RE: en busca de nuevas soluciones a la gestión de los residuos orgánicos.

La problemática que rodea a los residuos orgánicos ha dado lugar al desarrollo de una investigación científica en relación a ésta y a un importante número de proyectos de investigación que tratan este tema y buscan proponer soluciones para atajarlo de aquí en adelante. Uno de esos proyectos, dentro del cual se enmarca el presente Trabajo Final de Máster, es el proyecto STO3RE. Este es un proyecto Life, cofinanciado por la Unión Europea y en el que participan una serie de empresas, de capital público o privado, y centros de investigación, que son:

- Sociedad de Fomento Agrícola Castellonense S.A. (FACSA). ***Coordinador***.
- Asociación de Investigación de la Industria Agroalimentaria (AINIA).
- Agencia Estatal del Consejo Superior de Investigación Científicas – Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CSIC-CEBAS).
- Entidad Regional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de la Región de Murcia (ESAMUR).
- Investigación y Proyectos Medio Ambiente S.L. (IMPROMA).

El nombre del proyecto es el acrónimo de "***Synergic TPAD and O_3 process in WWTPs for Resource Efficient waste management***" y se basa en la utilización de una novedosa tecnología con la que aportar una salida al problema que supone la continua generación de residuos como los lodos EDAR o los purines de cerdo y su posterior gestión. Buscando conseguir, además, una serie de beneficios.

El proyecto propone un tratamiento conjunto de los lodos de depuración y de las deyecciones ganaderas para una posterior gestión ambiental. Está pensado para zonas rurales, donde la presencia del sector primario es importante y se dispone tanto de residuos provenientes de la actividad ganadera como de zonas agrícolas en las que revalorizar estos residuos; pues se quiere gestionar los residuos tratados como un biosólido para los agricultores de la zona.

Sin embargo, esa no es más que una consecuencia secundaria del proyecto, puesto que la intención con la que nace es la limitación de la contaminación de masas de aguas por la utilización de nitratos (NO_3^-) en agricultura, complaciendo de este modo la Directiva Nitratos (Dir. 91/676 del Consejo, de 31 de diciembre de 1991), y para ello se pretende reducir el volumen de residuo generado, haciéndolo a la vez más higiénico, tanto biológicamente como químicamente, pensando en legislaciones futuras sobre microcontaminantes y patógenos, que no se consideran en las legislaciones actuales; y generando energía eléctrica a partir del metano (CH_4) producido en el tratamiento.

El punto fuerte del proyecto se encuentra en la combinación de la digestión anaerobia en doble fase de temperatura (TPAD), que consta de dos digestores (un termófilo seguido de

SINERGIA ENTRE LOS PROCESOS DE DIGESTIÓN ANAEROBIA EN DOBLE FASE DE TEMPERATURA Y OZONIZACIÓN EN EDARs PARA UNA GESTIÓN DE RESIDUOS EFICIENTE

Berlanga-Clavijo J.G.[1], Zuriaga-Agustí E.[1*], Pastor I.[1], Abellán M.[2], Simón P.[2], Aranda J.L.[3], Solís I.[3], Silvestre G.[4], Claros J.[4], García C.[5], Piñera I.[5]

[1] FACSA, C/ Mayor, 82-84, 12001 Castellón, e-mail: ezuriaga@grupogimeno.com
[2] ESAMUR, Entidad de Saneamiento de la Región de Murcia
[3] IPROMA, Cno. de la Raya, 46, 12006 Castellón
[4] AINIA, Parque tecnológico de Valencia C/ Benjamin Franklin, 5-11, 46980 Paterna
[5] CEBAS-CSIC, Campus Universitario de Espinardo, 30100 Espinardo (Murcia)

Proyecto

LIFE STO3RE es un proyecto europeo de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i), enmarcado dentro de la convocatoria LIFE 2014, con un presupuesto total de 1.957.874 €. El proyecto, de carácter demostrativo, tiene una duración de 40 meses, empezando en Septiembre de 2015 y finalizando en diciembre de 2018.

El principal objetivo del proyecto LIFE STO3RE es proteger el medio acuático de la contaminación causada por los nitratos, microorganismos patógenos y microcontaminantes orgánicos procedentes de fangos de estaciones depuradoras de aguas residuales (EDARs) y de residuos ganaderos, así como también desarrollar un modelo de gestión conjunta de lodos producidos en EDARs, de pequeño y mediano tamaño, y purines de granjas.

La tecnología que se va a aplicar consiste en la combinación de digestión anaerobia en doble fase de temperatura (digestor termófilo seguido de digestor mesófilo), junto con oxidación mediante adición de ozono y cavitación hidrodinámica. El objetivo de este proceso, es separar las principales fases de la digestión anaerobia, para maximizar la producción de biogás. La ozonización y la cavitación hidrodinámica se aplicarán como pre y post-tratamiento del co-sustrato con el triple objetivo de reducir los microcontaminantes, contenido en patógenos y aumentar la producción del biogás.

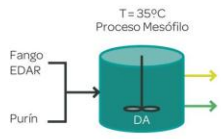


Fig.1 - Proceso de Digestión Anaerobia CONVENCIONAL

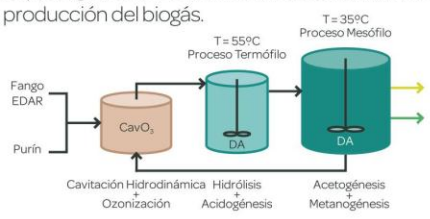
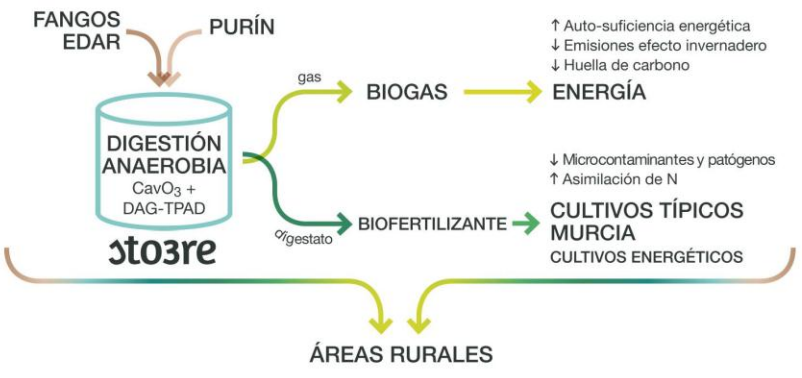


Fig.2 - Proceso de Digestión Anaerobia STO3RE

De este sistema se obtendrá, por un lado, un biofertilizante de alta calidad que cumpla con las nuevas normativas legales destinadas a la aplicación de lodos en agricultura (baja carga en patógenos y microcontaminantes orgánicos) y por otro, biogás para autoabastecer energéticamente el sistema de co-digestión mancomunado de fangos y purines.



LIFE STO3RE está pensando para áreas rurales en las que un sistema centralizado de la gestión del fango de pequeñas estaciones depuradoras y de residuos ricos en nitrógeno como es el purín, reducirá los costes de inversión y explotación. La planta demostrativa se ubicará en la EDAR de Totana y se gestionarán lodos de 6 EDARs y purines de 5 granjas cercanas.

Objetivos específicos

- Reducir el impacto de los purines y de los fangos de depuradora en las aguas superficiales y acuíferos.
- Reducir la huella de carbono y las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por el almacenamiento de purines.
- Diseñar un modelo de gestión conjunta de lodos y residuos con alto contenido en N para áreas rurales, con el fin de reducir costes de inversión y operación.
- Maximizar la producción de biogás por el efecto de la digestión en doble fase de temperatura, la cavitación hidrodinámica y la ozonización.
- Garantizar un biofertilizante de calidad que cumpla con las nuevas normativas legales destinadas a la aplicación de lodos en agricultura.
- Estudiar el efecto del biofertilizante obtenido en cultivos del entorno.

Participantes en el proyecto

LIFE STO3RE se está llevando a cabo por el consorcio formado por 5 socios españoles del entorno científico, público y privado:

FACSA (Sociedad de Fomento Agrícola Castellonense SA), ESAMUR (Entidad Regional de Saneamiento y Depuración de aguas residuales de la Región de Murcia), IPROMA (Investigación y Proyectos Medio Ambiente SL), AINIA (Asociación de Investigación de la Industria Agroalimentaria), y CEBAS-CSIC (Agencia Estatal Consejo Superior de Investigaciones Científicas).

El proyecto, de carácter demostrativo, está cofinanciado por el programa LIFE de la Comisión Europea. Grant Agreement número LIFE/14ENV/ES/000150.

sto3re Synergic TPAD and O3 process in WWTPs for Resource Efficient waste management

Figura 3.1. Póster del proyecto LIFE STO3RE – Synergic TPAD and O3 process in WWTPs for Resource Efficient waste management.

un mesófilo), junto con un proceso de oxidación mediante ozono y cavitación. Esta última parte del proceso se añade con el propósito de hidrolizar los lodos y las deyecciones ganaderas a introducir en el proceso de codigestión. Se aplicará como pre-tratamiento. El objetivo claro e inmediato es higienizar los residuos orgánicos en lo que a microorganismos patógenos se refiere, así como eliminar o disminuir de manera elevada, ciertos OMPs derivados de residuos farmacéuticos o industriales, que llegan tanto a los lodos de depuración como a las deyecciones ganaderas.

De este proyecto se espera obtener unos materiales orgánicos (digeridos) de una calidad diferenciable de los hasta ahora obtenidos por métodos de digestión convencionales. Se decidió implementar el sistema en la Estación de Depuración de Aguas Residuales (EDAR) del municipio de Totana (Región de Murcia) y nutrirlo de los lodos de 6 EDAR de municipios cercanos y de 5 pequeñas granjas de alrededor.

2. Objetivos.

En consecuencia, tras todo lo anteriormente expuesto en este y en el anterior apartado, el presente Trabajo Final de Máster nace con la intención de alcanzar una serie de ***objetivos***, uno de carácter general y tres de carácter específico, que son:

Objetivo general:

- Estudiar y valorar de manera agronómica los digeridos procedentes de una mezcla de lodos de depuración y purín de cerdo, sometiendo ésta a un tratamiento previo de cavitación y ozonización, seguido de una digestión anaerobia en dos fases de temperatura, TPAD (la primera a 55ºC y la segunda a 35ºC). El digerido resultante debe ser un residuo orgánico higiénico con escasa carga de contaminantes emergentes (una buena parte de ellos se eliminan en el proceso mencionado anteriormente), y con capacidad agronómica para favorecer la fertilidad de los suelos; ello permitirá valorizar como enmienda orgánica en suelos de clima semiárido, este tipo de digeridos.

Objetivos específicos:

- Estudio comparativo entre el digerido objeto de estudio (pretratamiento y doble digestión, a 55 y 35ºC respectivamente, tratamiento STO3RE), frente a otro digerido obtenido por un método de digestión anaeróbica convencional (a 35ºC), así como con la mezcla sin digerir, en cuanto a su carga contaminante, propiedades nutricionales y propiedades físico-químicas.
- Aplicar los diferentes tratamientos usados en este estudio (dos digeridos: STO3RE y convencional, y una mezcla fresca de residuos orgánicos), a suelos que soportan diferentes cultivos: i) cultivo de cardo, para producción de biomasa energética; ii) cultivo de almendros de diferente edad, como cultivo típico de suelos degradados en ambientes semiáridos; aplicándose estas enmiendas de dos formas distintas. Por un lado, aplicación y homogeneización en el cultivo de cardo y, por otro lado, aplicación en superficie en los cultivos de almendro.
- Evaluar el efecto de los diferentes tratamientos (enmiendas orgánicas) sobre la calidad edáfica de los suelos receptores por medio de la construcción de un amplio set de parámetros de índole agronómica, ambiental y microbianos.

Una vez definidos los objetivos del trabajo, a continuación, se expresa todo el proceso de investigación del mismo, mostrando los resultados obtenidos y las conclusiones que pueden extraer de aquellos.

3. Materiales y métodos.

3.1. Ensayo previo (*preliminar; datos no mostrados en este estudio*).

Con la intención de conocer la viabilidad que puede tener la realización de un ensayo a nivel de campo, para valorizar los digeridos obtenidos con el proyecto STO3RE como enmienda orgánica, se realizó un ensayo previo a pequeña escala, en microcosmos, y en cámara de crecimiento controlado. En contenedores apropiados se colocó una pequeña cantidad de suelo agrícola y se añadieron los respectivos tratamientos (digerido convencional, digerido STO3RE y mezcla fresca de lodo EDAR y de purín de cerdo, a las proporciones (dos dosis diferentes) que se describen más adelante, que se adicionan en el experimento de campo. Para cada tratamiento se realizó una muestra triplicada, por lo que el ensayo constó de 21 recipientes finalmente, 18 suelos tratados y 3 repeticiones del control.

Estas 21 muestras se analizaron a tres tiempos distintos, al inicio, a los 15 días y a los 30 días (t0, t15 y t30), con el objetivo de observar variaciones temporales en las propiedades del suelo y comprender la tendencia de estas variaciones. En nuestro caso, de todas las propiedades medidas, es de nuestro interés el comportamiento del carbono orgánico y del nitrógeno.

Por una parte, en cuanto al C (en peso seco), donde se encuentra la parte mineral inorgánica derivada de carbonatos, junto a la parte orgánica que es minoritaria en estos suelos, no se observan diferencias sustanciales entre tratamientos que permitan trazar tendencias de comportamiento. Sin embargo, en el caso del C orgánico (en peso seco), hay un aumento en los tratamientos con respecto al control, en el punto inicial (los tratamientos orgánicos inducen este aumento); conforme pasa el tiempo, t30, se produce un importante descenso. Cabe destacar que, para el C orgánico total hidrosoluble (la parte más lábil del carbono), en un primer instante (tiempo inicial) el suelo tratado con las dosis elevadas de materiales orgánicos muestra un valor muy por encima de los demás, pero posteriormente, se iguala a los demás valores. Parece claro que se produce ya en un mes, una mineralización del C por parte de los microorganismos, al detectar sustratos carbonados procedentes de los tratamientos orgánicos adicionados.

En este ensayo preliminar, los resultados obtenidos al determinar el N total (en peso seco) no nos permiten determinar una tendencia diferenciadora entre los distintos tratamientos realizados. Ahora bien, en el caso del N total hidrosoluble (en peso seco) sí se pueden trazar diferencias entre tratamientos. Aquellos tratamientos con digeridos dan los mayores valores, sobre todo a su dosis máxima, y se muestra una tendencia de aumento progresiva, lo que plasma que en los suelos tratados se produce una liberación progresiva de esta fracción lábil de nitrógeno y esa tendencia es equivalente para el NO_3^-, que es la forma asimilable por las plantas.

Tras lo expuesto, se aprecia un buen dinamismo en el suelo para las fracciones lábiles de carbono y en particular, para las del nitrógeno. Los cambios son apreciables durante el primer mes de adición al suelo. Estos resultados permiten considerar la posibilidad de que los digeridos estudiados pueden tener un comportamiento como enmienda orgánica para suelos agrícolas, mineralizando una parte de su C y N de manera bastante rápida, consiguiendo así una aceptable valorización agrícola de los residuos orgánicos estudiados por nosotros.

3.2. Suelos y enmiendas utilizadas.

El trabajo de campo se desarrolló en parcelas al aire libre, con orientación NO, ubicadas en la finca experimental del CEBAS-CSIC en La Matanza (Santomera, Región de Murcia), en el sureste de España. La finca se encuentra a una altitud media de 120 m s. n. m. y sus coordenadas medias son 38º06' N y 1º02' W. En general, se trata de un suelo agrícola, poco sobreexplotado debido a que es un suelo muy pobre, tanto en MO como en nutrientes; suelo escasamente fértil (Tabla 3.1). El suelo utilizado en este estudio se clasifica como *Haplic Calcisol* (WRB, 2015).

Los suelos de las parcelas experimentales fueron analizados antes del comienzo de los ensayos para caracterizarlos y analizarlos y con ello poder obtener determinados parámetros de interés. Los suelos utilizados son suelos de texturas medias y cuyas características fisicoquímicas (Tabla 3.1) no distan mucho de unos a otros. Los suelos muestran diferencias en el valor de la CE, donde los suelos con almendro tienen valores muy elevados con respecto al suelo *CARD*. Esto se explica porque los suelos *ALM-J* y *ALM-A* están bajo un sistema de riego durante muchos años y el agua de estas zonas contiene una importante concentración de sales.

Tabla 3.1. Características del suelo antes de aplicar los tratamientos.

	Cardo (CARD)	**Almendro joven (ALM-J)**	**Almendro adulto (ALM-A)**
Arena. g kg^{-1}	516,0	478,0	500,8
Limo. g kg^{-1}	203,0	248,7	232,0
Arcilla. g kg^{-1}	281,0	275,0	267,2
Textura	fr.a.A, text. media	fr.a, text. media.	fr.a., text. media
Humedad. %	2,22	5,16	5,58
pH 1:5	8,55	8,21	8,43
CE 1:5 mS cm^{-1}	0,139	1,890	1,682
Elementos totales. g kg^{-1} (sms)			
Carbono total	86,00	83,20	78,00
Carbono orgánico	19,80	12,50	22,20
COhidr	1,64	1,44	0,69
N	1,60	1,50	2,40
P	0,70	0,70	0,50
K	6,50	7,50	6,70
Ca	220,50	190,70	165,30
Mg	7,50	5,30	5,46
Fe	14,10	15,10	13,30
Na	0,20	1,00	0,76
S	1,16	1,90	1,86
Mn (mg kg^{-1})	301,67	288,01	323,03
Nitratos	0,237	0,126	0,854
Metales pesados. mg kg^{-1} (sms)			
Cd	0,29	0,37	0,243
Cr	29,45	23,44	20,12
Cu	43,50	53,72	46,33
Ni	13,35	-	12,01
Pb	16,52	25,59	21,38
Zn	36,26	-	39,25

De igual forma, hay diferencia en el contenido de NO_3^- en estos suelos, donde el valor para el suelo *ALM-A* es muy superior respecto a los otros dos suelos. La explicación a esta diferencia debe estar en que en el caso de los almendros adultos, estos han sido fertilizados

desde hace mucho tiempo y la causa de esa fertilización se ve reflejada en los valores del contenido de NO_3^-.

Como enmiendas orgánicas aplicadas en los distintos ensayos, se utilizaron una mezcla de lodos de depuración y de purín de cerdo a una proporción 1:1 (M), un digerido de esta mezcla obtenido mediante un proceso de digestión anaerobia convencional (DC) y un digerido de la misma mezcla obtenido mediante un proceso de digestión TPAD junto con un proceso de ozonización y cavitación, digerido STO3RE (DS). Las principales características de las enmiendas orgánicas utilizadas se muestran en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2. Características de las enmiendas orgánicas.

	Mezcla (M)	Digerido convencional (DC)	Digerido STO3RE (DS)
Humedad. %	91,73	93,50	94,09
pH 1:5	7,54	8,145	8,145
CE 1:5 mS cm^{-1}	2,49	2,50	2,54
Elementos totales. g kg^{-1} (sms)			
Carbono total	347,50	308,20	321,00
Carbono orgánico	325,00	281,50	296,00
MO (%)	56,03	48,53	51,03
N	48,40	40,15	38,50
C/N	7,18	7,68	10,33
P	19,60	20,40	21,85
K	16,75	21,70	29,45
Ca	33,75	28,05	31,65
Mg	9,45	10,00	9,50
Fe (mg kg^{-1})	2,99	2,63	3,21
Na	5,55	6,25	8,15
S	9,45	9,00	8,35
Mn (mg kg^{-1})	263,03	246,14	280,77
Metales pesados. mg kg^{-1} (sms)			
Cd	0,89	0,88	0,98
Cr	22,34	20,53	25,19
Cu	280,05	226,69	267,71
Ni	13,91	14,27	16,50
Pb	37,72	32,47	37,74
Zn	2492,39	2429,99	2721

Se observa que el contenido en humedad de las enmiendas orgánicas es elevado, por encima del 90%, algo que se corresponde con este tipo de residuos. El proceso de biometanización al que se somete la mezcla produce un descenso en el contenido de C orgánico y MO en los digeridos a causa de la generación de CH_4 que tiene lugar en la digestión. Además, los digeridos se empobrecen un poco en N, posiblemente debido a su eliminación en forma de amonio durante la digestión, pero no así en otros nutrientes como el P o el K (incluso parece que se concentran algo en los digeridos). No hay diferencia en lo que respecta a los metales pesados en los tratamientos estudiados.

Tabla 3.3. Cantidad de enmienda aportada por dosis de tratamiento.

Tratamiento	Cardo (kg m.f. $parcela^{-1}$)	Cardo (Kg m.f. m^{-2})	Almendro (kg m.f. $árbol^{-1}$)	Almendro (Kg m.f. m^{-2})
M d1	41,44	2,76	11,05	2,76
M d2	60,94	4,06	16,25	4,06
DC d1	70	4.67	19,69	4,92
DC d2	108,63	7,24	28,97	7,24
DS d1	56,16	3,74	15	3,74
DS d2	82,60	5,50	22	5,50

Los cultivos sobre los que se desarrolló este proyecto de investigación fueron 3. Los cultivos elegidos fueron cardo (*Cynara cardunculus*), suelo *CARD*, y almendro (*Prunus dulcis*)

en edad joven, suelo *ALM-J*, y adulta, suelo *ALM-A*, cada uno de ellos en parcelas diferenciadas. La elección de estas especies fue la necesidad de encontrar cultivos propios de la zona, que soportasen perfectamente el cálido clima de la Región de Murcia y pudiesen prosperar en suelos pobres, tanto en MO como en nutrientes, como estos. Además, se pretendía el cultivo de especies vegetales que aporten productos con distinto destino, ya que el cardo puede cultivarse para la producción de biomasa vegetal que puede ser usada *a posteri* y para la obtención de fruto (almendra) en el caso del almendro.

La aplicación de las enmiendas tuvo lugar entre la segunda mitad de julio y la primera mitad de agosto de 2017. La elección de esta fecha tiene la intención de adelantarse a la época de lluvias torrenciales típicas de los meses de septiembre y octubre, asegurándose la instalación de los tratamientos antes de que pudiesen originarse posibles pérdidas del material. Del mismo modo, cuando esas lluvias apareciesen, como el material orgánico ya estaría introducido en el suelo, supondría un mayor movimiento del material debido a la estimulación de los microorganismos con el aumento de la humedad del suelo. Cada enmienda fue aplicada en dos dosis distintas, calculadas en función del aporte de N al suelo. La primera dosis (d1) se calculó para aportar 170 kg N ha^{-1}, el valor máximo de fertilización de N tal y como se refleja en la Directiva Nitratos (Dir. 91/676 del Consejo, de 31 de diciembre de 1991), y la segunda dosis (d2) se calculó para aportar 250 kg N ha^{-1}, con la intención de estudiar las condiciones de una sobrefertilización. Así pues, la cantidad de mezcla (M) o digerido (DC y DS), en materia fresca (m.f.), aplicada por parcela en el ensayo con cardo, y por árbol en el de los almendros se muestra en la Tabla 3.3. En el caso del cultivo de almendro, el reparto de las dosis de enmienda se hizo suponiendo una densidad de 2500 almendros ha^{-1}.

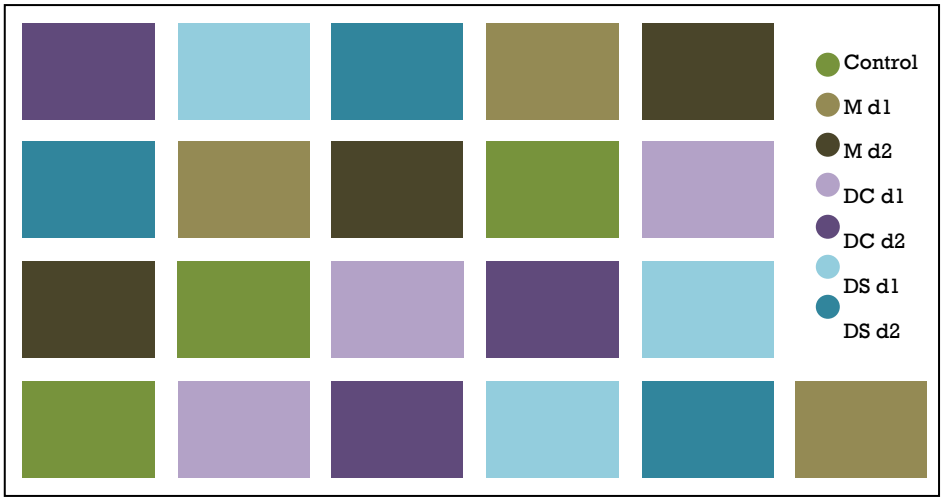


Figura 3.1. Parcela experimental con cardo. Distribución de los tratamientos.

La aplicación de las enmiendas se realizó en superficie para todos los cultivos. En el ensayo con cultivo de cardo, posteriormente se labró el suelo para mezclar y homogeneizar toda la superficie de la parcela. En los cultivos de almendro, la adición se hizo calculando la cantidad por árbol, y se colocó el material orgánico alrededor del dicho árbol, aplicando con sumo cuidado el material orgánico en la superficie del suelo, alrededor del pie del árbol, para que quedase homogéneo. En este caso no se labró después de la aplicación.

Las 3 zonas de actuación se corresponden a los cultivos sobre los que se ha aplicado los diferentes tratamientos con enmiendas orgánicas a dos dosis (6 tratamientos y un control en total) y por triplicado.

Dentro de la parcela experimental para el cultivo del cardo se delimitaron 21 subparcelas de 5 m de largo por 3 m de ancho (15 m^2 de superficie) cada una y separadas entre ellas una distancia de 1 m. Los tratamientos ensayados se repartieron al azar entre la totalidad de subparcelas. (Figura 3.1).

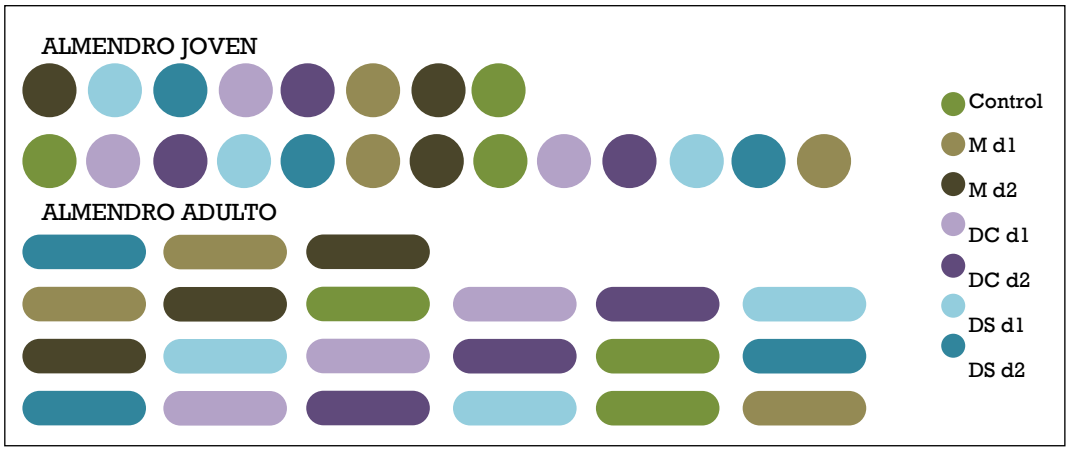


Figura 3.2. Parcelas experimentales con almendro. Distribución de los tratamientos.

En el caso de los ensayos con almendro, se aprovecharon las hileras de almendros ya existentes, lo que permitió la elaboración de 21 conjuntos de 10 árboles, separados por un árbol de distancia entre ellos, para el ensayo con almendros adultos y 21 subconjuntos de 4 árboles para el del almendro joven. La distribución de los tratamientos se realizó al azar entre los conjuntos de árboles. Así pues, la distribución de los tratamientos para los cultivos de almendro quedó como se muestra en la Figura 3.2.

3.3. Muestreo de suelos.

Los suelos de las 3 parcelas experimentales en las que se ha realizado el trabajo de campo se muestrearon una semana después de la aplicación de la enmienda orgánica, designado como tiempo cero, t0, permitiendo de esta manera que el producto aplicado penetrase en el suelo y se secase; y al cabo de 3 meses, t3. Las muestras se obtuvieron de los primeros 15 cm de suelo y son el resultado de la mezcla homogénea de varias submuestras que se cogieron de manera similar para todos los suelos mediante la utilización de una pala de muestreo.

El procedimiento de obtención de las submuestras fue distinto para cada una de las parcelas. Mientras que en las parcelas del ensayo con cardo se cogieron 5 submuestras de distintas zonas elegidas al azar dentro de la parcela, en el caso de los almendros, al estar estos dispuestos en hileras, se obtuvo cogiendo suelo de alrededor de la base del tronco. Por un lado, el muestreo en los almendros jóvenes se realizó cogiendo 2 submuestras de cada grupo de 4 árboles y, por otro lado, en los almendros adultos se cogieron 3 submuestras de cada grupo de 10.

Para cada muestra de suelo se determinaron los siguientes parámetros fisicoquímicos o químicos: pH, CE, densidad, textura, humedad, capacidad de retención hídrica (CRH), C total, C orgánico, N total y sus formas disponibles (nitratos y amonio), macro y micronutrientes, metales pesados, aniones y C de las sustancias húmicas (SH). Con la intención de conocer el tamaño y la actividad de la población microbiana de estos suelos, se realizaron una serie de determinaciones de propiedades biológicas de los mismos, como las que se enumeran a continuación: la respiración microbiana del suelo y la actividad de enzimas hidrolasas involucradas en los ciclos de nutrientes importantes. También se

determinó la presencia de patógenos (*Salmonella spp*, *Escherichia Coli* y *Clostridium*) en los suelos.

Así pues, se obtuvieron 21 muestras representativas para cada uno de los cultivos y a continuación estos suelos fueron homogeneizados y tamizados utilizando un tamiz de luz de 2 mm. Posteriormente, el suelo se conservó a una temperatura de 4ºC hasta la realización de los análisis.

Figura 3.4. Imágenes de las parcelas CARD (a), ALM-J (b) y ALM-A (c) en el instante de aplicación de la enmienda (izquierda) y a los 3 meses de la aplicación (derecha).

3.4. Metodología.

3.4.1. Parámetros físico-químicos.

3.4.1.1. Determinación del pH y conductividad eléctrica (CE) del extracto de suelo.

Para la determinación del pH y la CE se requiere previamente la obtención del extracto de suelo, cuyo procedimiento es el siguiente: en un tubo de polipropileno de 25 ml de volumen se añaden 5 g de muestra de suelo y 25 ml de agua destilada, obteniéndose una dilución 1:5. A continuación, se mantiene en agitación constante durante 2 horas y posteriormente se centrifuga a 15.000 rpm durante 10 minutos. Una vez centrifugado, el extracto líquido se filtra sobre un papel de filtro cuantitativo sin cenizas de 110 mm de diámetro de poro (Hahnemühle. Dassel, Alemania). Después se determina el valor del pH

con un pH-metro pH-Meter GLP21+ (Crison Instruments, Alella, España) y de CE del extracto filtrado usando un conductímetro Crison CM 2200 (Crison Hach Lange, Alella, España).

3.4.1.2. Cálculo de la densidad del suelo.

La densidad del suelo se calcula añadiendo suelo seco a una probeta de 50 ml de volumen, previamente tarada, hasta alcanzar los 20 ml de volumen. Posteriormente se pesa la probeta con el suelo y por diferencia se calcula el peso del suelo. El valor de la densidad viene expresado en g cm^{-3}.

$$d\ (g\ cm^{-3}) = \frac{P\ suelo\ seco}{V\ suelo\ seco}$$

3.4.1.3. Determinación de la textura del suelo.

La determinación textural se realiza tomando una muestra de 40 g de suelo y añadiendo un volumen de 10 ml de peróxido de hidrógeno para destruir los coloides orgánicos. Si es necesario, se añade agua para romper espumas. Se calienta en un baño de agua para destruir la materia orgánica (MO) y el exceso de reactivo que pueda quedar. Una vez eliminada la MO, el suelo se pasa a una botella de 1,5 l, se enrasa a 0.3 l y se añaden 50 ml de disolución dispersante, agitando toda la noche en un agitador rotatorio a 120 rpm.

La suspensión del suelo se vierte en una probeta de 1 l y se agita con ayuda de una varilla durante 1 minuto para que la mezcla quede bien homogeneizada. Tras agitar, se introduce el hidrómetro, realizando la medida a los 40 segundos. Esta medida expresa el contenido de limo y arcilla de la muestra. La misma operación se repite al cabo de 2 horas, proporcionando el contenido de arcilla. Por diferencia entre las dos medidas obtenemos el contenido de limo y por diferencia de la primera medida y 100, el de arena.

A partir de los porcentajes obtenidos para las fracciones arena, limo y arcilla y haciendo uso del triángulo textural propuesto por el USDA (2017), se determinan las clases texturales de cada suelo.

3.4.1.4. Cálculo de la humedad del suelo (%).

La humedad del suelo se calculó pesando una cierta cantidad de suelo en un crisol e introduciéndolo posteriormente en la estufa a una temperatura de 105ºC durante 24 horas. Se anotan los pesos del crisol vacío, lleno de suelo húmedo y lleno de suelo seco.

$$\%Humedad = \frac{P\ suelo\ húmedo - P\ suelo\ seco}{P\ suelo\ húmedo} x100$$

3.4.1.5. Determinación de la capacidad de retención hídrica del suelo (%CRH).

Para el cálculo de la capacidad de retención hídrica, el procedimiento a seguir es el siguiente: en un vaso de polipropileno de 200 ml de volumen, con su base perforada y previamente pesado; se añaden 100 g de muestra de suelo aproximadamente. A continuación, los vasos que contienen la muestra se sitúan en una bandeja con un par de centímetros de agua destilada y se deja que el suelo se empape por capilaridad.

Una vez el suelo está completamente mojado, se pasan a una bandeja con agujeros y se deja drenar el agua sobrante durante un día. A continuación, se procede a pesar el vaso con el suelo húmedo.

$$\%CRH = \frac{P\ muestra\ saturada - P\ muestra\ seca}{P\ muestra\ seca} x100$$

3.4.1.5. Determinación del C total, C orgánico total y N total del suelo.

La determinación del C total, el C orgánico total y del N total se realizó a partir del análisis del pulverizado de suelo en un analizador elemental automático LECO TruSpec C/N/S (San José MI, EEUU). Para el C orgánico, la muestra de suelo se calentó con HCl para eliminar el contenido de carbonatos.

3.4.1.6. Determinación del C orgánico total hidrosoluble (COhid) y del N hidrosoluble (Nhidr).

El contenido de C y N hidrosoluble del suelo fue extraído con agua destilada a una dilución 1:5, posteriormente se agitó durante 2 horas y finalmente se determinó, tras centrifugar y filtrar el extracto en un papel de filtro cuantitativo sin cenizas de 100 mm de diámetro de poro (Hahnemühle. Dassel, Alemania), en un analizador (Analytikjena Multi N/C 3100).

3.4.1.7. Determinación de macro y micronutrientes y metales pesados.

El contenido de los nutrientes y de los metales del suelo se determinó a partir del extracto obtenido en la digestión de suelo en microondas con HNO_3 al 65% mediante espectrometría de plasma óptico de emisión de acoplamiento inductivo (ICP-OES, modelo ICAP 6500 DUO THERMO).

3.4.1.8. Determinación de aniones.

Para la determinación de aniones (cloruros, nitratos, nitritos, fosfatos y sulfatos), primero se obtiene un extracto de suelo, tal y como se refleja en el ***apartado 3.4.1.1.***, y se analiza con un cromatógrafo líquido iónico (Dionix ICS2100).

3.4.1.9. Determinación del C de las sustancias húmicas.

En primer lugar, en un tubo de centrífuga de plástico se colocan 2 g de suelo y se vierte un volumen de 40 ml de una disolución de pirofosfato de sodio alcalino ($Na_4P_2O_7 \cdot 10H_2O$) (Panreac Applichem. Castellar del Vallès, España) 0.1 M a pH 9.8. A continuación, se agita en atmósfera de nitrógeno durante 4 horas y tras esto, se centrifuga a 1000 rpm durante 15 minutos. El sobrenadante de filtra con ayuda de un papel lavado a los ácidos.

En segundo lugar, se añaden 4 ml de este extracto filtrado a un tubo de digestión en presencia de dicromato de potasio en medio ácido (2 ml de $K_2Cr_2O_7$ (Sigma-Aldrich. St. Louis, EEUU) 2 N y 4 ml de H_2SO_4 concentrado). Se digiere durante 15 minutos a una temperatura de 150ºC y se deja reposar durante toda una noche antes de leer en el espectrofotómetro Vis-UV (Spectronic UV-Vis Helios Alpha, Thermo Electron Corporation) a una longitud de onda (λ) 590 nm.

3.4.2. Parámetros microbiológicos.

3.4.2.1. Medida de la respiración del suelo.

La respiración del suelo se calculó mediante la medida del CO_2 desprendido por la población de microorganismos durante el periodo de incubación del suelo humedecido al 65% de su capacidad de retención hídrica en un sistema cerrado durante un periodo de

tiempo comprendido entre 21 y 30 días a 28ºC, hasta que los valores se normalizaron. El CO_2 desprendido se midió en un analizador de gases infrarrojo (Toray PG-100, Toray Engineering Co. Ltd., Japan) (Hernández y García, 2003). El resultado se expresa en mg C-CO_2 kg suelo^{-1} día^{-1}.

3.4.2.2. Determinación de la actividad de β-glucosidasa.

Para la determinación de la actividad enzimática de la β-Glucosidasa, el procedimiento a seguir (Eivazi y Tabatabai, 1988) es el siguiente: se realiza una determinación a cada muestra por duplicado (muestra y control). En tubos de centrífuga de 10 ml se pesa 0,5 g de muestra de suelo.

A continuación, se añade 2 ml de *Tampón Universal Modificado* (MUB) a pH 6,5 y 0,5 ml de una disolución de p-nitrofenil βD-glucopiranósido (Sigma-Aldrich. St. Louis, EEUU) en MUB solamente a las muestras. El tubo se cierra y se agita a mano vigorosamente. A continuación, se introduce en un baño a 37ºC con agitación constante durante 1 hora. Después, se introduce en un baño de hielo durante 15 minutos para enfriar la muestra. Se añade 0,5 ml de una disolución $CaCl_2$ 0,5 M y 2 ml de una disolución de tris-hidroximetil-aminometano (THAM-NaOH) 0,1 M a pH 12. A los tubos que contienen el control se añade 0,5 ml de la disolución de p-nitrofenil βD-glucopiranósido en MUB. El tubo se cierra y se agita vigorosamente. A continuación, se centrifuga a 3400 rpm durante 8 minutos. El líquido sobrenadante se introduce en una cubeta de espectrofotómetro de 2,5 ml a una dilución 1:5 en agua. Se mide la absorbancia en el espectrofotómetro Vis-UV (Spectronic UV-Vis Helios Alpha, Thermo Electron Corporation) a una longitud de onda (λ) de 400 nm. En esta determinación, los patrones se realizan con agua destilada.

3.4.2.3. Determinación de la actividad de fosfatasa.

La determinación de la actividad enzimática de la fosfatasa (Tabatabai y Bremmer, 1969) se realiza a cada muestra por duplicado (muestra y control). En tubos de centrífuga de 10 ml, se pesa 0,5 g de muestra de suelo.

A continuación, se añade 2 ml de MUB a pH 11y 0,5 ml de una disolución de p-nitrofenilfosfato en MUB a pH 11 solamente a las muestras. El tubo se cierra y se agita a mano vigorosamente. A continuación, se introduce en un baño a 37ºC con agitación constante durante 1 hora. Después se introduce en un baño de hielo durante 10 minutos para enfriar la muestra. Se añade 0,5 ml de una disolución $CaCl_2$ 0,5 M y 2 ml de una disolución de NaOH 0,1 M. A los tubos que contienen el control se añade 0,5 ml de la disolución de p-nitrofenilfosfato en MUB a pH 11. El tubo se cierra y se agita vigorosamente. A continuación, se centrifuga a 3400 rpm durante 8 min. Después, en tubos nuevos y numerados, se prepara la dilución 1:10 con H_2O destilada en 5 ml de las muestras y controles. La dilución puede ser menor si se percibe una menor actividad enzimática, disolución de color amarillo más suave.

El líquido sobrenadante se introduce en una cubeta de espectrofotómetro de 2,5 y se mide la absorbancia en el espectrofotómetro Vis-UV (Spectronic UV-Vis Helios Alpha, Thermo Electron Corporation) a una longitud de onda (λ) de 400 nm. En esta determinación, los patrones se realizan con agua destilada.

3.4.2.4. Determinación de la actividad de glicina aminopeptidasa.

La determinación de la actividad enzimática de la glicina aminopeptidasa (Sinsabaugh et al., 1993) se realiza a cada muestra por duplicado (muestra y control). En tubos de centrífuga de 10 ml, se pesa 0,5 g de muestra de suelo.

A continuación, se añade 2 ml de tampón ácido tris(hidroxi)aminometano-HCl 50 Mm a pH 7 (tampón TRIS-HCl), 1 ml de agua destilada y 2 ml de una disolución de glicina p-nitroanilida (Sigma-Aldrich. St. Louis, EEUU) 2 Mm solamente a las muestras. A la vez, se elaboran el blanco con 2 ml de tampón TRIS-HCl y 1 ml de agua y la curva patrón con 2 ml de tampón TRIS-HCl, 0,5 ml de agua destilada y 0,5 ml de disolución tampón.

Todos los tubos (muestras, controles, patrones y blanco) se introducen en un baño a 40ºC de temperatura durante 2 horas. Después, se añade 0,5 ml de una disolución de glicina p-nitroanilida 2 Mm a los demás tubos y se enfrían todos los tubos a una temperatura de 4ºC durante 15 minutos.

Posteriormente, se añade 1 ml de ácido acético 75% V/V a cada uno de los tubos y se agita vigorosamente. Los tubos se centrifugan a 3400 rpm durante 10 minutos. Por último, se mide la absorbancia en el espectrofotómetro Vis-UV (Spectronic UV-Vis Helios Alpha, Thermo Electron Corporation) a una longitud de onda (λ) de 410 nm.

3.4.2.4. Determinación de la actividad de ureasa.

Para la determinación de la actividad enzimática de la ureasa, el procedimiento a seguir (Kalender y Gerber, 1988) es el siguiente: Se realiza una determinación a cada muestra por duplicado (muestra y control). En tubos de centrífuga de 10 ml, se pesa 1 g de muestra de suelo.

A continuación, se añade 4 ml de tampón borato a pH 10 y 0,5 ml de una disolución de urea al 0,48 % solamente a las muestras. El tubo se cierra y se agita a mano vigorosamente. Después, los tubos se introducen en un baño a 37ºC con agitación constante durante 2 horas. Después, con el objetivo de parar la reacción de forma inmediata, se añade 6 ml de una disolución de KCl al 7,4 %. A los tubos que contienen el control se les añade 0,5 ml de la disolución de urea al 0,48 %. Los tubos se agitan durante 30 minutos en un agitador tipo noria y posteriormente se centrifuga a 3400 rpm durante 8 minutos.

Seguidamente se lleva a cabo la determinación de amonio, mediante la reacción de Berthelot, para la cual se preparan diluciones 1:10 de las muestras y controles cogiendo 0,5 ml del líquido sobrenadante y añadiendo 4,5 ml de agua destilada. A esta dilución se le añade 2,5 ml de una mezcla de salicilato, una disolución de NaOH 0,3 M y agua destilada a partes iguales, junto con 1 ml de una disolución de dicloroisocianuro. El tubo se cierra y se agita a mano vigorosamente. Posteriormente se dejan reposar en ausencia de luz durante 30 minutos. Si el extracto presenta turbidez, se centrifuga a 3400 rpm durante 8 minutos. Por último, se mide la absorbancia en el espectrofotómetro Vis-UV (Spectronic UV-Vis Helios Alpha, Thermo Electron Corporation) a una longitud de onda (λ) de 690 nm. En esta determinación, los blancos se realizan con 5 ml de agua destilada, 2,5 ml de salicilato sódico y 1 ml de dicloroisocianuro.

3.4.2.5. Determinación de Clostridium perfringers.

La realización del ensayo de determinación de *Clostridium* se basa en la norma ISO 15213, en la cual se coge 10 g de suelo que sean representativos de toda la muestra y se le

realiza una dilución 1:10 con 90 ml de agua de peptona. La dilución se homogeniza durante 2 minutos en Stomacher.

Se realiza una siembra en masa en agar sulfito-hierro, es decir, de la dilución inicial se toma 1 ml y se añade a una placa Petri y con el medio agar sulfito-hierro y se incuba a 37ºC durante un periodo de 24 - 48 horas, en condiciones de anaerobiosis.

Tras la incubación, dependiendo del grado de ennegrecimiento y la tasa de crecimiento del microorganismo, contar las colonias negras, posiblemente rodeadas por un halo negro, como bacterias sulfito-reductoras.

3.4.2.6. Determinación de Escherichia Coli β-D-glucuronidasa.

La realización del ensayo de determinación de *E. Coli* se basa en la norma ISO 16649, en la cual se coge 10 g de suelo que sean representativos de toda la muestra y se le realiza una dilución 1:10 con 90 ml de agua de peptona. La dilución se homogeniza durante 2 minutos en Stomacher.

Se realiza una siembra en masa en agar TBX (agar cromogénico), es decir, de la dilución inicial se toma 1 ml y se añade a una placa Petri y con el medio agar TBX y se incuba a 44ºC durante un periodo de 21 horas.

Una colonia de *E. Coli* típica en agar TBX es una colonia azul turquesa que da reacción positiva con el reactivo de Kovac's, coloración roja. Se cuentan todas las colonias que cumplan estas características.

3.4.2.7. Determinación de Salmonella spp.

La realización del ensayo de determinación de *Salmonella spp* se basa en la norma ISO 6579, en la cual se cogen 25 g de suelo que sean representativos de toda la muestra, a los cuales se le añade un volumen de 225 ml de agua de peptona con la intención de realizar una dilución 1:10. Se homogeneiza la dilución en Stomacher durante 2 minutos y se preincuba a 36ºC durante 18 horas.

Después de la incubación, se pasa el preenriquecimiento a caldos de enriquecimiento: caldo Muller-Kaufmann y caldo Rappaport Vassiliadis, y se incuban a 37ºC y 45ºC respectivamente durante 24 horas.

Tras la incubación, los tubos se homogenizan y se aíslan por estría en placa Petri con dos medios distintos (XLD y agar Rambach), se incuban a 36ºC durante 24 horas y se observan colonias típicas:

- Agar XLD, colonias precipitado negro con halo transparente.
- Agar Rambach, colonias de color fucsia con halo transparente.

Si no se observan colonias sospechosas, se considera que la muestra es ***ausencia*** en 25 g de *Salmonella*.

Las colonias sospechosas se aíslan en PCA, se incuban a 36ºC durante 24 horas y se realizan distintas pruebas bioquímicas para la confirmación de *Salmonella*:

- Prueba de la oxidasa: *Salmonella* es negativa.
- Prueba del látex de *Salmonella*: positiva.
- Confirmación por galería bioquímica API 20E.

Si todas estas pruebas son positivas para *Salmonella*, se considera la muestra ***presencia*** de *Salmonella* en 25 g.

3.5. Análisis estadístico.

Los resultados obtenidos en laboratorio fueron sometidos a un análisis estadístico de datos con el software ***SPSS Statistics*** de IBM en su versión 23. Se ha realizado una prueba de homogeneidad de los datos, además de una prueba ANOVA de una vía (Tablas A.29, A.30, A.31), con un nivel de significación $P<0.05$, aplicando un análisis post-hoc de tipo Tukey[B] (Tablas A.32, A.33, A.34). Además, los datos de respiración basal del suelo se ajustaron mediante una regresión a una función logarítmica.

4. Resultados y discusión.

Como se ha descrito en el ***apartado 3.3***, los resultados obtenidos en este trabajo de investigación provienen de dos muestreos distanciados tres meses en el tiempo. Una primera tanda de resultados a t0 y una segunda a t3. Aunque en la bibliografía existente se suelen describir trabajos sobre aplicación de enmiendas orgánicas al suelo con una mayor duración, en este caso se ha decidido acortar la investigación a tres meses, entendiendo que ese periodo de tiempo es suficiente para que el suelo regrese a un estado de actividad biológica casi equivalente al anterior a la aplicación de la enmienda.

Se ha querido introducir una nueva clasificación a los parámetros medidos en laboratorio, que eran de tipo físico-químico o microbiológico, dividiéndolos en nuevas propuestas, atendiendo a si influyen más en el entorno agronómico o ambiental del suelo al que han sido aplicados, así como a su biodiversidad microbiana. Así pues, aunque algunos parámetros podrían inscribirse en una u otra clasificación, en nuestro caso se ha realizado la siguiente clasificación.

- Parámetros agronómicos: pH, densidad, CRH, textura, carbono, nitrógeno, macro y micronutrientes.
- Parámetros ambientales: CE, aniones, metales pesados y microorganismos patógenos.
- Parámetros relacionados con la actividad microbiana: respiración de los microorganismos del suelo, y actividades enzimáticas implicadas en los ciclos importantes de elementos como C, N y P.

4.1. Parámetros agronómicos.

Se entiende por parámetros de índole agronómica aquellos que influyen de forma determinante en el crecimiento y desarrollo del sistema radicular y aéreo de los cultivos. Aquellos parámetros que sean beneficiosos provocarán un mejor crecimiento y desarrollo del cultivo y del fruto, por tanto, una mejor y mayor producción.

4.1.1. pH del suelo.

Los valores de pH para los suelos control *CARD*, *ALM-J* y *ALM-A* se sitúan en un inicio (t0) dentro del intervalo 8,1-8,6 (Tabla A.1; Figura A.1). La aplicación de las distintas enmiendas no provoca variaciones destacables respecto al control a la semana de su adición al suelo. Con el paso de los meses, a t3 se observa una tendencia generalizada a un leve aumento del valor de pH para los suelos *CARD* y *ALM-J* respecto a sus valores a t0. Aun así, las variaciones registradas no alcanzan en ningún momento 0,5 unidades de pH.

Estos resultados están dentro de lo esperado. Los suelos ricos en carbonatos cálcicos, nuestro caso, muestran una elevada capacidad de amortiguación del pH entorno a un valor de 8,4 por la presencia de estos carbonatos. No hay, por tanto, problemas con este parámetro en cuanto a la adición de estas enmiendas orgánicas.

4.1.2. Densidad y capacidad de retención hídrica (CRH) del suelo.

Los suelos estudiados presentan valores base de densidades muy similares (entre 1,11 y 1,15 g cm^{-3}) entre ellos a t0.

A t0, en general, no se aprecian variaciones significativas en los valores de densidad con respecto al valor control. Con el paso del tiempo se produce un leve aumento del valor de la densidad para todos los suelos, aunque en general tienden a no presentar diferencias con respecto al control. Solamente en el suelo *ALM-J*, a t3, encontramos diferencias

significativas en los suelos tratados con digeridos (Figura A.2). Los valores se expresan en la siguiente tabla.

Tabla 4.1. Valores medios y desviación estándar de la densidad (g cm^{-3}) y del CRH (%) para el control y tratamientos en los suelos CARD, ALM-J *y* ALM-A a t0 y t3.

	C	DC d1	DC d2	DS d1	DS d2	M d1	M d2
CAR (t0)	1,14 ±0,04	1,09 ±0,01	1,16 ±0,08	1,23 ±0,04	1,17 ±0,03	1,16 ±0,02	1,16 ±0,02
CAR (t3)	1,14 ±0,04	1,09 ±0,01	1,12 ±0,02	1,23 ±0,04	1,17 ±0,03	1,16 ±0,02	1,16 ±0,02
ALMJ (t0)	1,15 ±0,02	1,05 ±0,08	1,04 ±0,05	1,13 ±0,07	1,16 ±0,08	1,13 ±0,06	1,14 ±0,06
ALMJ (t3)	1,11 ±0,01	1,06 ±0,01	1,07 ±0,01	1,14 ±0,01	1,08 ±0,01	1,11 ±0,01	1,11 ±0,01
ALMA (t0)	1,11 ±0,02	0,99 ±0,02	0,99 ±0,02	1,08 ±0,03	1,01 ±0,03	0,97 ±0,05	1,00 ±0,06
ALMA (t3)	1,19 ±0,09	1,28 ±0,04	1,24 ±0,06	1,23 ±0,07	1,22 ±0,04	1,19 ±0,08	1,19 ±0,06
CAR (t0)	40,89 ±4,97	34,68 ±2,44	38,42 ±1,69	38,60 ±5,69	41,65 ±1,85	40,04 ±1,94	42,52 ±1,77
CAR (t3)	46,51 ±6,29	44,18 ±4,29	42,95 ±1,02	43,64 ±4,12	42,92 ±2,68	44,30 ±2,76	43,62 ±0,19
ALMJ (t0)	47,59 ±2,32	49,68 ±1,34	52,04 ±5,24	47,03 ±3,19	48,38 ±2,35	50,39 ±1,22	51,57 ±5,73
ALMJ (t3)	53,95 ±3,36	46,08 ±5,00	48,67 ±1,31	49,05 ±2,56	48,85 ±2,07	51,60 ±0,87	49,11 ±3,90
ALMA (t0)	51,14 ±3,22	49,59 ±1,39	58,46 ±7,13	57,37 ±3,38	59,87 ±1,43	63,13 ±5,00	66,51 ±5,61
ALMA (t3)	55,95 ±5,28	52,18 ±0,90	58,99 ±1,83	57,15 ±3,61	58,44 ±1,74	58,40 ±3,61	61,30 ±7,41

En el caso de la CRH, los suelos no enmendados *ALM-J* y *ALM-A* muestran una mayor capacidad que el suelo *CARD* en su valor control. A t0, los resultados obtenidos revelan que no se producen alteraciones en la CRH del suelo por la aplicación de los tratamientos. Sólo el tratamiento M d2 en el suelo *ALM-A* produce un aumento destacable.

El paso del tiempo produce, en general, un aumento del valor de los suelos control para todos los suelos y el ajuste a éste de los valores de los demás tratamientos.

Por tanto, estos resultados (Tabla 4.1; Figura A.2) revelan que la aplicación de enmiendas no genera cambios a corto plazo ni en la densidad y ni en la CRH del suelo. El paso del tiempo produce una leve variación de ambos parámetros en el suelo, aunque como dicha variación también se da en el valor control, no puede asociarse a la aplicación de las enmiendas. Consideramos que, para ciertos parámetros físicos, la acción de enmiendas como las aquí ensayadas sólo podrá tener un efecto después de diversas aplicaciones, o bien después de afectar positivamente al cultivo, y éste realice aportes mayores de residuos orgánicos vegetales al suelo.

4.1.3. Carbono en el suelo.

4.1.3.1. Carbono orgánico del suelo (Corg).

Aunque su presencia en el suelo es minoritaria, el carbono orgánico (Corg) es principal componente de la MO del suelo e influye de manera sustancial en múltiples funciones de carácter físico, químico y biológico en los suelos. La MO contribuye, entre otras cosas, a estabilizar la estructura del suelo, aumentar la capacidad de retención de agua, aumentar el intercambio catiónico y adiciona nutrientes al suelo.

De los tres suelos estudiados, es el suelo *CARD* no enmendado el que mayor contenido de Corg presenta. Le sigue muy de cerca el suelo *ALM-A* y, por último, encontramos al suelo *ALM-J* (Tabla A.6).

La adición de las enmiendas al suelo origina aumentos del contenido de Corg de forma dispar entre suelos (Figura 4.1). Por un lado, para los suelos de la parcela *CARD*, sólo se registra un aumento en la muestra M d2, aunque las muestras DS parecen también apuntar en esa misma dirección, aunque las diferencias no son significativas. Por otro, el suelo *ALM-J* experimenta un aumento generalizado para todos los tratamientos, a excepción de DS d2. Finalmente, en *ALM-A* se registran aumentos para las muestras tratadas con DS y con M.

El segundo muestreo permite observar un descenso generalizado, también para el control, en el contenido en Corg en el suelo *CARD*. Además, las diferencias en t0 disminuyen e incluso desaparecen, a la vez que se registran aumentos para los valores control en *ALM-J* y *ALM-A* que son similares para el resto de tratamientos, excepto DC d1 para *ALM-J* y DC d2 y DS d1 para *ALM-A* (Figura 4.1). En el suelo *ALM-A*, los tratamientos con M producen aumentos destacables por encima del suelo control a t3.

En resumen, en un primer instante origina un incremento en los suelos *ALM-J* y *ALMA*, sobre todo en *ALM-J*. El paso del tiempo produce aumentos en el contenido de Corg para *ALM-J* y *ALM-A* descensos para *CARD*. En este comportamiento, pensamos que el "manejo" de la enmienda puede tener implicación; en el caso del cultivo de cardo, se introdujo en toda la capa arable y se removió, lo que podría propiciar una aceleración de la mineralización del carbono; en el caso de los almendros, se introdujo alrededor del árbol dicha enmienda y el movimiento de suelo fue mucho menor que en caso del cardo. Algunos tratamientos, en general DS y M, provocan un *input* de MO en el suelo, aunque este efecto se diluye con el paso del tiempo.

4.1.3.2. Carbono orgánico hidrosoluble (COhidr).

Si bien el carbono orgánico hidrosoluble (COhidr) es una pequeña proporción del carbono orgánico total, éste está considerado la fracción más móvil y reactiva del Corg que encontramos en el suelo y agua (Scaglia y Adani, 2009) y, por tanto, su influencia sobre las diferentes funciones del suelo es aún mayor que la de las fracciones menos reactivas del Corg.

El primer muestreo revela este gradiente de contenido de COhidr en las muestras control: *CARD* > *ALM-J* > *ALM-A*. El valor para el suelo *CARD* supero en más del doble el valor de *ALM-A*, el suelo más pobre en COhidr (Tabla A.7). Se ha de tener muy en cuenta que esta fracción de C lábil y fácil de ser atacada por los microorganismos del suelo, se incrementa en el suelo con las enmiendas orgánicas; además, en función de la distinta incorporación que se haga de ésta a los suelos (manejo), se comprueban unas diferencias en el punto de muestreo inicial.

En el muestreo de suelo a tiempo inicial (t0), los suelos *CARD* y *ALM-J* muestran comportamientos parecidos, con una tendencia al aumento en el contenido de COhidr para todos los tratamientos, registrándose los máximos en las muestras tratadas con la mezcla fresca (M), ya que, al no sufrir digestión, cuenta con mayor cantidad de C lábil. Para el suelo *CARD*, se observan diferencias significativas en DC y DS d2 y en M y para el suelo *ALM-J* en M. En el caso del suelo *ALM-A*, los tratamientos muestran valores similares al control, excepto en DS d2 donde se produce un aumento muy significativo (Figura 4.1). Algunas de las variaciones, con relación a COhidr, se pueden deber simplemente a la variabilidad del muestreo (en el punto inicial, esto no es sencillo de evitar).

Al paso de 3 meses, en el siguiente muestreo (t3), se comprueban disminuciones drásticas en el contenido de COhidr para los suelos *CARD* y *ALM-J*, quedando similares a los valores a t0 en el suelo *ALM-A*. Tal vez este parámetro refleja la mejor medida de la mineralización que sufre el C incorporado con las enmiendas orgánicas, debido a la actuación de los microorganismos del suelo. El manejo influye en esta mineralización, ya que suelos bajo cultivo de cardo se mineralizan en mayor grado que los demás; el diferente manejo seguido influye en este parámetro.

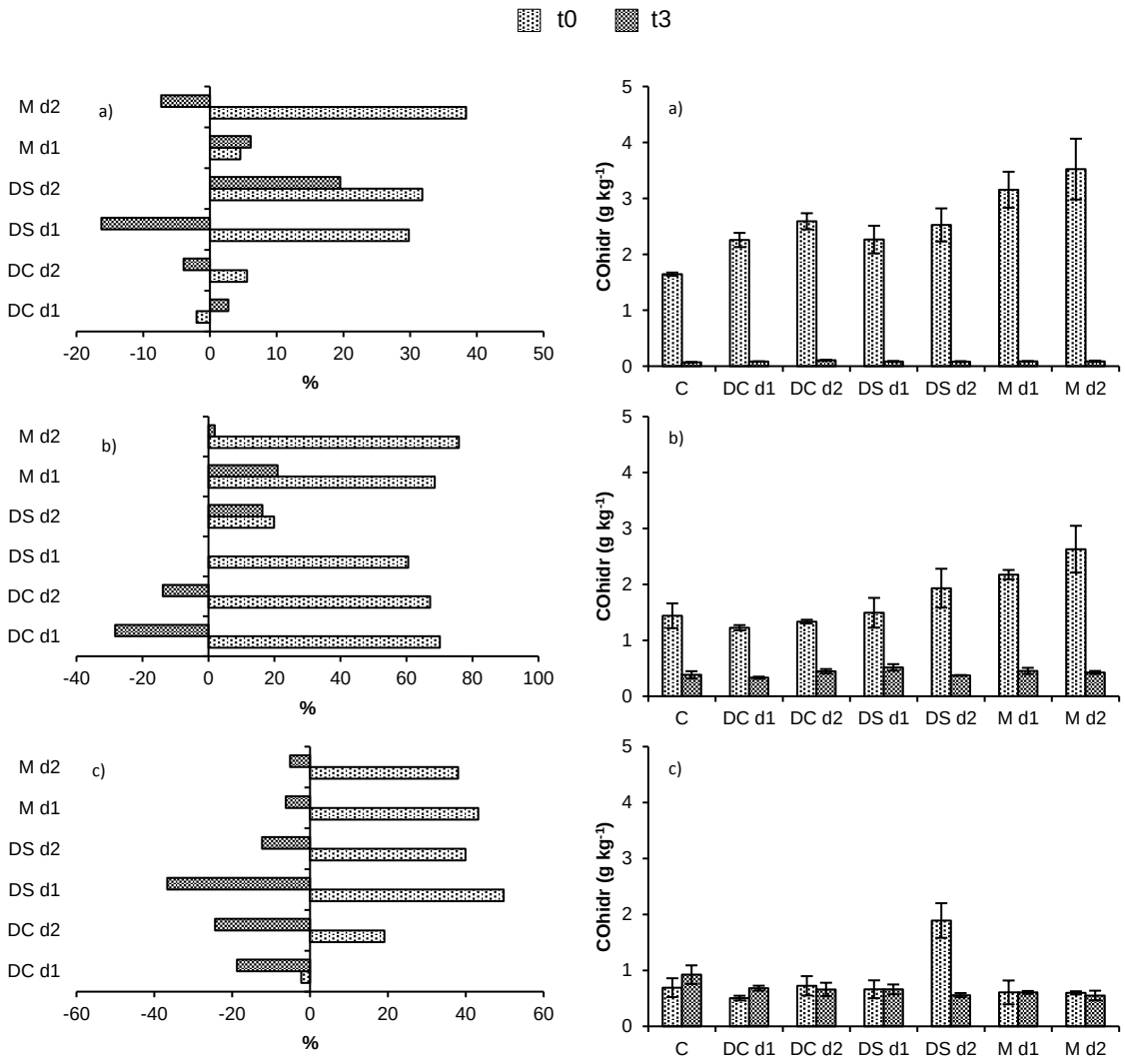


Figura 4.1. Diferencias del contenido de Corg (%) de los tratamientos con respecto al control y valores medios de concentración de COhidr (g kg^{-1}) en los suelos *CARD* (a), *ALM-J* (b) y *ALM-A* (c) a t0 y t3. Las letras de significación correspondientes a los tratamientos para COhidr se encuentran en las tablas A.33, A.34 y A.35.

En resumen, se puede señalar que, en líneas generales, los valores de COhidr se incrementan con relación a los suelos control, en aquellos que son enmendados (en mayor proporción con una mezcla de residuos no sometida a tratamiento de biometanización). Se comprueba perfectamente el efecto de la mineralización de este tipo de C con el tiempo, si bien la proporción de dicha mineralización cambia con el tipo de cultivo existente sobre el suelo.

4.1.3.3. Carbono de las sustancias húmicas (Csh).

Según el International Humic Substances Society (IHSS), las sustancias húmicas son el mayor componente de la MO en suelos. Si éstas están presentes en una alta concentración, suelen conferir un color oscuro al suelo. Además, son una compleja y heterogénea mezcla de compuestos poliméricos carbonados de alto peso molecular. A parte de esto, la importancia de las sustancias húmicas reside en su marcada influencia sobre las propiedades físicas y químicas del suelo y en la capacidad de aumentar la fertilidad de los mismos.

En el instante anterior a la aplicación de las enmiendas orgánicas, el suelo del cultivo de almendros adultos (*ALM-A*), poseía un contenido de carbono de sustancias húmicas (Csh) superior al del resto de suelos (Tabla 4.3; Figura A.3). Para el suelo *CARD*, la adición de las enmiendas orgánicas apenas origina variaciones respecto al control (sólo se observa un aumento en DS d1), para el suelo *ALM-J* se describe una tendencia al alza que se hace destacable en las muestras tratadas con M. En el caso del suelo *ALM-A*, apenas se registran variaciones respecto al valor control, excepto para los tratamientos DS que producen un descenso en el contenido (Figura A.3).

En el segundo muestreo realizado, t3, se observa una leve disminución del valor de Csh en los suelos *CARD* y *ALM-J* respecto a los suelos control, achacable a una mineralización de este C; en el suelo *ALM-A*, esta disminución es menos visible, quizás debido a que el cultivo (almendros ya muy "maduros") influye en que este tipo de C no disminuya.

Tabla 4.3. Valores medios y desviación estándar del contenido en Csh (g kg^{-1}) para el control y tratamientos [1] en los suelos *CARD*, *ALM-J* y *ALM-A* a t0 y t3.

	C		DC d1		DC d2		DS d1		DS d2		M d1		M d2	
CAR (t0)	4,26	±0,23	4,82	±0,54	4,09	±0,53	5,32	±0,53	4,06	±0,05	4,04	±0,05	4,16	±0,18
CAR (t3)	3,76	±0,23	4,13	±0,02	3,32	±0,44	3,78	±0,19	4,15	±0,47	3,33	±0,18	3,17	±0,38
ALMJ (t0)	2,88	±0,45	4,03	±0,66	3,81	±0,48	2,98	±0,58	4,41	±0,66	5,65	±0,59	4,86	±0,69
ALMJ (t3)	3,23	±0,18	2,09	±0,22	2,77	±0,35	3,30	±0,28	2,64	±0,29	3,06	±0,03	3,04	±0,14
ALMA	5,30	±0,46	4,71	±0,17	4,69	±0,54	3,99	±0,28	3,44	±0,37	4,33	±0,44	4,64	±0,71
ALMA	4,84	±0,25	3,65	±0,30	4,92	±0,94	4,83	±0,65	5,49	±0,77	4,48	±0,37	5,70	±0,59

En resumen, la aplicación de las enmiendas produce variaciones en un primer instante, pero este efecto desaparece con el paso del tiempo. Se comprueba así que no se produce una acumulación de C estable en el suelo, quizás siendo necesario un ensayo a largo plazo para poder visualizar signos de procesos de humificación de MO.

4.1.4. Nitrógeno en el suelo: nitrógeno total (Ntotal) e hidrosoluble (Nhidr).

Los lodos de depuración y los purines de cerdo son conocidos por su poder fertilizante. Entre todos los elementos que se aportan al suelo por medio de la aplicación agrícola de estos, encontramos un gran contenido de N en sus formas inorgánica y orgánica. El nitrógeno total (Ntotal) comprende la totalidad de las formas en las que este elemento está presente en el suelo, es decir, tanto la forma inorgánica como la forma orgánica.

A parte, el N puede estar presente bajo formas hidrosolubles que juegan un papel muy importante sobre el ecosistema del suelo, influyendo en el ciclo de nutrientes y por tanto en la nutrición de las especies vegetales.

Es importante conocer la cantidad de N en su forma hidrosoluble (Nhidr), pues nos da una idea del N disponible para los microorganismos del suelo, así como del riesgo de lixiviación o de los procesos de desnitrificación que puedan tener lugar. Las formas más importantes en las que podemos encontrar al N en el suelo son tres: N orgánico, NH_4-N y NO_3-N. El parámetro Nhidr contiene todo el N que sea soluble en agua: mayoritariamente nitratos, amonio, y algo del N orgánico que sea soluble.

Los suelos de la parcela *CARD* y *ALM-J* presentan contenidos idénticos de Ntotal en el suelo control, 1,9 g kg^{-1}, y superiores al suelo control de *ALM-A*, 1,6 g kg^{-1} (Tabla A.9).

En el instante posterior a la aplicación de las enmiendas (t0), no se aprecian variaciones de los valores de las muestras tratadas que sean destacables con respecto al valor control para los suelos *CARD* y *ALM-J.* Aunque sí se observa como algunos tratamientos parecen dibujar una tendencia al alza en el contenido, sin ser significativa en ningún caso. En el caso del suelo *ALM-A* sí se registran aumentos significativos para los tratamientos DS y M (Figura 4.2).

Pasados tres meses (t3) se observa un descenso del contenido en Ntotal tanto en las muestras control como en las tratadas para los suelos *CARD* y *ALM-J*. Siguen sin aparecer diferencias significativas entre los tratamientos y el control. En cambio, para el suelo *ALM-A* se produce un aumento en el contenido de todas las muestras. Aunque las variaciones con respecto al valor base dejan de ser significativas, aún es posible visualizar una tendencia al alza para las muestras tratadas con DS y M, sobre todo en su dosis mayor (d2) (Figura 4.2).

Así pues, en general, la adición de estas enmiendas parece indicar un aumento no significativo del contenido de Ntotal en el suelo, que al cabo del tiempo se desvanece a causa, posiblemente, de varios factores como pueden ser: la volatilización del N, la lixiviación de las especies de N más móviles y la toma de nutrientes por parte de los cultivos. La explicación a que este incremento no sea significativo puede encontrarse en que la capacidad de determinar el N total, cuenta con una variabilidad de análisis, que posiblemente enmascara la posible subida.

En el caso del Nhidr, el suelo control de la parcela *CARD* es el que mayor contenido tiene (0,26 g kg^{-1}), seguido del suelo *ALM-J* (0,19 g kg^{-1}) y, por último, del suelo *ALM-A* (0,91 g kg^{-1}) (Tabla A.10).

En el punto inicial (t0) se producen aumentos en el contenido de Nhidr en todos los suelos, destacando para este parámetro en cada tipo de suelo de cultivo, diferentes tratamientos. En el caso del suelo *CARD,* se produce un incremento significativo para la dosis alta de los digeridos, en mayor medida que cuando se emplea mezcla en fresco como enmienda; el N de los digeridos es más directamente asimilable, y con mayor contenido en fracciones inorgánicas de este nutriente. En el suelo *ALM-J* y *ALM-A* los aumentos son generalizados para todos los tratamientos a excepción de DC d1 en el caso del suelo *ALM-J* y M d1 en el caso del suelo *ALM-A*. Para todos los suelos, el tratamiento que muestra una mayor diferencia con respecto al valor base es el DC d2 (Figura 4.2).

Con el paso del tiempo (t3) se produce, para todos los suelos, el mismo comportamiento que con el Ntotal, es decir, descenso generalizado para todas las muestras de los suelos *CARD* y *ALM-J*, y aumento en las del suelo *ALM-A*. En el suelo *CARD*, DC y DS en su d1 muestran diferencias significativas con el valor control. Igual ocurre en *ALM-A* con DC d2 y DS d1. En el caso de *ALM-j*, todos los tratamientos muestran diferencias positivas con respecto al control, de manera muy destacable el DC d2 (Figura 4.2).

Las mayores diferencias entre t0 y t3 para Nhidr, se aprecian en los suelos con cardo, indicativo de que el manejo realizado en esta parcela conlleva una mayor mineralización y aparición de fracciones minerales de este nutriente. En los suelos bajo cultivo de almendro, las diferencias entre el punto t0 y t3 para dicho parámetro no es tan fuerte como en el cardo. Las diferencias entre el punto inicial y los 3 meses para el N lábil pueden significar que las plantas han necesitado ese N y lo han asimilado, o bien que parte se ha perdido o por volatilización (amonio, debido a la actividad enzimática ureasa), o por lixiviación como nitrato (algo que puede significar contaminación subterránea).

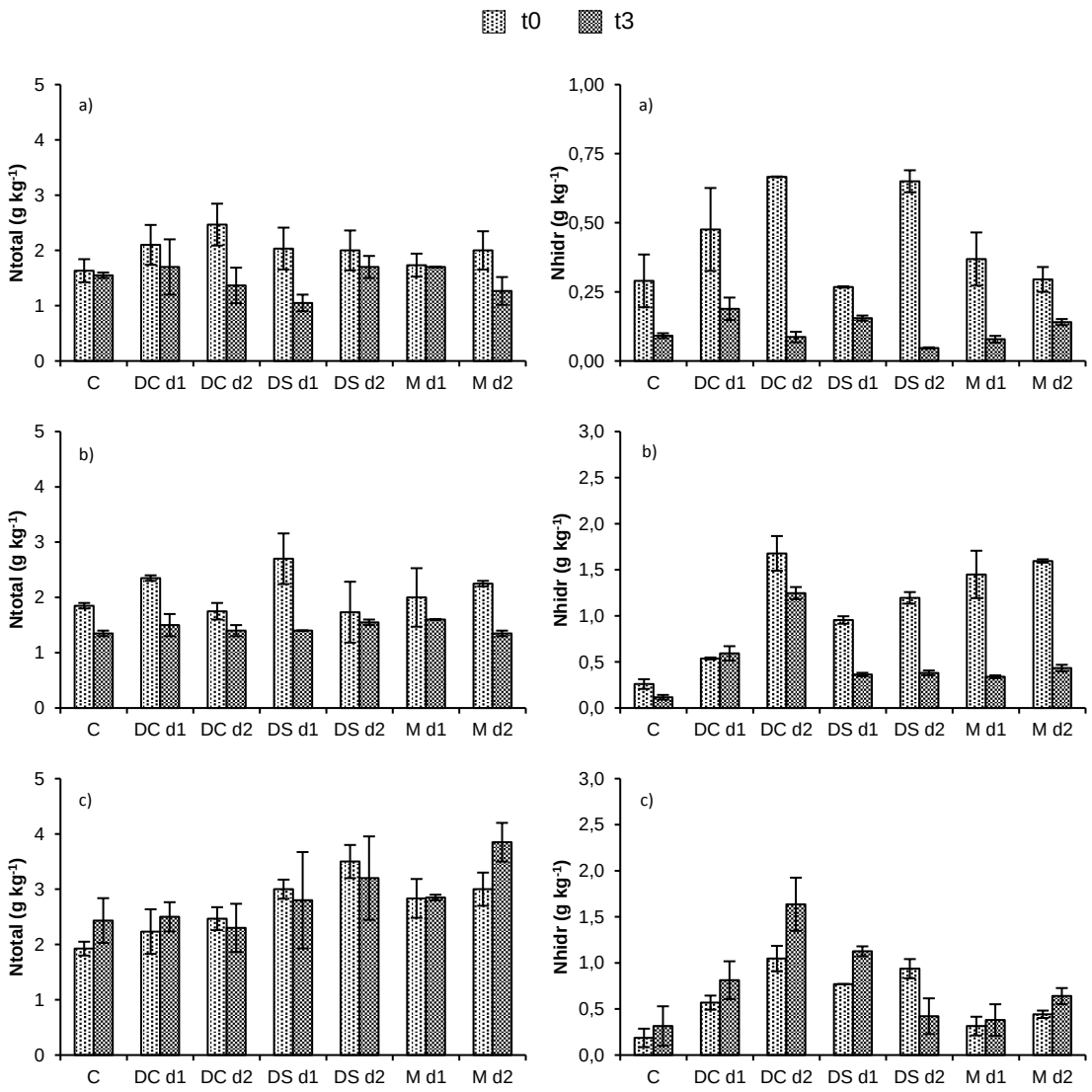


Figura 4.2. Valores medios de concentración de Ntotal (g kg^{-1}) y nitrógeno hidrosoluble, Nhidr (g kg^{-1}) en los suelos *CARD* (superior), *ALM-J* (centro) y *ALM-A* (inferior) a t0 y t3. Las letras de significación correspondientes a los tratamientos se encuentran en las tablas A.33, A.34 y A.35.

En resumen, de todos los tratamientos, el DC d2 es el que origina un mayor aumento del contenido de Nhidr en todos los suelos; aunque con el paso del tiempo su efecto se desvanece en el suelo *CARD*, sigue siendo muy significativo para los suelos *ALM-J* y *ALM-A*.

4.1.5. Otros nutrientes.

El suelo es el principal suministrador de nutrientes a los organismos vegetales para su correcto crecimiento y para el desarrollo de sus frutos. Los nutrientes del suelo se pueden clasificar respecto a parámetros nutricionales de las plantas en macronutrientes, aquellos requeridos en cantidades relativamente grandes, y micronutrientes, aquellos que se requieren en cantidades pequeñas. Al realizarse una extracción ácida para la determinación de estos elementos, no sólo se mide la parte biodisponible, si no la total.

En este apartado se comentarán los resultados obtenidos para los siguientes elementos del suelo: calcio (Ca), fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg), azufre (S), sodio (Na) y hierro (Fe).

Antes de empezar, para el hierro, el análisis estadístico ANOVA revela que no existen diferencias significativas para ninguno de los suelos estudiados. Así pues, las variaciones entre los tratamientos no son destacables y no se va a comentar nada acerca de dicho elemento.

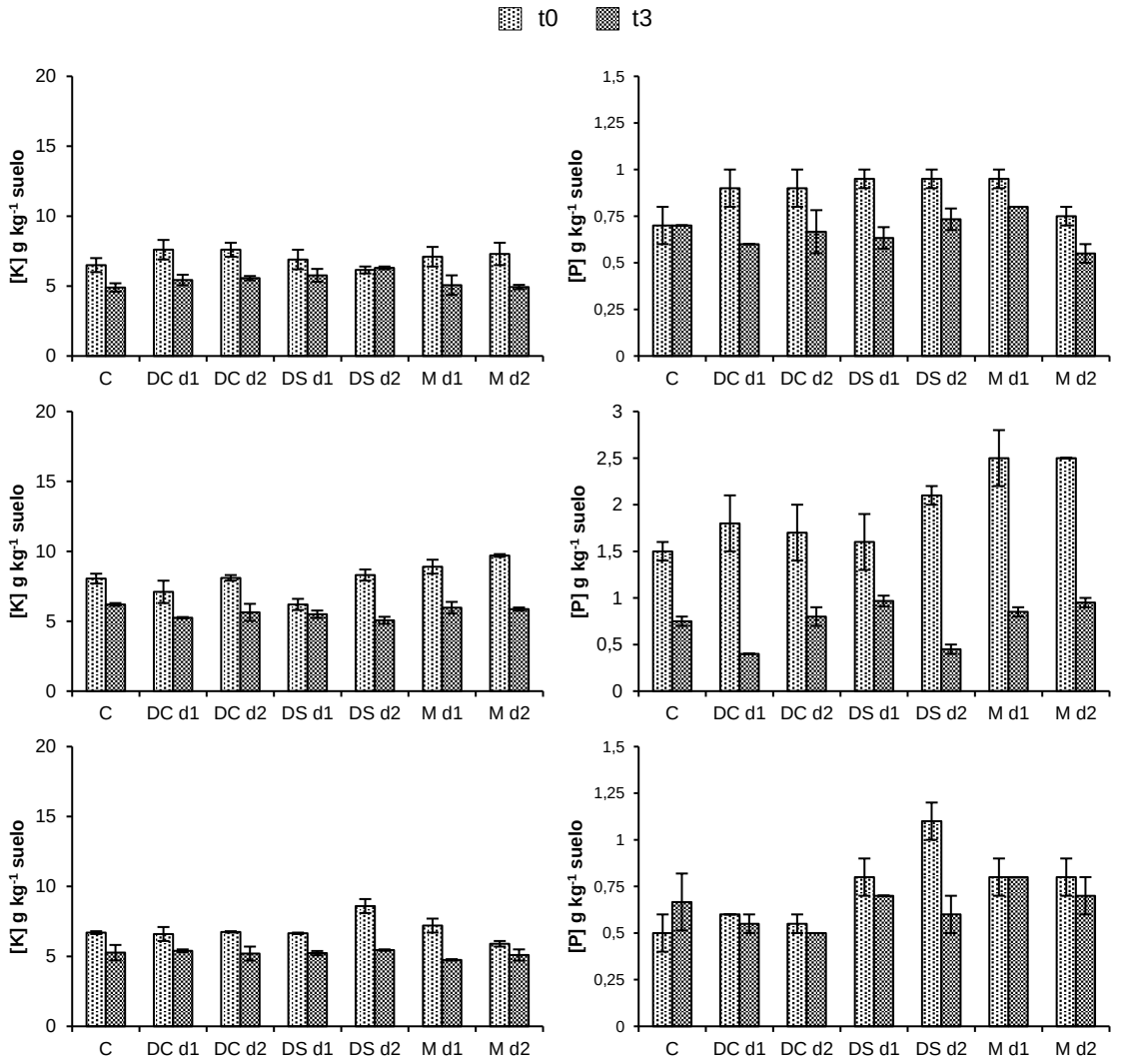


Figura 4.3. Valores medios de concentración de K y P (g kg^{-1}) en los suelos *CARD* (a), *ALM-J* (b) y *ALM-A* (c) a t0 y t3. Las letras de significación correspondientes a los tratamientos se encuentran en las tablas A.33, A.34 y A.35.

Del resto de elementos, el que tiene mayor presencia en el suelo es el calcio, con una concentración en suelo control en torno a los 200 g kg^{-1} para *CARD*, *ALM-J* y *ALM-A* en t0. De forma general, se puede comentar que para todos los elementos se describe, salvo contadas excepciones, una leve tendencia al alza en el contenido de los nutrientes tras la adición de las enmiendas, aunque al no ser significativas, no se puede asegurar con rotundidad que esta tendencia pueda deberse a los tratamientos o a la propia variabilidad a la que están sujetos los muestreos y las pruebas analíticas. Con el paso del tiempo (t3), estos valores reducen su contenido (excepto Mg y S para los suelos *ALM-J*). De la misma manera

que en t0, no se puede asegurar la causa del descenso que bien puede deberse a la alimentación de la planta o bien a la variabilidad propia del muestreo (Tablas A.18, A.19, A.20; Figuras A.4, A.5).

Resulta interesante comentar la dinámica del fósforo (Figura 4.3), elemento importante en la composición de algunos lodos de depuración junto con el nitrógeno, en el suelo tras la aplicación de las enmiendas. Esta se muestra similar al resto de elementos y los incrementos no son mayores que para otros elementos. Por tanto, no hay signos de que se esté sobrefertilizando el suelo con fósforo y que la fracción móvil de este pueda lixiviar y alcanzar el agua subterránea.

4.2 Parámetros ambientales.

Se entienden por parámetros ambientales aquellos que, dependiendo del valor que posean, pueden indicar situaciones de potencial riesgo o peligro para el medio ambiente y el entorno del suelo objeto de estudio. Debería ser obligado contemplar este tipo de parámetros junto con los nutricionales o agronómicos, ya que pueden condicionar el uso de enmiendas orgánicas; al suelo debería de adicionarse todo aquello que sea positivo para el mismo y desde luego, que no interfiera negativamente con los ecosistemas que se puedan ver influenciados.

4.2.1. Conductividad eléctrica del suelo.

La salinización de los suelos es un proceso en el que tiene lugar la acumulación de sales más solubles que el yeso en el suelo. Esto, a la larga y cuando los niveles son altos, produce dificultades en el crecimiento vegetativo de los cultivos que hay sobre ese suelo y disminuye su capacidad de producción. La salinidad se estudia partir del valor de la conductividad eléctrica (CE).

Tabla 4.5. Valores medios y desviación estándar de la CE (dS cm^{-1}) a 25ºC para el control y tratamientos en los suelos *CARD*, *ALM-J* y *ALM-A* a t0 y t3.

	C		DC d1		DC d2		DS d1		DS d2		M d1		M d2	
CARD (t0)	0,138	±0,015	0,242	±0,031	0,358	±0,054	0,188	±0,030	0,292	±0,027	0,259	±0,044	0,234	±0,033
CARD (t3)	0,234	±0,033	0,337	±0,040	0,294	±0,044	0,367	±0,027	0,316	±0,055	0,255	±0,020	0,380	±0,033
ALM-J (t0)	1,90	±0,09	0,56	±0,03	0,63	±0,06	1,53	±0,34	2,17	±0,14	2,25	±0,20	2,64	±0,19
ALM-J (t3)	2,12	±0,09	0,78	±0,32	0,94	±0,33	1,59	±0,35	2,20	±0,23	2,80	±0,22	2,55	±0,01
ALM-A (t0)	1,87	±0,17	1,15	±0,04	1,60	±0,03	1,30	±0,22	2,11	±0,25	1,08	±0,28	1,05	±0,21
ALM-A (t3)	1,06	±0,12	1,82	±0,15	1,65	±0,01	1,73	±0,22	1,33	±0,10	1,32	±0,01	1,06	±0,00

La formación de suelos salinos depende de una serie de factores fundamentales, que son: la litología de los materiales geológicos, la geomorfología del terreno, la climatología que presenta el lugar o región de estudio, la hidrología y, por último, los de tipo antropogénico (Porta et al. 2008). En este último, al ser nuestro suelo agrícola, se ha de hacer hincapié. La presencia del ser humano puede producir salinización de suelos agrícolas, que se acentúan cuando se producen transformaciones a regadío con una mala realización de la transformación. Así pues, el riego con aguas salinas, la acumulación de sales en el entorno radicular de árboles por un riego concentrado, el no uso de drenaje, entre otros; son factores que puede dar lugar a esta situación.

En el instante inicial del ensayo en campo (t0), los valores del suelo control de CE en *ALM-J* y *ALM-A* se muestran muy próximos entre sí (1,90 y 1,87 dS cm^{-1} respectivamente) y

muy superiores al valor de CE para el suelo control en *CARD* (138,67 μS cm^{-1}), es decir, un valor alrededor de trece veces menor. Esta enorme diferencia puede deberse debe a que las parcelas *ALM-J* y *ALM-A* se riegan con un agua con alto contenido en sales, desde hace muchos años y la parcela *CARD* no, puesto que no albergaba cultivos antes del proyecto de investigación (Figura A.1).

Los comportamientos de los suelos *CARD*, *ALM-J* y *ALM-A* ante la aplicación de los tratamientos respecto a la CE se muestra dispar. Al inicio (t0), en el suelo *CARD* se produce un aumento del valor para DC d1 y d2, DS d2 y M d1. En cambio, para *ALM-J* se produce un descenso en DC y un leve aumento en M d2. Por último, el suelo *ALM-A* registra una disminución de la CE para todos los tratamientos a excepción de DS d1 (Figura A.1).

Con el paso del tiempo, en el siguiente muestreo (t3) se registra un aumento de los valores para todas las muestras en *CARD* y *ALM-J* con respecto a t0. En el caso del suelo *ALM-A*, este aumento se produce en los suelos tratados, pero no así en el valor control, que disminuye de forma destacable con respecto al valor control en t0. A t3, los aumentos son significativos para todos los suelos en las muestras tratadas con DC y, con DS d1 para *CARD* y *ALM-A* (Figura A.1).

Aunque los datos nos revelan que no se produce un drástico aumento de la CE que sobrepase niveles anormales para los suelos de esta zona, la aplicación de digeridos influye de manera general en la CE, a veces aumentándola (como en la parcela *CARD*) y otras disminuyéndola (parcela *ALM-J* y *ALM-A*). Es posible que el riego con determinadas aguas ricas en sales deba provocar mayor preocupación que estas enmiendas ante el riesgo de salinización de los suelos.

4.2.2. Microorganismos patógenos.

Desde el punto de vista agrícola es un factor importante a tener en cuenta, puesto que es interesante conocer la cantidad de microorganismos y su capacidad de supervivencia, con el fin de prever las posibles contaminaciones por ingestión de partes comestibles de plantas que hayan podido estar en contacto con los lodos. La supervivencia en el suelo de patógenos es muy variable, puesto que va desde pocos días a varios años.

Los patógenos juegan un papel importante en la supervivencia de determinadas especies, pudiendo afectar gravemente a los organismos vivos que habitan el entorno y están en contacto con el propio suelo o con plantas cuyas hojas están en contacto con el suelo. Los patógenos pueden producir importantes infecciones tanto en seres humanos como en los demás seres vivos del medio.

Además, el trabajo de investigación se basa en un proyecto europeo con el que se intenta disminuir la carga contaminante presente en los lodos y purines de ganadería mediante un proceso de digestión innovador. Entre esa carga contaminante también se encuentran los patógenos. En el trabajo de investigación se ha estudiado la presencia de *Clostridium perfringers, Escherichia Coli β-D-glucuronidasa y Salmonella spp*.

Por un lado, los resultados de los análisis microbiológicos muestran que solo cuatro muestras de suelo (dos DC y dos M) presentan *Salmonella spp.* a la vez que se detecta *Escherichia Coli* en cuatro muestras (una de ellas un DS, pero con un valor muy pequeño comparado con las otras tres, DC y M). Por otro lado, los resultados de *Clostridium perfringers* son los más insatisfactorios pues se dan 13 positivos, de los cuales hay 6 que son muestras DS. Al cabo de tres meses (t3) se produce un descenso o la desaparición del patógeno en la

mayoría de los casos (Tabla 4.4) Aunque su presencia de *Clostridium perfringers* es esperable en los suelos enmendados con productos provenientes de una digestión anaerobia pues este patógeno necesita de esas condiciones para poder desarrollarse.

Tabla 4.4. Resultados de los análisis de patógenos en el suelo *Clostridium perfringers* (superior), *Escherichia Coli β-D-glucuronidasa* (centro) *y Salmonella spp* (inferior).

	C	DC d1	DC d2	DS d1	DS d2	M d1	M d2
CARD (t0)	<40	<10	$3.8x10^2$	$2.1x10^2$	50	$1.3x10^3$	<10
CARD(t3)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
ALM-J (t0)	<10	<10	<10	<10	$2,0x10^2$	50	<10
ALM-J (t3)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
ALM-A (t0)	<10	$3.8x10^2$	$2.1x10^2$	50	$1.3x10^3$	<10	$4.2 x10^2$
ALM-A (t3)	<10	<10	<10	<10	$3,6x10^2$	<10	<10
CARD (t0)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
CARD (t3)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
ALM-J (t0)	<10	$9,9x10^3$	$5,7x10^3$	<10	<10	$1,1x10^3$	<10
ALM-J (t3)	<10	<10	<10	<40	<10	<10	<10
ALM-A (t0)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
ALM-A (t3)	<40	<10	<10	<10	60	<40	<40
CARD (t0)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
CARD (t3)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
ALM-J (t0)	ND	D	D	ND	ND	ND	ND
ALM-J (t3)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
ALM-A (t0)	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
ALM-A (t3)	ND	ND	ND	ND	ND	D	D

D, detectado; ND, no detectado.

En resumen, el proceso de digestión anaerobia en dos fases de temperatura acoplado a una ozonización y cavitación se muestra efectivo para la eliminación de *Salmonella spp.* y de *Escherichia Coli*. No obstante, no se puede decir lo mismo con el *Clostridium perfringers*. Aunque en este último caso, el paso de 3 meses es suficiente para la erradicación del patógeno en un 80% de las veces. Además, se puede pues concluir que, a pesar de que las muestras orgánicas pueden contener microorganismos patógenos del tipo *Salmonella* y *E coli*, una vez que dichos materiales orgánicos son introducidos en el suelo, desaparecen las condiciones de vida de este tipo de patógeno, prácticamente en todos los casos. Las condiciones de luz, temperatura, y tipo de suelos, hacen que, en principio, no suponga un problema desde este punto de vista. Pensamos que el control de patógenos en los materiales orgánicos debe ser exigente (y STO3RE es adecuado para la higienización del material), no por su problema en suelos (como se acaba de señalar), sino por su propio manejo, durante el cual puede haber algún tipo de contaminación hacia la persona que lo maneja, o incluso, por contacto, hacia algún material vegetal.

4.2.3. Aniones.

Los elementos químicos pueden presentarse en el suelo en forma aniónica además de en forma catiónica. En este caso, nos interesa conocer si algunos de los cationes aportados al suelo se incrementan en niveles significativos pudiendo esto derivar en problemas ambientales cuando estos aniones se laven y vayan a parar a masas de agua, donde pueden incrementar el contenido de nutrientes y producir fenómenos de eutrofización. En esta investigación se estudiaron los siguientes aniones: cloruro (Cl^-), nitrato (NO_3^-), sulfato (SO_4^{2-}), fosfato (PO_4^{3-}), nitrito (NO_2^-) y fluoruro (F^-). Los tres últimos aniones mostraron siempre valores por debajo del límite de detección (<1 mg L^{-1}). Los valores en *ALM-J* y *ALM-A* son

mayores al suelo *CARD* debido, con seguridad, a que la dosis se adiciona alrededor del pie del árbol y no se produce un laboreo posterior del suelo que permita mezclarlo con la enmienda y porque estos suelos han estado sometidos a fertilización durante años (Tablas A.15, A.16, A.17).

Los suelos enmendados muestran comportamientos dispares en los contenidos de estos aniones. En un principio, tras la aplicación de las enmiendas (t0), en el suelo *CARD*, se produce un aumento de la concentración de cloruro, mientras que no se observan variaciones destacables para nitrato y sulfato. En el segundo muestreo (t3) tiene lugar una leve disminución del valor de cloruro en el suelo y un aumento en nitrato y sobre todo en los sulfatos donde el aumento es muy destacable y más generalizado, aunque se produce de igual forma en el valor control para ambos aniones (Figura 4.6).

El suelo *ALM-J* muestra valores control de cloruro y sulfato superiores a los del suelo *CARD*. La adición de las enmiendas produce resultados dispares entre tipos de tratamientos. El anión cloruro parece ver reforzada su presencia en el suelo con DS d2 y M d1, aunque el resto de tratamientos proyectan una reducción del contenido en suelo en un primer instante (t0). Similar resultado parece presentar el anión sulfato a t0, donde se observan valores inferiores al suelo control en los tratamientos DC y DS y similares en M. El anión nitrato tiende a incrementarse con todos los tratamientos, aunque el aumento es destacable con DC y M en su dosis máxima (Figura 4.6). El paso del tiempo produce descensos en el contenido de los aniones para el DS y M, pero también para el suelo no enmendado en cloruro y sulfato y aumentos en DC con respecto a los valores a t0.

Por último, el comportamiento en el suelo *ALM-A* es muy similar entre aniones. Se producen aumentos en algunos tratamientos mientras que los otros se mantienen invariables respecto al suelo control. Estos son DS d2 para cloruro y sulfato. En el caso del nitrato el aumento tiende a tener un carácter más general, aunque es muy destacable en el caso de las dosis 2 de los digeridos. El paso del tiempo produce una disminución drástica de los valores que se igualan al valor del suelo control (Figura 4.6).

En resumen, el comportamiento de los aniones es distinto para los distintos suelos estudiados y mientras que algunos ven disminuido su contenido, como el caso de sulfatos y cloruros en *ALM-J*, otros ven como aumenta destacablemente su nivel, como en el caso de *ALM-A*. El efecto del tiempo corrige el *input* en el suelo *ALM-A*, pero no así en *ALM-J* y en *CARD* (en el caso de sulfatos) donde marcan contenidos superiores al control. En general, los digeridos (DC y DS) suelen aportar mayor cantidad de aniones al suelo que la mezcla fresca (M).

En cuanto al anión nitrato, su contenido suele incrementarse en el instante posterior a la aplicación de la enmienda, en los suelos que soportan los cultivos de almendro (*ALM-J* y *ALM-A*) más que en el suelo *CARD*. Con el paso del tiempo, se observan algunos descensos del contenido, más acentuados en *ALM-A*. Esto podría deberse a que las necesidades nutricionales de los almendros adultos (muy "maduros" ya) serían superiores a las del cardo y almendro joven. No hay evidencias de graves problemas de pérdida de aniones que puedan significar procesos de lavado.

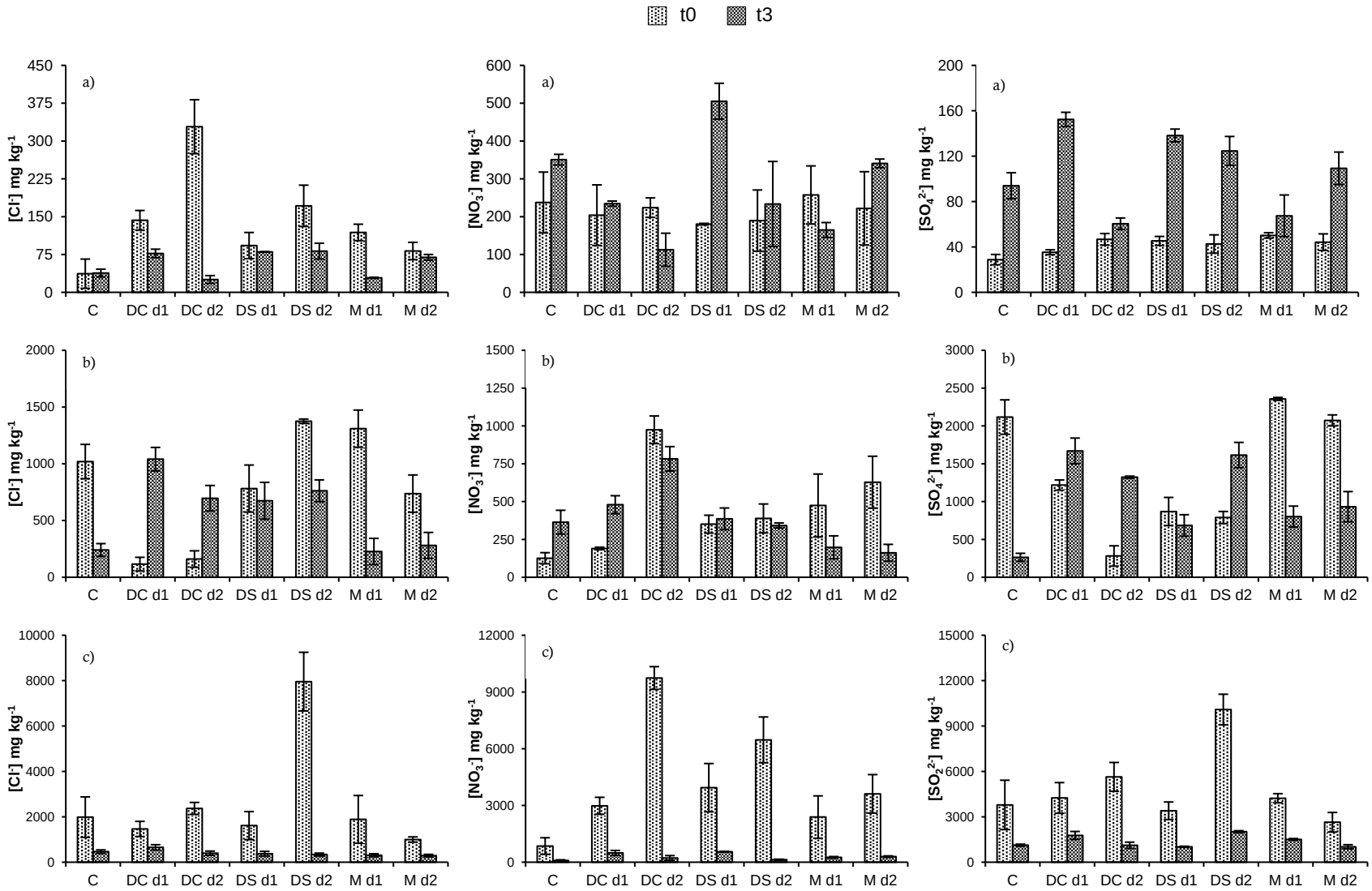


Figura 4.4. Valores medios y desviación estándar de concentración de cloruro, nitrato y sulfato (mg kg^{-1}) en los suelos CARD (a), ALM-J (b) y ALM-A (c) a t0 y t3. Las letras de significación correspondientes a los tratamientos se encuentran en las tablas A.33, A.34 y A.35.

Es importante señalar que la variabilidad existente entre las diferentes muestras de suelos analizadas durante nuestro experimento hace que puedan existir algunos valores llamativos por exceso o defecto, pero que en realidad son mayormente debidos al muestreo, y no a la entrada de un tratamiento orgánico u otro, o al tipo de suelo de que se trate.

De todas formas, es necesario control el nivel de los aniones para que no puedan producirse la llegada de los mismos a masas de agua y den lugar a problemas ambientales. En el caso del anión fosfato, no hay problema alguno al no haberse detectado en ningún suelo.

4.2.4. Metales pesados.

Uno de los problemas ambientales que se derivan del uso de residuos orgánicos (en este caso, lodos de depuración) en la agricultura como biofertilizantes es el alto contenido en algunos metales pesados que estos poseen y que pueden producir un incremento de los niveles de metales en el suelo agrícola. Cuando los metales llegan al suelo, estos pueden quedarse retenidos en el mismo, ser lavados y contaminar las masas de aguas del entorno o ser absorbidos por las plantas (Fang et al., 2016).

Los metales pesados se pueden definir como aquellos elementos tales que por sus efectos tóxicos y persistencia, son considerados como contaminantes ambientales. En la actualidad, los elementos considerados como más peligrosos son el Cd, Pb, Hg, Cu, Zn, Sb, Cr y As. El contenido de los metales pesados puede ser un factor limitante para la aplicación de residuos biodegradables en suelos agrícolas. Entre los metales pesados más comúnmente encontrados están Cr, Ni, Cu, Zn, Cd, y Pb. Algunos de ellos como el Cu y el Zn son elementos esenciales para la planta y su deficiencia puede provocar problemas en los cultivos, mientras que si se encuentran en exceso implican riesgos de toxicidad. Los otros, no tienen funciones fisiológicas reconocidas y su presencia en el suelo siempre será un riesgo potencial, ya sea para las plantas o para los consumidores.

Una forma de evaluar el riesgo de contaminación de los suelos por la aplicación de lodos de depuración es comparar los contenidos presentes en el suelo tras aplicar la enmienda orgánica, con los valores límite de concentración de metales pesados que se recogen en el anexo I A del Real Decreto 1310/1990. Los metales pesados analizados son: cadmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), manganeso (Mn), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn).

Los resultados obtenidos en laboratorio nos indican que la aplicación de enmiendas parece dibujar un mantenimiento de los niveles de metales pesados en los suelos tratados respecto a los suelos nos enmendados (Tablas A.21, A.22, A.23, A.24). Aun así, existe algún suelo que puede experimentar un leve incremento en la concentración de alguno de ellos, aunque en ningún caso se alcanzan los valores máximos fijados por la legislación, ya que quedan muy por debajo de estos valores.

Un aspecto a señalar, y que además es redundante durante todo el estudio, es la variabilidad existente entre las diferentes muestras de suelos analizadas durante nuestro experimento- Este hecho puede considerarse como normal, debido no sólo a la propia variabilidad que introduce el suelo en sí mismo (el suelo es una matriz muy compleja, como es bien sabido), sino a que hemos llevado a cabo diferentes adiciones con enmiendas orgánicas, cuya incorporación al suelo (y a pesar de que se ha tratado de hacer el mejor manejo posible), no resulta una mezcla suelo-enmienda totalmente homogénea. Se ha muestreado parcelas por triplicado, y cada una de las muestras es a su vez, mezcla de diversas

submuestras, pero es seguro que una cierta heterogeneidad sigue existiendo. Esto hace que, para algunos parámetros como los metales pesados, puedan existir algunos valores llamativos por exceso o defecto, pero que en realidad son mayormente debidos al muestreo, y no a la entrada de un tratamiento orgánico u otro, o al tipo de suelo de que se trate.

Después de los análisis realizados con relación a los metales pesados, y a pesar de la variabilidad que hemos señalado, podemos asegurar que nuestro estudio pone de manifiesto que la aplicación de estas enmiendas no produce problemas de acumulación de metales pesados en los suelos y que, además, en muchos casos, las enmiendas tratadas dan valores inferiores a la mezcla. También, un aspecto a señalar es que con el pH que muestran los suelos de estudio (y en general, los suelos agrícolas de la Región de Murcia), los elementos en el suelo (entre ellos, los metales pesados), están muy inmovilizados, y es difícil que pasen a las plantas, y por tanto a la cadena trófica.

4.3. Parámetros relativos a la actividad microbiana.

Un aspecto de claro interés en todos los estudios que se llevan a cabo con el suelo como actor principal, y más aún cuando dicho suelo es enmendado con diferentes materiales orgánicos de carácter residual, como es el caso de este estudio, es el interés sobre aspectos de biodiversidad de dicho suelo; son los microrganismos existentes en el suelo los que llevan a cabo los procesos más importantes que se desarrollan sobre él, ya que la acción de las comunidades microbianas que lo habitan y la actividad que estas desempeñan en el suelo, permiten liberar al medio importantes cantidades de nutrientes que son utilizados por otros organismos para nutrirse, así como realizar los procesos de degradación y humificación de la materia orgánica existente en el suelo.

En este Trabajo Fin de Máster se ha considerado de interés las determinaciones de actividades enzimáticas del tipo hidrolasas, implicadas en los ciclos de elementos de interés desde una perspectiva biogeoquímica (C, P y N), así como una medida generalista sobre la actividad metabólica del suelo, como es la respiración microbiana, determinada mediante medida del desprendimiento de CO_2.

4.3.1. Actividad enzimática.

Las enzimas que podemos encontrar en el suelo son las encargadas de llevar a cabo un proceso de reciclado de los constituyentes ricos en carbono de las biomoléculas que forman parte de los restos de plantas y de organismos que se depositan en el suelo (materia orgánica fresca) durante su proceso de degradación y descomposición. Algunas de estas enzimas son de carácter extracelular (EE), es decir, son producidas por microorganismos, como bacterias, y excretadas fuera del medio celular. El proceso de síntesis de enzimas extracelulares está regulado por una serie de moléculas que controlan el medio más próximo a los microorganismos y activan la producción de enzimas cuando tanto la composición como la densidad de población de microbiana y del substrato es apropiada (Burns et al., 2013).

Debido a la influencia que ejercen sobre los procesos de descomposición de la materia orgánica y su mineralización, la enzimología es estudiada desde hace mucho tiempo porque permite conocer los procesos que rigen esta descomposición y cómo influyen los cambios, naturales o no, que se producen en el suelo (Medina, 2012). Normalmente, de todas las enzimas existentes en el suelo, se estudian aquellas que se sitúan en las etapas finales del

proceso de mineralización porque además de ser fáciles de evaluar, sus productos son las sustancias que asimilarán los organismos del suelo (Medina, 2012). En este caso, las enzimas determinadas son 4: ***β-glucosidasa, fosfatasa, glicina amino-peptidasa*** y ***ureasa***.

En general, las actividades enzimáticas del tipo hidrolasas están relacionadas directamente con los ciclos de algunos elementos, que son los nutrientes más importantes para los organismos que viven en el suelo. Estas actividades enzimáticas son: β-glucosidasa y el ciclo del C, fosfatasa y el ciclo del P y glicina amino-peptidasa y ureasa con el ciclo del N.

La actividad enzimática que se determina en laboratorio es la máxima actividad enzimática "potencial", ya que se determina en condiciones idóneas de sustrato, y temperatura; esto se ha de tener en cuenta. Se han de tratar los resultados obtenidos siempre considerando su carácter potencial.

Todas las actividades han mostrado contener diferencias significativas entre sus distintos grupos de datos tras habérsele realizado el test ANOVA. De esta manera, el estudio de las actividades enzimáticas puede ser tomado como claro indicador de qué ocurre en el suelo, al ser parámetros muy sensibles a los cambios, tales como a la enmienda orgánica en los suelos.

4.2.2.1. β-glucosidasa.

La enzima β-glucosidasa es un tipo de glicosidasa que cataliza la hidrólisis de glicósidos, en este caso varios sustratos de β-D-glucósido, y da como producto la glucosa y su aglicón correspondiente. Esta enzima, junto con el resto de glicosidasas, juega un papel importante en el suelo al proveer de fuentes de energía a los microorganismos del suelo (Eivazi y Tabatabai, 1987).

Los suelos no enmendados *CARD, ALM-J* y *ALM-A* muestran valores iniciales diferentes para esta actividad enzimática. Los mayores valores los encontramos en suelos bajo almendros adultos; este hecho podría explicarse porque en este tipo de cultivo se ha fertilizado durante años, y este aspecto, junto con quizás un mayor aporte de residuos derivados del propio árbol, al suelo, es lo que puede explicar una mayor cantidad de sustratos, y, por tanto, mayor actividad enzimática. El suelo *ALM-A* muestra un valor cuatro veces mayor al del suelo *ALM-J* (Tabla A.11).

Cuando los suelos son fertilizados con los materiales orgánicos ensayados en este estudio (t0), podemos comprobar que, excepto en algún caso aislado, existen pocas diferencias entre suelos control y suelos enmendados (independientemente de la enmienda), para suelos de cultivo de cardo y de almendros jóvenes. Sí se detectan diferencias de esta actividad enzimática en los suelos bajo almendros adultos, quizás como ya se ha señalado antes, por el tiempo que este cultivo lleva en marcha, y la diferente fertilización y acumulación de restos vegetales, que los demás suelos estudiados. A t0 se registran algunos tratamientos que producen un aumento de la actividad potencial de la β-glucosidasa en suelo. Estos son DC d2 para el suelo *CARD*, DC d1 y d2 y M d2 para *ALMJ* y DS d1 y d2y M d2 para *ALMA*. El resto de tratamientos no producen alteraciones respecto al valor del suelo control para cada cultivo (Figura 4.4).

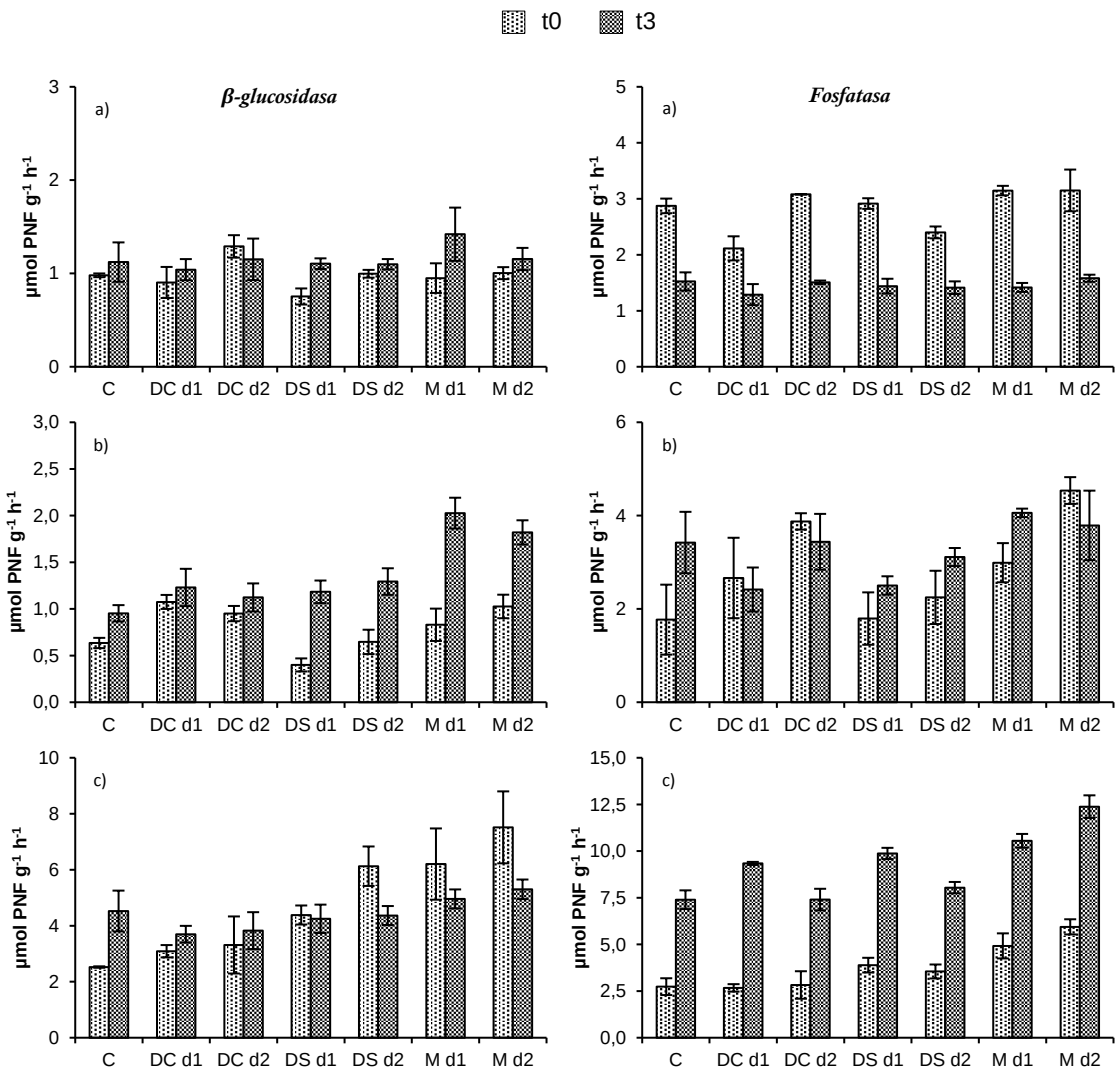


Figura 4.5. Valores medios y desviación estándar de la actividad enzimática potencial de β-glucosidasa (µmol PNF g^{-1} h^{-1}) y fosfatasa (µmol PNF g^{-1} h^{-1}) en los suelos CARD (a), ALM-J (b) y ALM-A (c) a t0 y t3. Las letras de significación correspondientes a los tratamientos se encuentran en las tablas A.33, A.34 y A.35.

Con el paso del tiempo (t3) los suelos no enmendados suelen ver aumentada la actividad potencial de esta enzima a la vez que los valores para el resto de tratamiento se equilibran al valor de los suelos control, a excepción de los suelos tratados con M en *CARD* y *ALMJ*, donde aumenta su valor de forma significativa (Figura 4.5).

Así pues, se observa que de forma general no se producen diferencias en la actividad enzimática de suelos enmendados con respecto a los no enmendados. Si bien, algunos los suelos tratados con DC y M producen aumentos en la actividad enzimática potencial, que se mantienen en el tiempo en los tratamientos con M. Para todos los suelos, el tratamiento con DS no produce alteración alguna en la actividad de la enzima β-glucosidasa.

4.2.2.2. Fosfatasa.

El fósforo (P) es un nutriente esencial para todos los organismos vivos. En el suelo, una forma de acceder a la forma asimilable para los organismos es por medio de la acción de una serie de enzimas: las fosfatasas. Éstas son unas enzimas que catalizan la hidrólisis de

los ésteres y anhídridos del ácido fosfórico y son clasificadas en varios tipos (Nannipieri et al., 2011).

La fosfatasa actúa en el ciclo del P en el suelo al mineralizar el P orgánico y permitir que este pase a forma soluble, que será asimilable por la planta reutilizando el fósforo de nuevo. Es, por tanto, una enzima "práctica", desde el punto de vista que puede poner en valor un nutriente que cada vez es más importante (P), y pasarlo de forma no asimilable a asimilable para plantas y organismos.

De manera general, parece que en el punto inicial de muestreo (t0), los valores de actividad fosfatasa en suelos enmendados son más elevados que en los suelos no enmendados; eso es indicativo de que los materiales orgánicos han introducido sustratos capaces de activar la enzima (todas las enzimas son específicas de un sustrato), así como poblaciones microbianas activas, que permiten la acción de las hidrolasas. En el caso de la enzima fosfatasa, los resultados a t0 revelan que la mayor actividad enzimática potencial se da en los suelos *CARD* y *ALM-A* (Tabla A.12).

Existen algunas diferencias, bien desde un punto de vista significativo estadísticamente, o bien a nivel de "tendencia", con relación a los tratamientos empleados, y a los suelos bajo diferente cultivo; por ejemplo, en el suelo *CARD* se observa una disminución de la actividad en la dosis alta del tratamiento DC; algo similar se observa para el digerido STO3RE, aunque no de manera estadísticamente significativa. Podría ser que exista algún elemento en contra (mayor salinidad, por ejemplo), que explique esta ligera disminución, pero también hay que tener presente la heterogeneidad de las propias muestras, y la variabilidad que ello acarrea (ya se señaló en otros apartados), y esto a veces justifica algunos comportamientos erráticos. También parece que las muestras "frescas" pueden incrementar la actividad enzimática fosfomonoesterasa, al inicio del experimento, posiblemente a que, al no estar digeridas, mantienen una mayor cantidad de sustratos y biomasa microbiana (Figura 4.5).

Se recuerda que, tanto para esta enzima como para las demás hidrolasas estudiadas en este apartado, mayor valor de actividad enzimática implica una mineralización del elemento o nutriente en cuestión; para el caso de la fosfatasa, el P sufre mineralización si la actividad muestra valores elevados. Esto quiere decir que después de tres meses de experimento (t3), se observa una disminución de actividad fosfatasa en *CARD* y un aumento en *ALM-A*. Este hecho es indicativo de que habrá menor mineralización de P en suelos bajo cardo, y mayor en suelos bajo almendros maduros; no es descartable de que la vegetación demande P en este momento en el caso del almendro maduro y no así en el cardo. Los valores obtenidos al analizar las muestras de actividad fosfatasa, en general, revelan que los valores de dicha actividad se van asemejando a los mostrados en el suelo control, alcanzando un equilibrio en torno a él, con alguna excepción como suele ocurrir (Figura 4.5).

En resumen, la aplicación de enmiendas influye sobre la actividad fosfatasa de manera clara, al aportar sustratos fosforados capaces de hacer que las poblaciones sinteticen la enzima; con el tiempo, dicha actividad se va acercando a valores de los suelos control.

4.2.2.3. Glicina amino-peptidasa.

La glicina amino-peptidasa es una enzima que transforma el sustrato aportado por la enmienda en N asimilable para los organismos vivos del suelo. Por tanto, influye en el ciclo

del N. Como el resto de peptidasas, la glicina amino-peptidasa produce la hidrólisis de péptidos, fragmentando la molécula por el enlace C-N amídico.

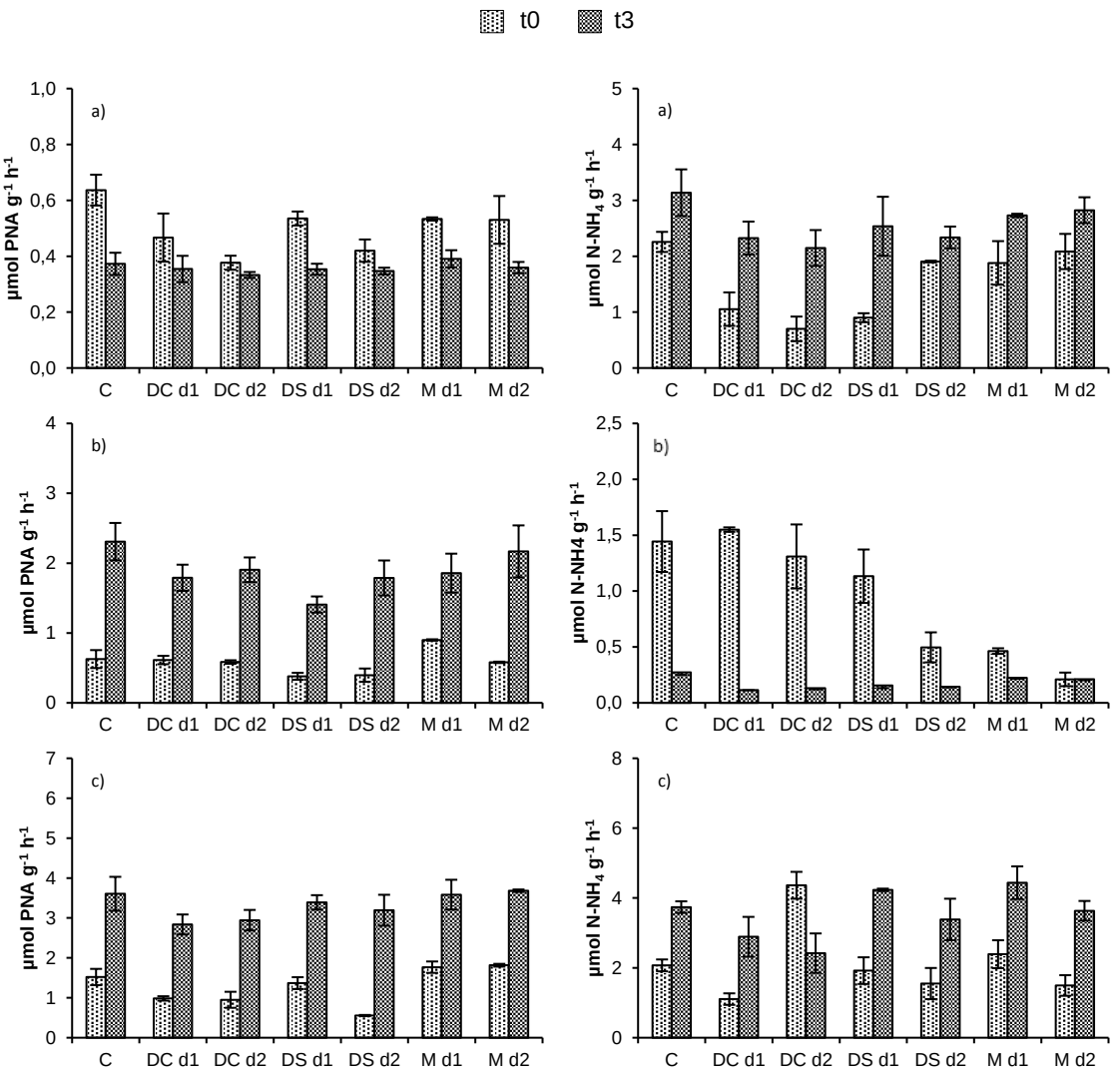


Figura 4.6. Valores medios y desviación estándar de la actividad enzimática potencial de glicina amino-peptidasa (µmol PNA g^{-1} h^{-1}) y ureasa (µmol N-NH_4 g^{-1} h^{-1}) en los suelos CARD (a), ALM-J (b) y ALM-A (c) a t0 y t3. Las letras de significación correspondientes a los tratamientos se encuentran en las tablas A.33, A.34 y A.35.

En el instante anterior a la aplicación de las enmiendas orgánicas, el suelo en el que se encuentran los almendros adultos (suelo *ALM-A*) presenta un valor control de actividad enzimática potencial superior a los otros dos suelos (*CARD* y *ALM-J*), siendo ésta más del doble del valor para los suelos de la parcela *CARD* y *ALM-J* (Tabla A.13). Como se ha comentado anteriormente, el hecho de que los mayores valores se encuentren en suelos bajo almendros adultos podría tener explicación en la fertilización que ha tenido este suelo durante años, y este aspecto, junto con quizás un mayor aporte de residuos derivados del propio árbol, al suelo, es lo que puede explicar una mayor cantidad de sustratos, y, por tanto, mayor actividad enzimática.

En el instante posterior a la aplicación de las enmiendas, se puede observar que en general, no hay diferencias importantes entre los suelos enmendados y el suelo control. Aun así, algunos de ellos sí sufren cambios, por ejemplo, los suelos tratados con DC sufren un

descenso de la actividad potencial de la enzima glicina amino-peptidasa. Junto con DC, los suelos *CARD* y *ALM-A* se ven además afectados de la misma forma por DS d2 y los suelos *ALM-J* por M d2. El resto de tratamientos revelan valores muy próximos al valor control para cada suelo (Figura 4.6).

Con el paso del tiempo, t3, se observa una disminución del valor base para el suelo *CARD* y un aumento importante, en torno a 3 veces, del valor base para los suelos *ALM-J* y *ALM-A*. El resto de tratamientos muestra valores que tienden a aproximarse al valor control (Figura 4.6). Este hecho es indicativo de que habrá una mayor mineralización de N en los suelos que soportan los cultivos de almendro que en el suelo con cardo.

Por tanto, se puede afirmar que la aplicación de digeridos provoca una disminución en la actividad potencial de la glicina en un primer instante, debido a que estas enmiendas suponen un *input* de N en forma asimilable para las plantas y no es necesaria la secreción de enzimas para satisfacer la demanda nutricional de los cultivos. Con el paso de 3 meses este efecto desaparece casi por completo. Aunque aquellos suelos que han sufrido un descenso mayor en su actividad potencial requerirán un periodo algo mayor para equilibrase al valor control que el resto de suelos con otros tratamientos. Esto puede deberse a que los digeridos aportan en un instante inicial una cantidad de nutrientes que hace innecesario el uso de las enzimas.

4.2.2.4. Ureasa.

La enzima ureasa se encuentra de manera extracelular, adherida a la superficie de los agregados de materia orgánica y arcilla que existen en el suelo e influye directamente en el ciclo del N en el suelo al hidrolizar la urea en amoniaco (NH_3) (Fisher et al., 2017). Si esta hidrólisis tiene lugar dentro del suelo, el amoniaco pasará rápidamente a NH_4-N, mientras si tiene lugar en la superficie del suelo, el amoniaco se perderá rápidamente.

Los suelos no enmendados muestran valores distintos, a t0, para *CARD, ALM-J* y *ALM-A*. El suelo *CARD* no enmendado muestra el mayor valor de actividad enzimática potencial y *ALM-J* el menor (Tabla A.14).

Primero, en el suelo *CARD* se observa una disminución destacable de la actividad potencial en los tratamientos DC y en DS d1. A su vez, los tratamientos DS d2 y M originan un descenso de la actividad en el suelo *ALM-J*. Por último, en *ALM-A*, se produce un leve descenso debido al tratamiento DC d1 y un importante aumento en DC d2 (Figura 4.5). Esto puede deberse a que los digeridos (DC y DS) aportan al suelo mayor cantidad de N fácilmente asimilable por los organismos del suelo y los cultivos y, por tanto, ya no es necesaria la secreción de enzimas al suelo para hacer frente a la demanda de nutrientes. Mientras, la mezcla fresca (M) aporta mayor cantidad de sustrato y se observa una mayor actividad enzimática en los suelos enmendados con ésta. Con el paso del tiempo (t3) se observa un aumento del valor de los suelos no enmendados para *CARD*. El resto de tratamientos muestra valores que tienden a aproximarse al valor control de forma que alcancen un equilibrio en torno a este último (Figura 4.6).

En el caso de los suelos que soportan los cultivos de almendro, podemos observar una disminución, en general, de la actividad enzimática, que se explica, al igual que en el suelo *CARD*, por el aporte de N asimilable que supone la aplicación de las enmiendas al suelo. Aunque, en el caso del suelo *ALM-J* se produce un aumento cuando el suelo se trata con DC en su dosis alta. Tras un periodo de tiempo (t3), los valores de las actividades

enzimáticas aumentan para todas las muestras de suelo (enmendadas o no) *ALM-J*. Esto explica un aumento de la mineralización de N con el paso del tiempo que puede deberse a la pérdida de parte del N que estaba asimilable en un primer instante (t0) y a un aumento de la demanda nutricional de los cultivos. Mientras que en el caso de los suelos *ALM-A,* las actividades disminuyen pasados los 3 meses desde la aplicación de las enmiendas, siendo posible que la demanda de N sea menor en este momento para los almendros adultos.

A pesar de la variabilidad, en resumen, los resultados de las actividades potenciales de estas cuatro enzimas (β-glucosidasa, fosfatasa, glicina amino-peptidasa y ureasa) muestran influencias distintas en el instante posterior a la aplicación de las enmiendas. Mientras que la enmiendas no influyen de forma destacable en el ciclo del C (enzima β-glucosidasa), sí lo hacen en el resto de enzimas, estimulando la actividad de la fosfatasa y disminuyendo la de aquellas relacionadas con el ciclo del N.

Esta última afirmación se corrobora al realizar un test de correlación de Pearson a las actividades enzimáticas relacionadas con el ciclo del N (glicina amino-peptidasa y ureasa) frente al contenido en Nhidr para los diferentes tratamientos a tiempo 0. Como se observa en la Tabla 4.7, mayoritariamente existe una correlación de signo negativo entre las actividades y el contenido, claro indicador de que la adición de enmiendas favorece la entrada de formas disponibles de N en el suelo y esto repercute negativamente en la actividad de estas enzimas.

Tabla 4.7. Factor de correlación de Pearson para las variables Nhidr – ureasa y Nhidr – glicina en los tres suelos estudiados.

	CARD	ALM-J	ALM-A
Nhidr/glicina	-0,361	-0,656	0,411
Nhidr/ureasa	-0,903	0,123	-0,768

4.3.2. Respiración basal del suelo.

La respiración basal del suelo (en inglés, BSR) es uno de los indicadores biológicos más utilizados en el suelo para evaluar los posibles cambios que se puedan producir en la actividad de las diversas comunidades microbiológicas que existen en el suelo (Creamer et al., 2014). Para la determinación de la misma se realiza una determinación a partir del dióxido de carbono (CO_2) emitido por el suelo, o bien a partir del oxígeno (O_2) obtenido de la atmosfera por el mismo suelo. En este caso, se ha determinado a partir de la medida del CO_2. Además, tal y como apunta Creamer y otros (2014), la respiración es un indicador del proceso de mineralización de la materia orgánica que se está produciendo en el suelo.

A los datos obtenidos de las medidas realizadas a los triplicados de para cada tratamiento en los tres suelos objeto de estudio (Tabla A.25, A.26, A.27) se les ha realizado un test ANOVA, resultando significativas las diferencias para todos los grupos de datos. A continuación, se ha realizado un ajuste de regresión (Tabla A.28, A.29) a una función logarítmica ($y = a*ln(x)+b$) y se ha representado gráficamente todas las ecuaciones de regresión (Tabla A.28) con la intención de visualizar de forma clara las tendencias de respiración que describen estos 3 suelos bajo los distintos tratamientos (Figura A.9) y poder extraer información a partir de ellas.

En primer lugar, se detecta que, de manera general, todas las curvas de respiración guardan una similitud: en los primeros días, los suelos respiran de manera más acentuada, haciendo la pendiente de la curva mayor, y con el paso del tiempo, dicha pendiente se hace menor, indicativo de que los sustratos carbonados que originan la respiración de los microorganismos se van agotando.

Tabla 4.8. Valores de respiración acumulados a los 25 días del inicio de la incubación (mg CO_2 kg^{-1})

	CARD		ALM-J		ALM-A	
	t0	t3	t0	t3	t0	t3
Control	183,91	102,71	182,39	497,21	493,82	171,42
DC d1	329,14	134,91	207,37	535,67	442,32	179,35
DC d2	379,21	178,63	367,81	434,60	635,04	186,80
DS d1	272,31	157,64	236,67	332,84	829,56	200,89
DS d2	323,31	152,84	291,70	398,60	1361,33	238,86
M d1	405,38	250,13	556,70	680,36	716,05	296,88
M d2	401,08	166,52	766,52	533,64	983,85	213,91

Además, se observa también que en el punto inicial (t0), la respiración de los suelos tratados es mayor que la del suelo control; en este punto, los sustratos aportados por los materiales orgánicos están intactos, y son inmediatamente usados por los microrganismos. Después de tres meses (t3), ya existen menores diferencias entre el suelo control y los suelos enmendados, debido a que se han consumido una gran parte de los mencionados sustratos carbonados que originan la respiración microbiana. Estos resultados concuerdan con lo esperado, ya que la adición de MO estimula la actividad de los microorganismos del suelo en el instante más próximo a la aplicación de las enmiendas, pero decae con el paso del tiempo debido a los procesos de mineralización de la materia orgánica que llevan a cabo los microorganismos (Figura A.9, Tabla 4.8).

También cabe mencionar que, en el momento inicial del experimento, se observa una mayor respiración en los tratamientos con dosis altas frente a aquellos con dosis menores, indicativo de que un aumento de la MO aportada causa una mayor actividad microbiana. Además, esto es indicativo de que los materiales orgánicos introducidos, no causan ningún problema de toxicidad sobre las poblaciones microbianas que existen en el suelo, ya que, con dosis mayores, el comportamiento es el esperado (más dosis, mayor respiración microbiana). Con el paso del tiempo, estas diferencias se reducen (Figura A.9).

Por último, sumado a lo anterior, de las gráficas se extrae que el tratamiento con mezcla suele originar, en la mayoría de las veces, mayor actividad microbiana que el tratamiento con digeridos, ya sea convencional, u obtenidos mediante proceso STO3RE. Los digeridos tienen una MO más estable que las mezclas sin digerir, ya que éstas no han sufrido un proceso de digestión anaerobia. Las mezclas frescas, por tanto, genera mayor estimulación microbiana, mostrando un contenido de carbono superior en la mezcla que en los digeridos (325 frente a 281,5 y 296 g kg^{-1}) (Tabla 3.2).

5. Conclusiones.

Como resultado de la investigación llevada a cabo y expuesta en la memoria que constituye este Trabajo Final de Máster, se derivan las siguientes conclusiones:

1.- Los suelos, como matrices complejas que son, tienen un grado de variabilidad elevada, y ello implica una posible heterogeneidad en los muestreos. Cuando los suelos se enmiendan con materiales orgánicos, esta heterogeneidad aumenta. Puede pensarse que dicha heterogeneidad hace que, en ocasiones, no sea fácil explicar ciertos comportamientos de un determinado parámetro.

2. – La aplicación de las enmiendas orgánicas ensayadas en este estudio no muestran efectos claros sobre algunos parámetros relativos a las propiedades físicas de los suelos; tampoco se aprecian diferencias entre suelos enmendados y suelo control, para el pH y CE.

3. – Las enmiendas utilizadas manifiestan de manera parecida, un importante poder fertilizante de forma inmediata. El contenido en el suelo de Corg, N total y otros macro y micronutrientes se incrementa y con ello la fertilidad edáfica de dicho suelo. Las variaciones que se puedan observar en este tipo de parámetros, para los diferentes suelos de cultivo estudiados, se deben posiblemente al diferente manejo realizado y al tipo de cultivo

4.- En general, el contenido de las fracciones lábiles de C y N (fracciones solubles en agua), aumenta su valor en los suelos enmendados. Los valores de N soluble varían según las necesidades del cultivo; los suelos con almendros se comportan de manera algo diferente a los suelos con el cultivo de cardo. La adición de las enmiendas no supone un incremento del carbono estable.

5.- La aplicación de las diferentes enmiendas estimula la actividad microbiana del suelo. La respiración del suelo se incrementa en un inicio de manera más específica; también diversas actividades enzimáticas implicadas en el ciclo de C, N y P, se ven influenciadas por la incorporación de los materiales orgánicos al suelo. No se aprecian diferencias entre los dos digeridos estudiados en este experimento.

6.- El tratamiento STO3RE, consigue la eliminación total en el digerido, de *Escherichia Coli* y *Salmonella spp*. en el digerido resultante. Además, el digerido STO3RE logra un descenso en la carga de aniones suministrada al suelo respecto al digerido convencional, limitando así los problemas de eutrofización potencial. No existen problemas ambientales relacionados con los metales pesados.

7.- Se confirma la hipótesis establecida de antemano, relativa a fijar la escala temporal de la investigación en dos muestreos (en el momento inicial del ensayo, y al cabo de los tres meses). La mayoría de los efectos derivados de la aplicación de las enmiendas se disipan al paso de un periodo de tiempo de 3 meses, recuperándose el estado inicial casi por completo.

Como resumen de las conclusiones, se puede afirmar que los digeridos obtenidos en el proceso de biometanización alternativo estudiado, pueden ser reciclados en suelos agrícolas ***sin riesgo para el medio ambiente***. Este trabajo aboga por la entrada en el suelo de enmiendas orgánicas para poder así dar pasos hacia una clara sostenibilidad, pero su empleo siempre dependerá de la calidad de las enmiendas, de que se ejerza sobre ellas mismas un control estricto, y, además, se apliquen al suelo con un manejo adecuado.

6. Bibliografía.

Barron, L., Nesterenko, E., Hart, K., Power, E., Quinn, B., Kelleher, B., Paull, B., 2010. *Holistic visualisation of the multimodal transport and fate of twelve pharmaceuticals in biosolid enriched topsoils*. Analytical & Bioanalytical Chemistry 397, 287-296.

Bastida, F., Moreno, J.L., Hernández, T., García, C., 2006. *Microbiological degradation index of soils in a semiarid climate*. Soil Biology & Biochemistry 38, 3463-3473.

Burns, R.G., DeForest, J.L., Marxsen, J., Sinsabaugh, R.L., Stromberger, M.E., Wallenstein, M.D., Weintraub, M.N., Zoppini, A., 2013. *Soil enzymes in a changing environment: Current knowledge and future directions*. Soil Biology & Biochemistry 58, 216-234.

Carballa, M., Fink, G., Omil, F., Lema, J.M., Ternes, T., 2008. *Determination of the solid-water distribution coefficient (Kd) for pharmaceuticals, estrogens and musk fragrances in digested sludge.* Water Research 42, 287-295.

Certini, G., Ugolini, F.C., 2012. *An updated, expanded, universal definition of soil*. Geoderma. 192, 378-379.

Chen, F., Ying, G.G., Ma, Y.-B., Chen, Z.-F., Lai, H.-J., Peng, F.-J., 2014. *Field dissipation and risk assessment of typical personal care products TCC, TCS, AHTN and HHCB in biosolid-amended soils.* Science of the Total Environment 470-471, 1078-1086.

Creamer, R.E., Schulte, R.P.O., Stone, D., Gal, A., Krogh, P.H., Lo Papa, G., Murray, P.J., Pérès, G., Foerster, B., Rutgers, M., Sousa, J.P., Winding, A., 2014. *Measuring basal soil respiration across Europe: Do incubation temperature and incubation period matter?* Ecological Indicators 36, 409-418.

Comisión Europea (2016). *Circular economy: New Regulation to boost the use of organic and waste-based fertilisers*. [Ficha de datos] Recuperado de: http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-16-826_en.htm

Eivazi, F., Tabatabai, M.A., 1988. *Glucosidase and galactosidase in soils.* Soil Biology & Biochemistry 20 (5), 601-606.

España. Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre, por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario. *Boletín Oficial del Estado*, 1 de noviembre de 1990, núm. 262, pp. 32339-32340.

Fang, W., Wei, Y., Liu, J., 2016. *Comparative characterization of sewage sludge compost and soil: Heavy metal leaching characteristics*. Journal of Hazardous Materials 310, 1-10.

Fisher, K.A., Yarwood, S.A., James, B.R., 2017. *Soil urease activity and bacterial ureaC gene copy numbers: Effect of pH.* Geoderma 285, 1-8.

García, C., Hernández, T., Costa, F., 1994. *Microbial activity in soils under mediterranean environmental conditions*. Soil Biology & Biochemistry 26 (9), 1185-1191.

Gónzalez-Gil, L., Papa, M., Feretti, D., Ceretti, E., Mazzoleni, G., Steimberg, N., Pedrazzani, R., Bertanza, G., Lema, J.M., Carballa, M., 2016. *Is anaerobic digestion effective for the removal of organic micropolluants and biological activities from sewage sludge?* Water Research 102, 211-220.

Hernández, T., García, C., 2003. *Estimación de respiración microbiana del suelo*, En: García, C., Gil, S., Hernández, T., Trasar, C. (eds). Técnicas de análisis de parámetros bioquímicos en suelos, Actividades enzimáticas y Biomasa microbiana, Mundi-Prensa, Madrid, 311-346.

International Humic Substances Society (IHSS). (Diciembre, 2007). *What are humic substances?* [Texto]. Recuperado de: http://humic-substances.org/what-are-humic-substances-2/

ISO 6579-1:2017. *Microbiology of the food chain—Horizontal method for the detection, enumeration and serotyping of Salmonella—Part 1: Detection of Salmonella spp.* ISO, octubre de 2017.

ISO 15213:2003. *Microbiology of the food chain—Horizontal method for the enumeration of sulfite-reducing bacteria growing under anaerobic conditions.* ISO, mayo de 2003.

ISO 16649-1:2013. *Microbiology of the food chain—Horizontal method for the enumeration of beta-glucuronidase-positive Escherichia coli—Part 3: Detection and most probable number technique using 5-bromo-4-chloro-3-indolyl-ß-D-glucuronide.* ISO, enero de 2013.

IUSS Working Group WRB. 2015. *World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps.* World Soil Resources Reports 106. FAO, Roma.

Kalender, E., Gerber, H., 1988. *Short-term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium*. Biology & Fertility of Soils. 6, 68-72.

Karlen, D.L., Mausbach, M.J., Doran, J.W., Cline, R.G., Harris, R.F., Schuman, G.E., 1997. *Soil quality: a concept, definition and framework for evaluation*. Soil Science Society of America Journal 61, 4-10.

Luo, Y., Guo, W., Ngo, H.H., Nghiem, L.D., Hai, F.I., Zhang, J., Liang, S., Wang, X.C., 2014. *A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment*. Science of the Total Environment 473-474, 619-641.

Medina, M., 2012. *Caracterización bioquímica y microbiológica de un suelo de pradera de Dactylis glomerata y Medicago sativa bajo diferentes proporciones de siembra*. Salamanca, España: Ediciones Universidad de Salamanca.

Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA) (Febrero 2018). *Valorización y reciclaje material*. [Texto] Recuperado de:

http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-tratamiento/Tratamientos-biologicos-biometanizacion.aspx

Nannipieri, P., Landi, G.L., Renella, G., 2011. Role of Phosphatases Enzymes in Soil. En Bünemann, E.K., Oberson, A., Frossard, E., *Phosphorus in Action. Biological Processes in poil Phosphorus Cycling*, 245-244. New York, EEUU: Springer.

Oficina Europea de Estadística (EUROSTAT). (24 de Noviembre, 2014). *Sewage sludge production and disposal from urban wastewater (in dry substance (d.s)).* [Fichero de datos]. Recuperado de:

http://ec.europa.eu/eurostat/tgm/graph.do?tab=graph&plugin=1&pcode=ten00030&language=en&toolbox=data

Porta, J., López-Acevedo, M., Poch, R.M.: *Introducción a la Edafología: uso y protección del suelo.* Ediciones Mundi-Prensa, 451 pp. Madrid, 2008.

Sinsabaugh, R. L., Antibus, R. K., Linkins, A.E., McClaugherty, C. A., Rayburn, L., Repert, D., Weiland, T., 1993. *Wood descomposition: nitrogen and phosphorus dynamics in relation to extracellular enzyme activity.* Ecology. 74, 1586-1593.

Scaglia B., Adani F., 2009. *Biodegradability of soil water soluble organic carbon extracted from seven differents soils*. Journal of Environmental Sciences. 21, 641-646.

Soil Science Division Staff. 2017. Soil survey manual. C. Ditzler, K. Scheffe, and H.C. Monger (eds.). USDA Handbook 18. Government Printing Office, Washington, D.C.

Soil Survey Staff, 1999. Soil Taxonomy: *A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys*. 2nd edition. Natural Resources Conservation Service. U.S. Department of Agriculture Handbook 436.

Tabatabai, M.A., Bremmer, J.M., 1969. *Use of p-nitrophenyl phosphate activity*. Soil Biology & Biochemistry 1, 301-307.

Unión Europea. Directiva 1986/278 del Consejo, de 12 de junio de 1986, relativa a la protección del medioambiente, y en particular, de los suelos, en la utilización de los lodos de depuradora en la agricultura. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, 4 de julio de 1986, núm. 181, pp. 6-12.

Unión Europea. Directiva 1991/271 del Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, 30 de mayo de 1991, núm. 135, pp. 40-52.

Unión Europea. Directiva 1991/676 del Consejo, de 21 de mayo de 1991, relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, 31 de diciembre de 1991, núm. 375, pp. 1-8.

United Nations Department of Economic and Social Affairs/Population Division (UNDESA). 2017. *World Population Prospects: The 2017 Revision, Volume I: Comprehensive Tables*. pp 9-12. New York: United Nations.

U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), 2000. *Biosolids technology fact sheet: land application of biosolids*. EPA 832-F-00-064. Washington, DC: Office of Water.

Anexos

Tabla A.1. Valores de pH para los triplicados de muestra cogidos en cada parcela a t0 y t3, junto con su valor medio y la desviación estándar.

	CARD (t0)	CARD (t3)	ALM-J (t0)	ALM-J (t3)	ALM-A (t0)	ALM-A (t3)
C 1	8,53	8,64	8,18	8,62	8,38	8,56
C 2	8,61	8,71	8,19	8,57	8,45	8,75
C 3	8,53	8,63	8,27	8,66	8,46	8,68
media ± σ	8,56 0,05	8,66 0,04	8,21 0,05	8,62 0,04	8,43 0,04	8,66 0,10
DC d1.1	8,48	8,51	8,59	8,51	8,50	8,33
DC d1.2	8,65	8,67	8,20	8,57	8,65	8,40
DC d1.3	8,53	8,36	8,41	8,63	8,60	8,55
media ± σ	8,55 0,09	8,51 0,16	8,40 0,20	8,57 0,06	8,58 0,08	8,43 0,11
DC d2.1	8,75	8,70	8,32	8,42	8,40	8,21
DC d2.2	8,50	8,80	8,21	8,22	8,48	8,30
DC d2.3	8,59	8,63	7,99	8,22	8,28	8,26
media ± σ	8,61 0,13	8,71 0,09	8,17 0,17	8,29 0,12	8,39 0,10	8,26 0,04
DS d1.1	8,56	8,59	8,32	8,37	8,20	8,34
DS d1.2	8,50	8,53	8,28	8,18	8,36	8,50
DS d1.3	8,62	8,78	8,30	8,35	8,27	8,33
media ± σ	8,56 0,06	8,63 0,13	8,30 0,02	8,30 0,10	8,28 0,08	8,39 0,10
DS d2.1	8,51	8,58	8,26	8,37	8,34	8,47
DS d2.2	8,53	8,83	8,27	8,37	8,45	8,40
DS d2.3	8,66	8,45	8,25	8,58	8,39	8,38
media ± σ	8,57 0,08	8,62 0,19	8,26 0,01	8,44 0,12	8,39 0,06	8,42 0,05
M d1.1	8,35	8,77	8,21	8,22	8,50	8,54
M d1.2	8,52	8,65	8,19	8,36	8,62	8,49
M d1.3	8,42	8,66	8,20	8,40	8,49	8,59
media ± σ	8,43 0,09	8,69 0,07	8,20 0,01	8,33 0,09	8,54 0,07	8,54 0,05
M d2.1	8,38	8,53	8,26	8,36	8,49	8,52
M d2.2	8,36	8,58	8,20	8,46	8,36	8,41
M d2.3	8,37	8,66	8,00	8,35	8,55	8,36
media ± σ	8,37 0,01	8,59 0,07	8,15 0,14	8,39 0,06	8,47 0,10	8,43 0,08

Tabla A.2. Valores de CE (dS cm^{-1}) para los triplicados de muestra cogidos en cada parcela a t0 y t3, junto con su valor medio y la desviación estándar.

	CARD (t0)	CARD (t3)	ALM-J (t0)	ALM-J (t3)	ALM-A (t0)	ALM-A (t3)
C 1	0,15	0,24	1,97	2,12	1,87	1,06
C 2	0,12	0,20	1,80	2,20	2,04	0,94
C 3	0,15	0,26	1,92	2,03	1,70	1,18
media ± σ	0,14 0,01	0,23 0,03	1,90 0,09	2,12 0,09	1,87 0,17	1,06 0,12
DC d1.1	0,25	0,38	0,57	0,59	1,19	1,98
DC d1.2	0,21	0,30	0,52	1,15	1,12	1,67
DC d1.3	0,27	0,33	0,58	0,60	1,14	1,82
media ± σ	0,24 0,03	0,34 0,04	0,56 0,03	0,78 0,32	1,15 0,04	1,82 0,15
DC d2.1	0,39	0,25	0,58	0,66	1,56	1,63
DC d2.2	0,39	0,29	0,69	0,86	1,63	1,66
DC d2.3	0,30	0,34	0,62	1,31	1,60	1,65
media ± σ	0,36 0,05	0,29 0,04	0,63 0,06	0,94 0,33	1,60 0,03	1,65 0,01
DS d1.1	0,15	0,34	1,18	1,23	1,35	1,96
DS d1.2	0,20	0,39	1,55	1,62	1,06	1,73
DS d1.3	0,21	0,37	1,85	1,92	1,49	1,51
media ± σ	0,19 0,03	0,37 0,03	1,53 0,34	1,59 0,35	1,30 0,22	1,73 0,22
DS d2.1	0,32	0,38	2,08	2,24	1,82	1,43
DS d2.2	0,27	0,28	2,33	2,41	2,24	1,22
DS d2.3	0,29	0,29	2,11	1,96	2,28	1,33
media ± σ	0,29 0,03	0,32 0,05	2,17 0,14	2,20 0,23	2,11 0,25	1,33 0,10
M d1.1	0,27	0,23	2,07	2,58	0,96	1,33
M d1.2	0,21	0,26	2,47	2,80	1,40	1,31
M d1.3	0,30	0,27	2,20	3,01	0,87	1,32
media ± σ	0,26 0,04	0,26 0,02	2,25 0,20	2,80 0,22	1,08 0,28	1,32 0,01
M d2.1	0,25	0,41	2,69	2,55	0,94	1,06
M d2.2	0,26	0,38	2,80	2,54	1,29	1,06
M d2.3	0,20	0,35	2,43	2,56	0,93	1,06
media ± σ	0,23 0,03	0,38 0,03	2,64 0,19	2,55 0,01	1,05 0,21	1,06 0,00

Tabla A.3. Valores de densidad (g cm^{-3}) para los triplicados de muestra cogidos en cada parcela a t0 y t3, junto con su valor medio y la desviación estándar.

	CARD (t0)	CARD (t3)	ALM-J (t0)	ALM-J (t3)	ALM-A (t0)	ALM-A (t3)
C 1	1,17	1,17	1,16	1,10	1,13	1,19
C 2	1,10	1,10	1,13	1,12	1,10	1,10
C 3	1,14	1,14	1,16	1,11	1,09	1,28
media ± σ	1,14 0,04	1,14 0,04	1,15 0,02	1,11 0,01	1,11 0,02	1,19 0,09
DC d1.1	1,08	1,08	0,97	1,07	1,01	1,31
DC d1.2	1,10	1,10	1,04	1,06	0,98	1,30
DC d1.3	1,09	1,09	1,13	1,05	0,98	1,23
media ± σ	1,09 0,01	1,09 0,01	1,05 0,08	1,06 0,01	0,99 0,02	1,28 0,04
DC d2.1	1,09	1,09	1,09	1,07	1,00	1,29
DC d2.2	1,14	1,14	1,00	1,07	1,00	1,18
DC d2.3	1,24	1,12	1,02	1,06	0,96	1,24
media ± σ	1,16 0,08	1,12 0,02	1,04 0,05	1,07 0,01	0,99 0,02	1,24 0,06
DS d1.1	1,20	1,20	1,13	1,13	1,11	1,26
DS d1.2	1,22	1,22	1,19	1,14	1,07	1,29
DS d1.3	1,27	1,27	1,06	1,15	1,05	1,15
media ± σ	1,23 0,04	1,23 0,04	1,13 0,07	1,14 0,01	1,08 0,03	1,23 0,07
DS d2.1	1,16	1,16	1,23	1,07	1,02	1,25
DS d2.2	1,21	1,21	1,18	1,09	0,98	1,24
DS d2.3	1,15	1,15	1,08	1,08	1,03	1,17
media ± σ	1,17 0,03	1,17 0,03	1,16 0,08	1,08 0,01	1,01 0,03	1,22 0,04
M d1.1	1,14	1,14	1,17	1,11	0,96	1,24
M d1.2	1,17	1,17	1,15	1,12	1,03	1,23
M d1.3	1,17	1,17	1,06	1,10	0,93	1,09
media ± σ	1,16 0,02	1,16 0,02	1,13 0,06	1,11 0,01	0,97 0,05	1,19 0,08
M d2.1	1,14	1,14	1,13	1,11	1,06	1,20
M d2.2	1,17	1,17	1,20	1,10	0,97	1,13
M d2.3	1,17	1,17	1,08	1,11	0,96	1,25
media ± σ	1,16 0,02	1,16 0,02	1,14 0,06	1,11 0,01	1,00 0,06	1,19 0,06

Tabla A.4. Valores de CRH (%) para los triplicados de muestra cogidos en cada parcela a t0 y t3, junto con su valor medio y la desviación estándar.

	CARD (t0)	CARD (t3)	ALM-J (t0)	ALM-J (t3)	ALM-A (t0)	ALM-A (t3)
C 1	43,88	41,10	45,34	57,31	47,49	49,89
C 2	43,64	45,02	49,97	53,95	53,59	59,59
C 3	35,15	53,42	47,45	50,59	52,34	58,37
media ± σ	40,89 4,97	46,51 6,29	47,59 2,32	53,95 3,36	51,14 3,22	55,95 5,28
DC d1.1	32,46	39,38	48,23	40,47	50,56	51,14
DC d1.2	37,29	47,66	49,95	47,67	50,21	52,72
DC d1.3	34,28	45,50	50,86	50,09	47,99	52,67
media ± σ	34,68 2,44	44,18 4,29	49,68 1,34	46,08 5,00	49,59 1,39	52,18 0,90
DC d2.1	39,30	41,83	48,50	48,80	51,17	59,72
DC d2.2	39,48	43,21	49,57	47,30	58,80	60,34
DC d2.3	36,47	43,81	58,06	49,91	65,42	56,90
media ± σ	38,42 1,69	42,95 1,02	52,04 5,24	48,67 1,31	58,46 7,13	58,99 1,83
DS d1.1	42,83	44,96	45,31	49,50	55,85	53,50
DS d1.2	40,85	46,94	45,08	46,29	61,24	57,22
DS d1.3	32,13	39,03	50,71	51,35	55,01	60,72
media ± σ	38,60 5,69	43,64 4,12	47,03 3,19	49,05 2,56	57,37 3,38	57,15 3,61
DS d2.1	41,86	45,92	46,88	46,95	58,37	57,68
DS d2.2	39,70	40,77	51,09	48,54	60,03	57,21
DS d2.3	43,38	42,08	47,16	51,05	61,22	60,43
media ± σ	41,65 1,85	42,92 2,68	48,38 2,35	48,85 2,07	59,87 1,43	58,44 1,74
M d1.1	41,79	42,21	50,39	52,61	64,38	57,51
M d1.2	40,37	43,26	51,60	51,07	57,63	55,32
M d1.3	37,95	47,42	49,17	51,13	67,39	62,38
media ± σ	40,04 1,94	44,30 2,76	50,39 1,22	51,60 0,87	63,13 5,00	58,40 3,61
M d2.1	40,94	43,57	49,97	45,17	61,08	57,18
M d2.2	42,18	43,45	46,81	52,97	66,17	69,86
M d2.3	44,44	43,83	57,93	49,18	72,28	56,86
media ± σ	42,52 1,77	43,62 0,19	51,57 5,73	49,11 3,90	66,51 5,61	61,30 7,41

Tabla A.5. Valores de Ctotal (g kg^{-1}) para los triplicados de muestra cogidos en cada parcela a t0 y t3, junto con su valor medio y la desviación estándar.

	CARD (t0)	CARD (t3)	ALM-J (t0)	ALM-J (t3)	ALM-A (t0)	ALM-A (t3)
C 1	87,7	79,2	87,8	82,50	74,10	81,20
C 2	84,3	79,7	84,2	78,50	81,50	80,30
C 3	86,1	80,1	77,7	80,80	78,50	75,70
media ± σ	86 0,17	79,7 0,04	83,2 0,51	80,60 0,20	78,00 0,37	79,10 0,30
DC d1.1	87,8	78	99,3	93,50	70,40	85,60
DC d1.2	83,4	79,1	93,9	89,80	77,80	80,20
DC d1.3	85,3	78,6	104,6	74,10	67,40	86,60
media ± σ	85,5 0,22	7,86 0,6	99,3 0,54	85,80 10,30	71,90 0,54	84,10 0,34
DC d2.1	83,8	83,3	102,1	90,60	75,60	90,20
DC d2.2	88,8	81,5	97,6	84,00	71,70	96,30
DC d2.3	86,3	85,1	87,8	77,20	75,40	84,50
media ± σ	86,3 0,25	8,33 0,18	95,8 0,73	83,90 6,70	74,20 0,22	90,30 0,59
DS d1.1	87,9	82	102,7	84,20	78,80	74,50
DS d1.2	92,2	79,2	90,7	90,00	79,10	85,30
DS d1.3	84,3	79,8	94	79,40	78,10	88,70
media ± σ	88,1 0,4	8,03 0,15	95,8 0,62	84,50 5,30	78,70 0,05	82,80 0,74
DS d2.1	84,3	78,2	88,7	89,20	82,90	99,90
DS d2.2	84,2	79,5	94,6	81,50	93,10	89,50
DS d2.3	87,8	76,8	81	79,50	86,40	90,90
media ± σ	85,4 0,21	7,82 0,14	88,1 0,68	83,40 5,10	87,50 0,52	93,40 0,56
M d1.1	90,2	79,5	82	81,00	84,20	86,30
M d1.2	83,9	80,8	98,1	81,90	78,90	86,10
M d1.3	86,3	80,2	89	77,30	76,80	85,80
media ± σ	86,8 0,32	8,02 0,6	89,7 0,81	80,10 2,40	80,00 0,38	86,10 0,03
M d2.1	88	76,2	83,5	80,80	79,20	114,10
M d2.2	87,8	77,4	94,1	78,30	87,40	104,40
M d2.3	88,3	75	99	79,90	90,70	100,50
media ± σ	88 0,03	76,2 0,12	92,2 0,79	79,70 1,30	85,80 0,59	106,30 0,70

Tabla A.6. Valores de Corg (g kg^{-1}) para los triplicados de muestra cogidos en cada parcela a t0 y t3, junto con su valor medio y la desviación estándar.

	CARD (t0)	CARD (t3)	ALM-J (t0)	ALM-J (t3)	ALM-A (t0)	ALM-A (t3)
C 1	21,30	14,20	9,60	16,00	20,60	33,70
C 2	18,70	17,90	9,80	16,30	19,20	38,50
C 3	19,40	18,60	9,30	15,40	17,80	26,80
media ± σ	19,80 1,30	16,90 2,40	9,60 0,30	15,90 0,50	19,20 1,40	33,00 5,90
DC d1.1	22,00	17,30	16,30	12,80	20,40	22,80
DC d1.2	18,10	16,20	17,70	11,40	17,30	23,80
DC d1.3	18,20	18,60	14,80	10,00	18,60	33,80
media ± σ	19,40 2,20	17,40 1,20	16,30 1,50	11,40 1,40	18,80 1,60	26,80 6,10
DC d2.1	18,40	15,70	16,30	15,80	20,10	25,40
DC d2.2	20,70	15,50	15,30	13,70	23,30	25,00
DC d2.3	23,60	17,50	16,30	11,60	25,20	24,50
media ± σ	20,90 2,60	16,20 1,10	16,00 0,60	13,70 2,10	22,90 2,60	25,00 0,40
DS d1.1	25,70	15,90	16,70	15,90	28,90	17,10
DS d1.2	23,60	14,20	13,80	16,40	28,60	24,70
DS d1.3	27,70	12,40	15,50	15,40	28,80	20,90
media ± σ	25,70 2,10	14,20 1,80	15,30 1,50	15,90 0,50	28,80 0,20	20,90 3,80
DS d2.1	22,30	20,70	11,50	19,40	25,30	24,90
DS d2.2	26,30	20,20	12,00	17,60	29,50	30,00
DS d2.3	29,70	19,70	10,90	18,50	25,80	31,90
media ± σ	26,10 3,70	20,20 0,50	11,50 0,50	18,50 0,90	26,90 2,30	28,90 3,60
M d1.1	18,90	16,40	15,50	20,50	26,80	25,80
M d1.2	19,10	18,50	18,40	16,40	30,60	35,90
M d1.3	24,20	18,90	14,40	20,80	25,10	31,10
media ± σ	20,70 3,00	17,90 1,30	16,10 2,10	19,20 2,50	27,50 2,80	30,90 5,10
M d2.1	29,80	16,10	15,70	15,10	26,10	27,90
M d2.2	28,90	16,00	14,30	17,50	26,90	37,50
M d2.3	23,60	14,90	20,40	16,00	26,50	28,50
media ± σ	27,40 3,40	15,70 0,70	16,80 3,20	16,20 1,20	26,50 0,40	31,30 5,40

Tabla A.7. Valores de COhidr (g kg^{-1}) para los triplicados de muestra cogidos en cada parcela a t0 y t3, junto con su valor medio y la desviación estándar.

	CARD (t0)	CARD (t3)	ALM-J (t0)	ALM-J (t3)	ALM-A (t0)	ALM-A (t3)
C 1	1,660	0,073	1,605	0,453	0,497	1,090
C 2	1,663	0,069	1,525	0,372	0,798	0,758
C 3	1,610	0,067	1,188	0,324	0,779	0,924
media ± σ	1,644 0,030	0,069 0,003	1,439 0,222	0,383 0,065	0,691 0,168	0,924 0,166
DC d1.1	2,315	0,082	1,170	0,328	0,554	0,643
DC d1.2	2,343	0,082	1,252	0,352	0,477	0,730
DC d1.3	2,110	0,088	1,252	0,314	0,485	0,675
media ± σ	2,256 0,127	0,084 0,003	1,225 0,047	0,331 0,019	0,505 0,042	0,683 0,044
DC d2.1	2,475	0,106	1,303	0,405	0,718	0,635
DC d2.2	2,543	0,104	1,330	0,485	0,556	0,790
DC d2.3	2,753	0,108	1,370	0,449	0,901	0,555
media ± σ	2,590 0,145	0,106 0,002	1,334 0,034	0,446 0,040	0,725 0,173	0,660 0,120
DS d1.1	2,058	0,081	1,723	0,455	0,728	0,565
DS d1.2	2,195	0,094	1,555	0,573	0,481	0,680
DS d1.3	2,538	0,076	1,203	0,518	0,780	0,738
media ± σ	2,263 0,247	0,084 0,009	1,493 0,265	0,515 0,059	0,663 0,160	0,661 0,088
DS d2.1	2,738	0,089	1,805	0,373	1,583	0,515
DS d2.2	2,188	0,072	2,325	0,380	1,892	0,573
DS d2.3	2,650	0,083	1,665	0,366	2,201	0,585
media ± σ	2,525 0,296	0,082 0,009	1,932 0,348	0,373 0,007	1,892 0,309	0,558 0,037
M d1.1	3,390	0,091	2,170	0,516	0,502	0,633
M d1.2	2,788	0,082	2,093	0,431	0,852	0,606
M d1.3	3,285	0,086	2,260	0,410	0,468	0,580
media ± σ	3,154 0,322	0,086 0,004	2,174 0,084	0,452 0,056	0,607 0,213	0,606 0,026
M d2.1	3,520	0,101	2,629	0,426	0,570	0,465
M d2.2	4,068	0,075	2,210	0,396	0,599	0,551
M d2.3	2,980	0,087	3,048	0,452	0,627	0,638
media ± σ	3,523 0,544	0,088 0,013	2,629 0,419	0,425 0,028	0,599 0,029	0,551 0,086

Tabla A.8. Valores de Csh (g kg^{-1}) para los triplicados de muestra cogidos en cada parcela a t0 y t3, junto con su valor medio y la desviación estándar.

	CARD (t0)	CARD (t3)	ALM-J (t0)	ALM-J (t3)	ALM-A (t0)	ALM-A (t3)
C 1	4,07	4,00	3,22	3,17	5,76	4,56
C 2	4,51	3,73	3,05	3,09	5,30	5,03
C 3	4,19	3,55	2,37	3,43	4,84	4,93
media ± σ	4,26 0,23	3,76 0,23	2,88 0,45	3,23 0,18	5,30 0,46	4,84 0,25
DC d1.1	5,42	4,13	3,52	2,30	4,65	3,94
DC d1.2	4,67	4,14	4,78	2,09	4,91	3,66
DC d1.3	4,37	4,11	3,79	1,87	4,59	3,34
media ± σ	4,82 0,54	4,13 0,02	4,03 0,66	2,09 0,22	4,71 0,17	3,65 0,30
DC d2.1	4,62	3,79	4,24	2,84	4,64	3,86
DC d2.2	4,09	2,91	3,91	3,07	4,18	5,24
DC d2.3	3,56	3,27	3,29	2,39	5,26	5,66
media ± σ	4,09 0,53	3,32 0,44	3,81 0,48	2,77 0,35	4,69 0,54	4,92 0,94
DS d1.1	4,79	3,96	2,98	3,62	3,70	4,42
DS d1.2	5,84	3,78	3,56	3,14	4,27	5,58
DS d1.3	5,32	3,59	2,39	3,13	4,00	4,49
media ± σ	5,32 0,53	3,78 0,19	2,98 0,58	3,30 0,28	3,99 0,28	4,83 0,65
DS d2.1	4,06	3,67	4,54	2,94	3,12	4,67
DS d2.2	4,01	4,15	5,00	2,64	3,37	6,19
DS d2.3	4,11	4,62	3,70	2,35	3,84	5,63
media ± σ	4,06 0,05	4,15 0,47	4,41 0,66	2,64 0,29	3,44 0,37	5,49 0,77
M d1.1	4,04	3,15	6,23	3,06	4,51	4,74
M d1.2	3,99	3,51	5,06	3,09	3,83	4,05
M d1.3	4,09	3,33	5,65	3,02	4,66	4,64
media ± σ	4,04 0,05	3,33 0,18	5,65 0,59	3,06 0,03	4,33 0,44	4,48 0,37
M d2.1	4,23	3,61	4,09	3,10	4,04	5,02
M d2.2	3,96	2,92	5,09	3,13	5,43	6,07
M d2.3	4,29	3,00	5,41	2,87	4,45	6,02
media ± σ	4,16 0,18	3,17 0,38	4,86 0,69	3,04 0,14	4,64 0,71	5,70 0,59

Tabla A.9. Valores de Ntotal (g kg^{-1}) para los triplicados de muestra cogidos en cada parcela a t0 y t3, junto con su valor medio y la desviación estándar.

	CARD (t0)	CARD (t3)	ALM-J (t0)	ALM-J (t3)	ALM-A (t0)	ALM-A (t3)
C 1	1,70	1,60	1,90	1,40	1,80	2,80
C 2	1,40	1,50	1,80	1,30	1,90	2,50
C 3	1,80	1,60	1,90	1,40	2,10	2,00
media ± σ	1,60 0,20	1,60 0,10	1,90 0,10	1,40 0,10	1,90 0,10	2,40 0,40
DC d1.1	2,50	1,70	2,40	1,30	2,00	2,20
DC d1.2	2,00	1,20	2,40	1,70	2,70	2,60
DC d1.3	1,80	2,20	2,30	1,50	2,00	2,70
media ± σ	2,10 0,40	1,70 0,50	2,40 0,00	1,50 0,20	2,20 0,40	2,50 0,30
DC d2.1	2,30	1,60	1,90	1,30	2,40	2,10
DC d2.2	2,20	1,00	1,60	1,50	2,30	2,80
DC d2.3	2,90	1,50	1,80	1,40	2,70	2,00
media ± σ	2,50 0,40	1,40 0,30	1,80 0,20	1,40 0,10	2,50 0,20	2,30 0,40
DS d1.1	2,30	1,10	3,10	1,40	3,10	1,80
DS d1.2	2,20	1,20	2,20	1,40	2,80	3,20
DS d1.3	1,60	0,90	2,80	1,40	3,10	3,40
media ± σ	2,00 0,40	1,10 0,20	2,70 0,50	1,40 0,00	3,00 0,20	2,80 0,90
DS d2.1	1,70	1,50	2,00	1,50	3,20	3,90
DS d2.2	1,90	1,70	2,10	1,60	3,80	2,40
DS d2.3	2,40	1,90	1,10	1,60	3,50	3,30
media ± σ	2,00 0,40	1,70 0,20	1,70 0,60	1,60 0,10	3,50 0,30	3,20 0,80
M d1.1	1,90	1,70	1,40	1,60	3,20	2,80
M d1.2	1,80	1,70	2,40	1,60	2,50	2,90
M d1.3	1,50	1,70	2,20	1,60	2,80	2,90
media ± σ	1,70 0,20	1,70 0,00	2,00 0,50	1,60 0,00	2,80 0,40	2,90 0,00
M d2.1	1,80	1,50	2,20	1,30	2,70	4,20
M d2.2	1,80	1,00	2,30	1,40	3,30	3,90
M d2.3	2,40	1,30	2,30	1,40	3,00	3,50
media ± σ	2,00 0,30	1,30 0,30	2,30 0,10	1,40 0,10	3,00 0,30	3,90 0,40

Tabla A.10. Valores de Nhidr (g kg^{-1}) para los triplicados de muestra cogidos en cada parcela a t0 y t3, junto con su valor medio y la desviación estándar.

	CARD (t0)	CARD (t3)	ALM-J (t0)	ALM-J (t3)	ALM-A (t0)	ALM-A (t3)
C 1	0,295	0,097	0,249	0,141	0,094	0,555
C 2	0,192	0,096	0,214	0,118	0,171	0,246
C 3	0,383	0,081	0,318	0,090	0,293	0,144
media ± σ	0,290 0,095	0,091 0,009	0,260 0,053	0,116 0,026	0,186 0,100	0,315 0,214
DC d1.1	0,625	0,148	0,550	0,671	0,591	1,018
DC d1.2	0,325	0,229	0,529	0,515	0,632	0,813
DC d1.3	0,478	0,189	0,533	0,594	0,484	0,608
media ± σ	0,476 0,150	0,189 0,041	0,537 0,011	0,593 0,078	0,569 0,076	0,813 0,205
DC d2.1	0,668	0,070	1,460	1,181	0,933	1,925
DC d2.2	0,666	0,084	1,784	1,247	1,008	1,348
DC d2.3	0,665	0,107	1,790	1,313	1,201	1,636
media ± σ	0,666 0,001	0,087 0,019	1,678 0,189	1,247 0,066	1,047 0,138	1,636 0,289
DS d1.1	0,265	0,144	0,946	0,358	0,769	1,088
DS d1.2	0,268	0,159	0,920	0,384	0,769	1,103
DS d1.3	0,270	0,161	1,000	0,347	0,769	1,188
media ± σ	0,268 0,003	0,155 0,009	0,955 0,041	0,363 0,019	0,769 0,000	1,126 0,054
DS d2.1	0,610	0,046	1,236	0,398	0,828	0,298
DS d2.2	0,690	0,045	1,227	0,352	1,036	0,645
DS d2.3	0,650	0,050	1,123	0,395	0,947	0,323
media ± σ	0,650 0,040	0,047 0,003	1,195 0,063	0,381 0,026	0,937 0,105	0,422 0,194
M d1.1	0,369	0,092	1,707	0,321	0,197	0,373
M d1.2	0,273	0,077	1,193	0,348	0,373	0,555
M d1.3	0,465	0,067	1,450	0,348	0,373	0,212
media ± σ	0,369 0,096	0,079 0,012	1,450 0,257	0,339 0,015	0,314 0,101	0,380 0,172
M d2.1	0,295	0,151	1,614	0,440	0,448	0,734
M d2.2	0,250	0,143	1,578	0,466	0,479	0,625
M d2.3	0,340	0,129	1,596	0,395	0,399	0,563
media ± σ	0,295 0,045	0,141 0,011	1,596 0,018	0,434 0,036	0,442 0,040	0,640 0,087

Tabla A.11. Valores de la actividad de β-glucosidasa (µmol PNF g^{-1} h^{-1}) para los triplicados de muestra cogidos en cada parcela a t0 y t3, junto con su valor medio y la desviación estándar.

	CARD (t0)	CARD (t3)	ALM-J (t0)	ALM-J (t3)	ALM-A (t0)	ALM-A (t3)
C 1	0,98	1,12	0,69	1,05	2,55	4,89
C 2	0,96	0,91	0,64	0,93	2,53	5,00
C 3	1,00	1,33	0,58	0,88	2,50	3,69
media ± σ	0,98 0,02	1,12 0,21	0,64 0,06	0,95 0,09	2,53 0,02	4,53 0,73
DC d1.1	1,09	1,15	1,08	1,23	3,09	3,78
DC d1.2	0,77	0,93	1,15	1,43	2,87	3,37
DC d1.3	0,85	1,04	1,00	1,03	3,31	3,95
media ± σ	0,90 0,17	1,04 0,11	1,08 0,08	1,23 0,20	3,09 0,22	3,70 0,30
DC d2.1	1,29	0,89	1,04	1,27	2,20	3,14
DC d2.2	1,17	1,28	0,88	1,13	3,54	4,46
DC d2.3	1,41	1,28	0,93	0,97	4,20	3,88
media ± σ	1,29 0,12	1,15 0,22	0,95 0,08	1,12 0,15	3,31 1,02	3,83 0,66
DS d1.1	0,77	1,03	0,40	1,14	4,13	3,68
DS d1.2	0,83	1,41	0,47	1,09	4,77	4,67
DS d1.3	0,66	1,22	0,33	1,32	4,25	4,39
media ± σ	0,75 0,09	1,22 0,19	0,40 0,07	1,18 0,12	4,38 0,34	4,25 0,51
DS d2.1	1,01	1,00	0,51	1,13	6,93	4,29
DS d2.2	1,03	1,12	0,66	1,36	5,61	4,74
DS d2.3	0,95	1,06	0,77	1,39	5,84	4,07
media ± σ	1,00 0,04	1,06 0,06	0,65 0,13	1,29 0,14	6,13 0,71	4,37 0,34
M d1.1	0,89	1,11	0,63	2,21	6,64	4,69
M d1.2	0,83	1,47	0,94	1,89	4,77	4,85
M d1.3	1,13	1,68	0,92	1,98	7,20	5,34
media ± σ	0,95 0,16	1,42 0,29	0,83 0,17	2,03 0,17	6,20 1,27	4,96 0,34
M d2.1	1,05	1,12	1,01	1,74	6,23	5,48
M d2.2	1,03	1,06	0,91	1,97	8,80	4,90
M d2.3	0,93	1,29	1,16	1,75	7,52	5,53
media ± σ	1,00 0,06	1,15 0,12	1,03 0,13	1,82 0,13	7,52 1,28	5,30 0,35

Tabla A.12. Valores de la actividad de fosfatasa (µmol PNF g^{-1} h^{-1}) para los triplicados de muestra cogidos en cada parcela a t0 y t3, junto con su valor medio y la desviación estándar.

	CARD (t0)	CARD (t3)	ALM-J (t0)	ALM-J (t3)	ALM-A (t0)	ALM-A (t3)
C 1	2,83	1,57	1,63	3,67	2,71	7,80
C 2	2,77	1,34	2,58	3,92	3,20	7,55
C 3	3,02	1,66	1,10	2,68	2,30	6,83
media ± σ	2,87 0,13	1,52 0,16	1,77 0,75	3,42 0,66	2,74 0,45	7,39 0,50
DC d1.1	2,12	1,33	1,87	1,94	2,47	9,25
DC d1.2	1,90	1,08	3,58	2,42	2,67	9,36
DC d1.3	2,33	1,45	2,54	2,89	2,87	9,41
media ± σ	2,12 0,22	1,29 0,19	2,66 0,86	2,42 0,47	2,67 0,20	9,34 0,08
DC d2.1	3,08	1,51	3,70	2,88	2,03	7,42
DC d2.2	3,08	1,54	4,05	4,07	2,97	7,97
DC d2.3	3,08	1,48	3,88	3,36	3,48	6,81
media ± σ	3,08 0,00	1,51 0,03	3,88 0,18	3,44 0,60	2,83 0,74	7,40 0,58
DS d1.1	3,01	1,19	2,43	2,70	3,80	9,56
DS d1.2	2,82	1,16	1,37	2,31	4,32	10,16
DS d1.3	2,92	1,12	1,58	2,50	3,55	9,91
media ± σ	2,92 0,10	1,16 0,03	1,79 0,56	2,50 0,20	3,89 0,39	9,87 0,30
DS d2.1	2,28	1,42	1,80	3,01	3,13	7,31
DS d2.2	2,44	1,46	2,05	2,99	3,67	8,31
DS d2.3	2,48	1,50	2,89	3,34	3,85	8,11
media ± σ	2,40 0,11	1,46 0,04	2,25 0,57	3,11 0,19	3,55 0,37	8,04 0,30
M d1.1	3,06	1,34	2,99	4,06	5,56	10,33
M d1.2	3,23	1,42	3,41	4,15	4,22	10,35
M d1.3	3,15	1,50	2,57	3,97	4,98	10,98
media ± σ	3,15 0,09	1,42 0,08	2,99 0,42	4,06 0,09	4,92 0,67	10,55 0,37
M d2.1	3,28	1,58	4,61	2,96	5,70	12,75
M d2.2	3,44	1,64	4,22	4,40	5,71	11,68
M d2.3	2,73	1,52	4,78	4,01	6,41	12,71
media ± σ	3,15 0,37	1,58 0,06	4,54 0,29	3,79 0,75	5,94 0,41	12,38 0,61

Tabla A.13. Valores de la actividad de glicina amino-peptidasa (µmol PNA g^{-1} h^{-1}) para los triplicados de muestra cogidos en cada parcela a t0 y t3, junto con su valor medio y la desviación estándar.

	CARD (t0)	CAR (t3)	ALM-J (t0)	ALM-J (t3)	ALM-A (t0)	ALM-A (t3)
C 1	0,64	0,38	0,48	2,47	1,45	3,86
C 2	0,58	0,33	0,72	2,45	1,75	3,84
C 3	0,69	0,41	0,68	2,00	1,36	3,11
media ± σ	0,64 0,06	0,37 0,04	0,63 0,13	2,31 0,27	1,52 0,20	3,60 0,43
DC d1.1	0,56	0,35	0,62	1,70	0,93	2,99
DC d1.2	0,39	0,31	0,67	1,66	0,98	2,55
DC d1.3	0,45	0,40	0,55	2,01	1,04	2,97
media ± σ	0,47 0,09	0,35 0,05	0,61 0,06	1,79 0,19	0,98 0,06	2,84 0,25
DC d2.1	0,35	0,35	0,56	1,71	0,76	3,17
DC d2.2	0,40	0,33	0,61	2,05	0,93	2,99
DC d2.3	0,38	0,33	0,59	1,95	1,16	2,66
media ± σ	0,38 0,03	0,33 0,01	0,59 0,03	1,91 0,18	0,95 0,20	2,94 0,26
DS d1.1	0,56	0,37	0,43	1,39	1,33	3,60
DS d1.2	0,51	0,43	0,33	1,30	1,53	3,29
DS d1.3	0,54	0,32	0,38	1,53	1,24	3,28
media ± σ	0,54 0,03	0,37 0,05	0,38 0,05	1,41 0,12	1,37 0,15	3,39 0,18
DS d2.1	0,38	0,39	0,30	1,58	0,56	3,27
DS d2.2	0,46	0,31	0,40	1,72	0,57	2,77
DS d2.3	0,42	0,40	0,49	2,07	0,54	3,54
media ± σ	0,42 0,04	0,37 0,05	0,40 0,10	1,79 0,25	0,56 0,02	3,19 0,39
M d1.1	0,53	0,38	0,91	1,54	1,89	3,51
M d1.2	0,54	0,37	0,90	1,95	1,61	3,25
M d1.3	0,53	0,43	0,89	2,07	1,80	3,99
media ± σ	0,53 0,01	0,39 0,03	0,90 0,01	1,86 0,28	1,77 0,14	3,58 0,37
M d2.1	0,61	0,34	0,57	2,07	1,85	3,65
M d2.2	0,44	0,37	0,58	2,58	1,78	3,69
M d2.3	0,54	0,37	0,59	1,85	1,82	3,71
media ± σ	0,53 0,09	0,36 0,02	0,58 0,01	2,17 0,37	1,82 0,04	3,68 0,03

Tabla A.14. Valores de la actividad de ureasa (µmol N-NH_4 g^{-1} h^{-1}) para los triplicados de muestra cogidos en cada parcela a t0 y t3, junto con su valor medio y la desviación estándar.

	CARD (t0)	CARD (t3)	ALM-J (t0)	ALM-J (t3)	ALM-A (t0)	ALM-A (t3)
C 1	2,46	3,02	1,58	0,297	2,24	3,93
C 2	2,19	2,79	1,62	0,250	1,90	3,61
C 3	2,12	3,60	1,13	0,274	2,07	3,68
media ± σ	2,26 0,18	3,14 0,42	1,44 0,27	0,274 0,024	2,07 0,17	3,74 0,17
DC d1.1	1,32	2,62	1,57	0,115	1,27	2,25
DC d1.2	0,73	2,03	1,55	0,114	1,11	3,06
DC d1.3	1,11	2,33	1,53	0,113	0,94	3,36
media ± σ	1,05 0,30	2,33 0,29	1,55 0,02	0,114 0,001	1,11 0,17	2,89 0,57
DC d2.1	0,70	1,78	1,61	0,132	4,75	2,73
DC d2.2	0,92	2,28	1,28	0,121	3,98	1,77
DC d2.3	0,48	2,38	1,04	0,142	4,36	2,76
media ± σ	0,70 0,22	2,15 0,32	1,31 0,29	0,132 0,011	4,36 0,39	2,42 0,56
DS d1.1	0,98	2,27	1,30	0,156	1,79	4,23
DS d1.2	0,90	2,28	0,86	0,131	2,35	4,27
DS d1.3	0,82	1,83	1,24	0,180	1,62	4,20
media ± σ	0,90 0,08	2,13 0,26	1,13 0,24	0,156 0,025	1,92 0,38	4,23 0,03
DS d2.1	1,91	2,62	0,44	0,138	2,06	4,07
DS d2.2	1,89	1,82	0,40	0,145	1,36	3,04
DS d2.3	1,92	3,17	0,65	0,152	1,23	3,05
media ± σ	1,91 0,02	2,54 0,68	0,50 0,13	0,145 0,007	1,55 0,45	3,39 0,59
M d1.1	1,67	2,73	0,46	0,225	2,39	4,44
M d1.2	1,64	2,70	0,49	0,216	1,99	3,97
M d1.3	2,33	2,76	0,44	0,234	2,79	4,91
media ± σ	1,88 0,39	2,73 0,03	0,46 0,03	0,225 0,009	2,39 0,40	4,44 0,47
M d2.1	1,77	3,07	0,24	0,221	1,20	3,89
M d2.2	2,09	2,79	0,14	0,212	1,50	3,67
M d2.3	2,40	2,61	0,25	0,202	1,79	3,33
media ± σ	2,09 0,32	2,82 0,23	0,21 0,06	0,212 0,010	1,50 0,29	3,63 0,28

Tabla A.15. Valores de [Cl^-] (g kg^{-1}) para los triplicados de muestra cogidos en cada parcela a t0 y t3, junto con su valor medio y la desviación estándar.

	CARD (t0)	CARD (t3)	ALM-J (t0)	ALM-J (t3)	ALM-A (t0)	ALM-A (t3)
C 1	0,070	0,032	0,846	0,305	1,094	0,549
C 2	0,020	0,036	1,087	0,213	1,986	0,400
C 3	0,021	0,047	1,125	0,203	2,877	0,451
media ± σ	0,037 0,029	0,038 0,008	1,020 0,151	0,240 0,056	1,986 0,891	0,467 0,076
DC d1.1	0,144	0,077	0,061	1,144	1,370	0,771
DC d1.2	0,162	0,069	0,180	1,041	1,191	0,537
DC d1.3	0,123	0,086	0,105	0,937	1,836	0,654
media ± σ	0,143 0,019	0,077 0,008	0,116 0,060	1,041 0,104	1,465 0,333	0,654 0,117
DC d2.1	0,328	0,025	0,077	0,822	2,108	0,397
DC d2.2	0,382	0,018	0,200	0,605	2,633	0,304
DC d2.3	0,275	0,033	0,205	0,661	2,370	0,490
media ± σ	0,328 0,054	0,025 0,008	0,160 0,073	0,696 0,113	2,370 0,263	0,397 0,093
DS d1.1	0,067	0,079	0,858	0,836	2,229	0,459
DS d1.2	0,119	0,081	0,940	0,674	0,995	0,261
DS d1.3	0,093	0,080	0,547	0,512	1,612	0,404
media ± σ	0,093 0,026	0,080 0,001	0,782 0,208	0,674 0,162	1,612 0,617	0,374 0,102
DS d2.1	0,172	0,066	1,395	0,728	7,957	0,394
DS d2.2	0,213	0,082	1,356	0,870	9,250	0,267
DS d2.3	0,131	0,097	1,375	0,688	6,665	0,348
media ± σ	0,172 0,041	0,082 0,016	1,375 0,019	0,762 0,096	7,957 1,292	0,337 0,064
M d1.1	0,136	0,029	1,410	0,360	1,517	0,364
M d1.2	0,104	0,030	1,398	0,150	3,074	0,322
M d1.3	0,116	0,028	1,120	0,172	1,072	0,231
media ± σ	0,119 0,016	0,029 0,001	1,309 0,164	0,227 0,115	1,887 1,052	0,306 0,068
M d2.1	0,065	0,075	0,572	0,339	1,115	0,344
M d2.2	0,082	0,064	0,737	0,150	0,998	0,236
M d2.3	0,099	0,069	0,902	0,354	0,881	0,290
media ± σ	0,082 0,017	0,069 0,006	0,737 0,165	0,281 0,114	0,998 0,117	0,290 0,054

Tabla A.16. Valores de [NO_3^-] (g kg^{-1}) para los triplicados de muestra cogidos en cada parcela a t0 y t3, junto con su valor medio y la desviación estándar.

	CARD (t0)	CARD (t3)	ALM-J (t0)	ALM-J (t3)	ALM-A (t0)	ALM-A (t3)
C 1	0,269	0,365	0,124	0,286	0,372	0,094
C 2	0,146	0,351	0,090	0,443	1,225	0,126
C 3	0,298	0,337	0,163	0,364	0,966	0,062
media ± σ	0,237 0,081	0,351 0,014	0,126 0,037	0,364 0,079	0,854 0,437	0,094 0,032
DC d1.1	0,287	0,234	0,191	0,539	2,516	0,621
DC d1.2	0,127	0,241	0,181	0,420	3,410	0,488
DC d1.3	0,198	0,228	0,198	0,479	3,023	0,356
media ± σ	0,204 0,080	0,234 0,007	0,190 0,008	0,479 0,060	2,983 0,448	0,488 0,133
DC d2.1	0,198	0,113	0,975	0,783	9,737	0,225
DC d2.2	0,224	0,069	0,883	0,864	9,134	0,350
DC d2.3	0,250	0,156	1,066	0,702	10,339	0,100
media ± σ	0,224 0,026	0,113 0,044	0,975 0,091	0,783 0,081	9,737 0,603	0,225 0,125
DS d1.1	0,178	0,553	0,359	0,315	5,216	0,553
DS d1.2	0,180	0,458	0,289	0,458	2,664	0,553
DS d1.3	0,182	0,505	0,406	0,386	3,940	0,553
media ± σ	0,180 0,002	0,505 0,047	0,351 0,059	0,386 0,072	3,940 1,276	0,553 0,000
DS d2.1	0,271	0,346	0,312	0,359	5,254	0,158
DS d2.2	0,190	0,121	0,496	0,325	6,466	0,133
DS d2.3	0,109	0,234	0,358	0,342	7,679	0,108
media ± σ	0,190 0,081	0,234 0,112	0,389 0,096	0,342 0,017	6,466 1,212	0,133 0,025
M d1.1	0,257	0,165	0,709	0,274	1,178	0,208
M d1.2	0,181	0,184	0,401	0,122	2,596	0,298
M d1.3	0,334	0,145	0,313	0,198	3,386	0,253
media ± σ	0,257 0,077	0,165 0,020	0,475 0,208	0,198 0,076	2,387 1,119	0,253 0,045
M d2.1	0,222	0,330	0,800	0,105	3,271	0,294
M d2.2	0,125	0,352	0,457	0,216	4,759	0,254
M d2.3	0,319	0,341	0,628	0,165	2,811	0,334
media ± σ	0,222 0,097	0,341 0,011	0,628 0,171	0,162 0,056	3,614 1,018	0,294 0,040

Tabla A.17. Valores de [SO_4^{2-}] (g kg^{-1}) para los triplicados de muestra cogidos en cada parcela a t0 y t3, junto con su valor medio y la desviación estándar.

	CARD (t0)	CARD (t3)	ALM-J (t0)	ALM-J (t3)	ALM-A (t0)	ALM-A (t3)
C 1	0,033	0,082	2,118	0,317	2,159	1,122
C 2	0,024	0,105	2,345	0,264	3,789	1,054
C 3	0,030	0,094	1,890	0,210	5,418	1,190
media ± σ	0,029 0,005	0,094 0,012	2,118 0,227	0,264 0,053	3,789 1,629	1,122 0,068
DC d1.1	0,034	0,159	1,151	1,669	3,198	2,031
DC d1.2	0,038	0,146	1,286	1,840	4,316	1,770
DC d1.3	0,034	0,152	1,219	1,499	5,226	1,508
media ± σ	0,035 0,002	0,152 0,006	1,219 0,068	1,669 0,170	4,247 1,016	1,770 0,262
DC d2.1	0,052	0,061	0,147	1,322	4,689	0,910
DC d2.2	0,047	0,055	0,416	1,308	6,592	1,325
DC d2.3	0,042	0,066	0,281	1,337	5,640	1,118
media ± σ	0,047 0,005	0,061 0,005	0,281 0,134	1,322 0,014	5,640 0,951	1,118 0,207
DS d1.1	0,045	0,144	0,684	0,827	2,819	1,053
DS d1.2	0,049	0,133	1,055	0,542	3,980	1,017
DS d1.3	0,041	0,138	0,869	0,685	3,400	0,981
media ± σ	0,045 0,004	0,138 0,006	0,869 0,186	0,685 0,142	3,400 0,581	1,017 0,036
DS d2.1	0,045	0,112	1,604	1,783	10,088	1,947
DS d2.2	0,049	0,125	1,395	1,616	11,100	2,014
DS d2.3	0,034	0,137	1,812	1,449	9,076	2,081
media ± σ	0,043 0,008	0,125 0,013	1,604 0,208	1,616 0,167	10,088 1,012	2,014 0,067
M d1.1	0,053	0,051	2,357	0,843	3,923	1,447
M d1.2	0,050	0,064	2,377	0,761	4,227	1,562
M d1.3	0,048	0,087	2,337	0,802	4,530	1,504
media ± σ	0,050 0,002	0,067 0,018	2,357 0,020	0,802 0,041	4,227 0,304	1,504 0,057
M d2.1	0,036	0,125	2,073	1,132	1,993	1,153
M d2.2	0,047	0,098	2,001	0,933	2,641	0,883
M d2.3	0,050	0,104	2,146	0,733	3,288	1,018
media ± σ	0,044 0,007	0,109 0,014	2,073 0,073	0,933 0,200	2,641 0,648	1,018 0,135

Tabla A.18. Valores de Ca y K (g kg^{-1}) para los triplicados de muestra cogidos en cada parcela a t0 y t3, junto con su valor medio y la desviación estándar.

	Ca						K					
	CARD (t0)	**CARD (t3)**	**ALM-J (t0)**	**ALM-J (t3)**	**ALM-A (t0)**	**ALM-A (t3)**	**CARD (t0)**	**CARD (t3)**	**ALM-J (t0)**	**ALM-J (t3)**	**ALM-A (t0)**	**ALM-A (t3)**
C 1	246,60	156,40	182,50	182,30	169,90	108,60	6,90	5,20	7,70	6,10	6,80	5,90
C 2	185,80	130,50	205,00	182,40	170,40	113,90	5,90	4,60	8,40	6,30	6,70	4,90
C 3	229,20	143,50	184,80	182,20	155,80	103,20	6,70	4,90	8,10	6,20	6,70	5,00
media ± σ	220,50 31,30	143,50 13,00	190,80 12,40	182,30 0,10	165,40 8,30	108,60 5,40	6,50 0,50	4,90 0,30	8,10 0,40	6,20 0,10	6,70 0,10	5,30 0,60
DC d1.1	239,10	153,60	192,00	207,30	152,00	133,50	8,30	5,00	7,50	5,30	7,20	5,40
DC d1.2	232,70	176,50	227,30	213,10	151,90	133,70	7,00	5,70	7,60	5,30	6,40	5,50
DC d1.3	246,10	164,50	210,60	189,90	146,60	133,60	7,50	5,60	6,10	5,20	6,20	5,30
media ± σ	239,30 6,70	164,90 11,50	210,00 17,70	203,40 12,10	150,20 3,10	133,60 0,10	7,60 0,70	5,40 0,40	7,10 0,80	5,30 0,10	6,60 0,50	5,40 0,10
DC d2.1	224,70	173,80	234,70	225,30	158,60	138,20	7,80	5,60	8,00	5,10	6,80	5,70
DC d2.2	231,70	176,70	206,90	203,10	157,70	135,50	7,00	5,70	8,00	5,50	6,80	4,70
DC d2.3	228,30	173,20	193,00	192,50	156,70	140,90	8,00	5,40	8,40	6,30	6,70	5,20
media ± σ	228,20 3,50	174,60 1,90	211,50 21,20	207,00 16,70	157,70 0,90	138,20 2,70	7,60 0,50	5,60 0,20	8,10 0,20	5,60 0,60	6,80 0,10	5,20 0,50
DS d1.1	233,60	158,70	160,50	172,60	154,80	126,80	7,60	6,30	5,80	5,30	6,60	5,10
DS d1.2	222,30	170,10	210,20	213,90	154,20	132,10	7,00	5,50	6,20	5,40	6,70	5,40
DS d1.3	223,90	177,30	176,50	194,20	166,60	121,50	6,30	5,50	6,60	5,80	6,70	5,20
media ± σ	226,60 6,10	168,70 9,40	182,40 25,40	193,60 20,70	158,50 7,00	126,80 5,30	7,00 0,70	5,80 0,50	6,20 0,40	5,50 0,30	6,70 0,10	5,20 0,20
DS d2.1	224,20	166,70	188,00	205,00	163,60	140,00	6,40	6,40	8,30	5,30	8,20	5,50
DS d2.2	175,90	162,10	220,30	160,00	170,70	138,70	5,90	6,30	8,70	4,80	8,50	5,40
DS d2.3	231,40	177,90	198,60	171,00	169,50	139,40	6,20	6,20	7,90	5,10	9,20	5,50
media ± σ	210,50 30,20	168,90 8,10	202,30 16,50	178,70 23,50	167,90 3,80	139,40 0,70	6,20 0,30	6,30 0,10	8,30 0,40	5,10 0,30	8,60 0,50	5,50 0,10
M d1.1	259,70	151,20	199,20	195,50	162,00	124,00	7,70	4,40	9,50	6,30	7,50	4,80
M d1.2	249,00	149,00	215,20	184,70	162,40	122,70	7,40	5,00	8,70	6,10	7,50	4,80
M d1.3	231,50	170,60	192,30	172,20	157,40	121,40	6,30	5,80	8,70	5,50	6,60	4,70
media ± σ	246,70 14,20	156,90 11,90	202,20 11,70	184,10 11,70	160,60 2,80	122,70 1,30	7,10 0,70	5,10 0,70	9,00 0,50	6,00 0,40	7,20 0,50	4,80 0,10
M d2.1	238,10	150,30	158,80	201,20	142,10	121,90	7,60	4,80	7,50	5,80	5,70	4,70
M d2.2	212,10	152,60	209,00	167,40	153,30	115,30	6,50	4,90	9,80	6,00	5,90	5,10
M d2.3	242,50	158,30	181,20	186,80	137,00	108,60	8,00	5,10	9,60	5,80	6,10	5,50
media ± σ	230,90 16,40	153,70 4,10	183,00 25,10	185,10 17,00	144,10 8,30	115,30 6,70	7,40 0,80	4,90 0,20	9,00 1,30	5,90 0,10	5,90 0,20	5,10 0,40

Tabla A.19. Valores de Mg y Na (g kg^{-1}) para los triplicados de muestra cogidos en cada parcela a t0 y t3, junto con su valor medio y la desviación estándar.

	Mg						Na					
	CARD (t0)	CARD (t3)	ALM-J (t0)	ALM-J (t3)	ALM-A (t0)	ALM-A (t3)	CARD (t0)	CARD (t3)	ALM-J (t0)	ALM-J (t3)	ALM-A (t0)	ALM-A (t3)
C 1	7,90	5,30	5,30	7,50	5,80	5,60	0,20	0,30	1,30	0,40	0,90	0,50
C 2	6,50	5,60	4,90	8,20	5,30	5,00	0,20	0,20	1,40	0,40	0,90	0,40
C 3	8,10	5,90	4,40	7,90	5,30	5,50	0,20	0,30	1,20	0,30	0,90	0,60
media ± σ	7,50 0,90	5,60 0,30	4,90 0,50	7,90 0,40	5,50 0,30	5,40 0,30	0,20 0,00	0,30 0,10	1,30 0,10	0,40 0,10	0,90 0,00	0,50 0,10
DC d1.1	8,50	5,00	3,70	7,00	5,20	6,20	0,40	0,30	0,40	0,70	0,50	0,50
DC d1.2	7,80	5,30	3,90	6,20	4,80	6,10	0,30	0,40	0,60	0,60	0,40	0,50
DC d1.3	8,60	5,00	3,50	7,70	4,50	6,20	0,30	0,30	0,30	0,70	0,40	0,50
media ± σ	8,30 0,40	5,10 0,20	3,70 0,20	7,00 0,80	4,80 0,40	6,20 0,10	0,30 0,10	0,30 0,10	0,40 0,20	0,70 0,10	0,40 0,10	0,50 0,00
DC d2.1	8,00	5,20	5,70	5,30	4,50	6,70	0,50	0,30	0,40	0,70	0,60	0,70
DC d2.2	8,80	6,30	5,90	5,70	3,50	6,40	0,40	0,30	0,70	0,60	0,60	0,50
DC d2.3	7,70	5,80	5,50	7,10	4,10	6,60	0,40	0,30	0,50	0,70	0,70	0,70
media ± σ	8,20 0,60	5,80 0,60	5,70 0,20	6,00 0,90	4,00 0,50	6,60 0,20	0,40 0,10	0,30 0,00	0,50 0,20	0,70 0,10	0,60 0,10	0,60 0,10
DS d1.1	7,40	5,30	3,10	5,50	5,10	6,20	0,30	0,40	0,50	0,50	0,60	0,40
DS d1.2	6,70	5,10	4,50	5,50	5,00	6,20	0,30	0,30	0,70	0,50	0,50	0,40
DS d1.3	7,60	5,60	3,70	6,40	5,50	6,10	0,30	0,30	0,80	0,50	0,80	0,50
media ± σ	7,20 0,50	5,30 0,30	3,80 0,70	5,80 0,50	5,20 0,30	6,20 0,10	0,30 0,00	0,30 0,10	0,70 0,20	0,50 0,00	0,60 0,20	0,40 0,00
DS d2.1	7,50	5,30	4,60	5,10	5,60	7,40	0,30	0,40	1,40	0,70	1,00	0,50
DS d2.2	6,20	4,60	4,10	5,60	5,70	7,00	0,20	0,30	1,40	0,50	1,00	0,50
DS d2.3	7,50	5,70	5,10	6,50	5,90	7,20	0,40	0,40	1,30	0,40	1,20	0,50
media ± σ	7,10 0,80	5,20 0,60	4,60 0,50	5,70 0,70	5,70 0,20	7,20 0,20	0,30 0,10	0,40 0,10	1,40 0,10	0,50 0,20	1,10 0,10	0,50 0,00
M d1.1	8,20	4,90	6,10	6,40	5,70	6,40	0,30	0,30	1,80	0,60	0,70	0,50
M d1.2	8,60	5,60	6,50	6,20	5,40	6,30	0,30	0,30	1,40	0,50	0,80	0,50
M d1.3	6,90	5,30	6,90	6,40	5,10	6,10	0,20	0,30	1,60	0,70	0,50	0,50
media ± σ	7,90 0,90	5,30 0,40	6,50 0,40	6,30 0,10	5,40 0,30	6,30 0,20	0,30 0,10	0,30 0,00	1,60 0,20	0,60 0,10	0,70 0,20	0,50 0,00
M d2.1	7,50	4,70	4,10	5,90	4,90	6,00	0,30	0,30	1,50	0,90	0,60	0,50
M d2.2	7,20	5,30	4,50	7,20	5,10	6,30	0,30	0,30	1,70	0,50	0,60	0,40
M d2.3	9,20	5,00	5,60	6,80	4,70	6,50	0,30	0,30	1,20	0,70	0,50	0,50
media ± σ	8,00 1,10	5,00 0,30	4,70 0,80	6,60 0,70	4,90 0,20	6,30 0,30	0,30 0,00	0,30 0,00	1,50 0,30	0,70 0,20	0,60 0,10	0,50 0,00

Tabla A.20. Valores de P y S (g kg^{-1}) para los triplicados de muestra cogidos en cada parcela a t0 y t3, junto con su valor medio y la desviación estándar.

	P						S					
	CARD (t0)	**CARD (t3)**	**ALM-J (t0)**	**ALM-J (t3)**	**ALM-A (t0)**	**ALM-A (t3)**	**CARD (t0)**	**CARD (t3)**	**ALM-J (t0)**	**ALM-J (t3)**	**ALM-A (t0)**	**ALM-A (t3)**
C 1	0,70	0,70	1,40	0,80	0,60	0,80	1,30	1,10	0,70	1,70	2,00	1,30
C 2	0,60	0,70	1,60	0,80	0,50	0,70	1,00	1,20	0,60	1,70	2,10	1,30
C 3	0,80	0,70	1,50	0,70	0,50	0,50	1,20	1,20	0,80	1,70	1,90	1,30
media ± σ	0,70 0,10	0,70 0,00	1,50 0,10	0,80 0,10	0,50 0,10	0,70 0,20	1,20 0,20	1,20 0,10	0,70 0,10	1,70 0,00	2,00 0,10	1,30 0,00
DC d1.1	1,00	0,60	1,50	0,40	0,60	0,50	1,40	1,00	0,40	1,40	1,60	1,70
DC d1.2	0,80	0,60	2,00	0,40	0,60	0,60	1,20	1,20	1,10	1,80	1,60	1,70
DC d1.3	0,90	0,60	1,50	0,40	0,60	0,60	1,30	1,10	0,60	1,50	1,50	1,60
media ± σ	0,90 0,10	0,60 0,00	1,70 0,30	0,40 0,00	0,60 0,00	0,60 0,10	1,30 0,10	1,10 0,10	0,70 0,40	1,60 0,20	1,60 0,10	1,70 0,10
DC d2.1	0,80	0,60	1,70	0,90	0,40	0,50	1,20	1,10	1,00	1,60	1,70	1,60
DC d2.2	0,80	0,80	1,50	0,80	0,60	0,50	1,30	1,20	0,90	1,50	1,40	1,60
DC d2.3	1,00	0,60	2,00	0,70	0,60	0,50	1,30	1,10	1,00	1,80	1,60	1,60
media ± σ	0,90 0,10	0,70 0,10	1,70 0,30	0,80 0,10	0,50 0,10	0,50 0,00	1,30 0,10	1,10 0,10	1,00 0,10	1,60 0,20	1,60 0,20	1,60 0,00
DS d1.1	0,90	0,70	1,30	0,90	0,70	0,70	1,30	1,10	0,70	1,40	1,60	1,40
DS d1.2	1,00	0,60	1,90	1,00	0,90	0,70	1,30	1,10	0,70	1,50	1,70	1,40
DS d1.3	1,00	0,60	1,60	1,00	0,90	0,70	1,20	1,10	0,70	1,50	1,90	1,40
media ± σ	1,00 0,10	0,60 0,10	1,60 0,30	1,00 0,10	0,80 0,10	0,70 0,00	1,30 0,10	1,10 0,00	0,70 0,00	1,50 0,00	1,70 0,20	1,40 0,00
DS d2.1	1,00	0,70	2,20	0,50	1,00	0,70	1,20	1,10	0,60	1,80	1,90	1,80
DS d2.2	1,00	0,70	2,20	0,50	1,20	0,60	0,90	1,00	0,90	1,20	2,20	1,80
DS d2.3	0,90	0,80	2,10	0,40	1,20	0,50	1,30	1,10	0,80	1,40	2,30	1,70
media ± σ	1,00 0,10	0,70 0,10	2,20 0,10	0,50 0,10	1,10 0,10	0,60 0,10	1,10 0,20	1,10 0,10	0,80 0,20	1,50 0,30	2,10 0,20	1,80 0,00
M d1.1	0,90	0,80	2,80	0,80	0,80	0,80	1,40	1,10	1,00	1,90	1,90	1,50
M d1.2	1,00	0,80	2,30	0,90	0,80	0,80	1,40	1,10	1,20	1,60	1,90	1,30
M d1.3	1,00	0,80	2,60	0,90	0,90	0,80	1,20	1,30	0,80	1,50	1,80	1,40
media ± σ	1,00 0,10	0,80 0,00	2,60 0,30	0,90 0,10	0,80 0,10	0,80 0,00	1,30 0,10	1,20 0,10	1,00 0,20	1,70 0,20	1,90 0,10	1,40 0,10
M d2.1	0,80	0,50	2,50	1,00	0,70	0,70	1,30	1,10	1,40	1,90	1,20	1,50
M d2.2	0,70	0,60	2,50	0,90	0,90	0,60	1,10	1,10	1,10	1,50	1,90	1,20
M d2.3	0,80	0,60	2,50	1,00	0,80	0,80	1,30	1,20	1,60	1,50	1,70	1,40
media ± σ	0,80 0,10	0,60 0,10	2,50 0,00	1,00 0,10	0,80 0,10	0,70 0,10	1,20 0,10	1,10 0,10	1,40 0,20	1,60 0,20	1,60 0,40	1,40 0,20

Tabla A.21. Valores de Fe (g kg^{-1}) y Mn (mg kg^{-1}) para los triplicados de muestra cogidos en cada parcela a t0 y t3, junto con su valor medio y la desviación estándar.

	Fe						Mn					
	CARD (t0)	**CARD (t3)**	**ALM-J (t0)**	**ALM-J (t3)**	**ALM-A (t0)**	**ALM-A (t3)**	**CARD (t0)**	**CARD (t3)**	**ALM-J (t0)**	**ALM-J (t3)**	**ALM-A (t0)**	**ALM-A (t3)**
C 1	15,9	12,9	15,8	14,7	14,4	13,1	311,06	257,36	318,61	326,48	331,52	300,27
C 2	13,4	14,2	16,7	14,5	12,5	11,2	284,58	210,25	287,37	349,44	305,24	287,97
C 3	13,2	1,55	12,8	13,7	13,1	11,1	309,39	274,37	258,04	322,81	332,33	286,63
media ± σ	14,2 1,5	14,2 1,3	15,1 2,0	14,3 0,5	13,3 1,0	11,8 1,1	301,68 14,83	247,33 33,22	288,01 30,29	332,91 14,43	323,03 15,41	291,62 7,52
DC d1.1	17,9	12,0	15,1	12,9	12,5	10,5	384,30	219,41	236,29	188,00	294,05	240,14
DC d1.2	15,6	13,8	13,7	13,2	10,0	12,2	320,78	252,13	418,44	317,99	270,54	271,23
DC d1.3	17,7	13,6	11,0	12,5	9,3	11,2	343,09	266,39	197,90	268,05	267,84	284,40
media ± σ	17,1 1,3	13,1 1,0	13,3 2,1	12,9 0,4	10,6 1,6	11,3 0,9	349,39 32,23	245,98 24,09	284,21 117,82	258,01 65,57	277,48 14,42	265,26 22,73
DC d2.1	16,0	13,6	13,5	12,0	11,6	12,3	332,17	248,82	256,69	274,48	258,76	301,92
DC d2.2	14,4	13,2	13,8	11,2	9,5	12,7	295,70	247,66	311,40	300,32	257,02	288,84
DC d2.3	16,0	12,8	14,6	13,5	12,9	13,0	334,79	225,20	252,92	310,56	312,69	275,76
media ± σ	15,5 0,9	13,2 0,4	14,0 0,6	12,2 1,2	11,3 1,7	12,7 0,4	320,89 21,85	240,56 13,31	273,67 32,73	295,12 18,59	276,16 31,65	288,84 13,08
DS d1.1	16,7	14,0	10,5	12,2	11,6	10,1	361,72	277,69	205,50	330,03	287,81	249,54
DS d1.2	15,0	13,7	14,7	9,8	11,7	11,9	342,80	238,50	259,67	283,36	287,86	263,63
DS d1.3	13,3	12,5	11,9	12,9	12,9	10,4	266,72	219,02	220,48	305,35	317,61	264,96
media ± σ	15,0 1,7	13,4 0,8	12,4 2,1	11,6 1,6	12,0 0,7	10,8 1,0	323,75 50,28	245,07 29,88	228,55 27,97	306,25 23,35	297,76 17,19	259,38 8,54
DS d2.1	13,4	14,6	14,0	10,3	13,4	12,5	268,16	291,06	281,71	306,21	323,07	292,70
DS d2.2	12,3	14,6	14,2	11,4	12,1	12,3	257,95	287,35	282,95	270,06	312,32	256,03
DS d2.3	17,5	14,6	13,6	11,6	12,7	12,4	381,89	283,63	271,14	245,80	321,98	274,37
media ± σ	14,4 2,7	14,6 0,00	13,9 0,3	11,1 0,7	12,7 0,6	12,4 0,1	302,67 68,80	287,35 3,72	278,60 6,49	274,02 30,40	319,12 5,92	274,37 18,34
M d1.1	15,7	10,7	15,0	13,6	14,0	10,5	311,95	195,39	289,91	371,40	368,39	266,84
M d1.2	16,7	12,3	14,1	10,8	13,1	9,7	332,02	234,39	291,09	314,99	343,63	274,98
M d1.3	13,6	14,2	15,2	12,0	11,9	10,5	268,22	214,89	301,48	307,31	327,04	262,65

media ± σ	15,3	1,6	12,4	1,8	14,8	0,6	12,1	1,4	13,0	1,1	10,2	0,5	304,06	32,62	214,89	19,50	294,16	6,37	331,23	35,00	346,35	20,81	268,16	6,27
M d2.1	15,3		10,1		11,7		13,0		11,7		11,5		324,45		207,75		235,13		287,46		302,60		262,06	
M d2.2	12,9		11,6		15,0		13,1		10,5		11,1		261,17		215,93		306,68		305,77		308,70		215,75	
M d2.3	16,9		12,8		14,3		13,0		9,3		10,6		343,47		250,95		295,52		295,70		296,36		268,62	
media ± σ	15,0	2,0	11,5	1,4	13,7	1,7	13,0	0,1	10,5	1,2	11,1	0,4	309,70	43,09	224,88	22,95	279,11	38,49	296,31	9,17	302,55	6,17	248,81	28,82

Tabla A.22. Valores de Cd y Pb (mg kg^{-1}) para los triplicados de muestra cogidos en cada parcela a t0 y t3, junto con su valor medio y la desviación estándar.

	Cd						Pb					
	CARD (t0)	**CARD (t3)**	**ALM-J (t0)**	**ALM-J (t3)**	**ALM-A (t0)**	**ALM-A (t3)**	**CARD (t0)**	**CARD (t3)**	**ALM-J (t0)**	**ALM-J (t3)**	**ALM-A (t0)**	**ALM-A (t3)**
C 1	0,32	0,35	0,50	0,39	0,29	0,40	16,31	14,00	21,34	14,99	27,06	19,37
C 2	0,28	0,37	0,37	0,49	0,21	0,35	15,82	12,53	42,29	12,85	18,99	20,14
C 3	0,28	0,40	0,26	0,72	0,23	0,37	17,44	15,94	13,16	17,14	18,09	19,56
media ± σ	0,29 0,02	0,37 0,03	0,38 0,12	0,53 0,17	0,24 0,04	0,37 0,03	16,52 0,83	14,16 1,71	25,60 15,02	14,99 2,14	21,38 4,94	19,69 0,40
DC d1.1	0,41	0,31	0,37	0,20	0,21	0,31	23,97	12,49	12,67	10,05	18,03	23,22
DC d1.2	0,31	0,35	0,36	0,38	0,18	0,36	40,35	14,60	19,96	12,15	23,09	22,30
DC d1.3	0,35	0,35	0,22	0,30	0,16	0,37	18,69	14,45	12,19	14,25	16,06	24,13
media ± σ	0,36 0,05	0,34 0,02	0,32 0,08	0,29 0,09	0,18 0,03	0,35 0,03	27,67 11,29	13,85 1,18	14,94 4,35	12,15 2,10	19,06 3,63	23,22 0,91
DC d2.1	0,34	0,34	0,30	0,41	0,17	0,42	18,50	14,34	16,96	19,18	13,76	20,44
DC d2.2	0,32	0,37	0,27	0,32	0,21	0,40	19,31	13,37	16,55	17,82	16,18	20,44
DC d2.3	0,42	0,33	0,28	0,34	0,25	0,37	18,51	12,33	14,25	20,53	29,29	20,43
media ± σ	0,36 0,05	0,35 0,02	0,28 0,02	0,36 0,05	0,21 0,04	0,40 0,03	18,77 0,46	13,35 1,01	15,92 1,46	19,18 1,36	19,74 8,36	20,44 0,01
DS d1.1	0,38	0,41	0,24	0,46	0,21	0,34	20,53	12,76	14,91	11,41	18,56	17,40
DS d1.2	0,37	0,36	0,31	0,43	0,23	0,35	20,40	13,78	18,22	12,42	18,54	17,51
DS d1.3	0,29	0,34	0,26	0,35	0,23	0,32	32,71	11,73	15,59	11,92	22,70	16,39
media ± σ	0,35 0,05	0,37 0,04	0,27 0,04	0,41 0,06	0,22 0,01	0,34 0,02	24,55 7,07	12,76 1,03	16,24 1,75	11,92 0,51	19,93 2,40	17,10 0,62
DS d2.1	0,32	0,44	0,30	0,35	0,26	0,39	17,83	16,93	16,93	18,49	26,47	18,09
DS d2.2	0,27	0,45	0,36	0,27	0,19	0,35	14,24	16,79	22,89	21,66	16,47	16,88
DS d2.3	0,41	0,45	0,29	0,26	0,26	0,38	20,50	16,65	16,36	20,08	18,08	13,80
media ± σ	0,33 0,07	0,45 0,01	0,32 0,04	0,29 0,05	0,24 0,04	0,37 0,02	17,52 3,14	16,79 0,14	18,73 3,62	20,08 1,59	20,34 5,37	16,26 2,21
M d1.1	0,33	0,43	0,35	0,43	0,32	0,40	23,01	10,96	18,51	11,27	24,86	22,80
M d1.2	0,39	0,39	0,32	0,41	0,27	0,37	43,27	13,25	16,48	9,74	21,92	24,60
M d1.3	0,32	0,46	0,32	0,30	0,26	0,38	16,90	12,11	16,59	10,51	20,35	23,70
media ± σ	0,35 0,04	0,43 0,04	0,33 0,02	0,38 0,07	0,28 0,03	0,38 0,02	27,73 13,80	12,11 1,15	17,19 1,14	10,51 0,77	22,38 2,29	23,70 0,90
M d2.1	0,33	0,31	0,23	0,35	0,32	0,35	17,37	11,72	12,09	18,12	23,17	18,91
M d2.2	0,28	0,33	0,35	0,39	0,23	0,29	19,64	11,95	22,44	16,39	18,79	14,07
M d2.3	0,38	0,41	0,33	0,31	0,20	0,36	19,04	11,84	18,90	16,42	22,24	18,34
media ± σ	0,33 0,05	0,35 0,05	0,30 0,06	0,35 0,04	0,25 0,06	0,33 0,04	18,68 1,18	11,84 0,11	17,81 5,26	16,98 0,99	21,40 2,31	17,11 2,65

Tabla A.23. Valores de Cu y Cr (mg kg^{-1}) para los triplicados de muestra cogidos en cada parcela a t0 y t3, junto con su valor medio y la desviación estándar.

	Cu						Cr					
	CARD (t0)	**CARD (t3)**	**ALM-J (t0)**	**ALM-J (t3)**	**ALM-A (t0)**	**ALM-A (t3)**	**CARD (t0)**	**CARD (t3)**	**ALM-J (t0)**	**ALM-J (t3)**	**ALM-A (t0)**	**ALM-A (t3)**
C 1	50,28	34,86	82,22	42,50	39,54	41,21	31,00	25,55	24,42	30,03	20,21	25,51
C 2	36,20	27,11	47,04	53,42	48,81	37,73	26,16	21,94	22,24	31,41	19,34	22,46
C 3	44,04	37,01	31,91	47,96	50,64	44,68	31,19	28,04	23,66	25,85	20,81	24,73
media ± σ	43,51 7,06	32,99 5,21	53,72 25,81	47,96 5,46	46,33 5,95	41,21 3,48	29,45 2,85	25,18 3,07	23,44 1,11	29,10 2,90	20,12 0,74	24,23 1,58
DC d1.1	66,42	31,24	25,57	26,76	23,06	37,17	35,67	23,21	21,98	15,31	19,75	21,80
DC d1.2	42,86	30,82	43,19	27,39	30,90	39,20	29,35	26,09	18,50	24,29	14,69	25,01
DC d1.3	47,50	42,07	36,33	28,01	25,68	41,23	34,76	25,26	18,65	25,33	15,19	24,71
media ± σ	52,26 12,48	34,71 6,38	35,03 8,88	27,39 0,63	26,55 3,99	39,20 2,03	33,26 3,42	24,85 1,48	19,71 1,97	21,64 5,51	16,54 2,79	23,84 1,77
DC d2.1	43,52	32,10	41,86	36,93	26,27	34,56	31,58	25,55	23,50	21,72	16,92	26,12
DC d2.2	49,20	38,02	48,32	44,35	36,86	37,14	28,70	26,68	17,16	24,93	13,79	20,32
DC d2.3	57,06	32,07	40,63	44,37	50,37	31,98	30,87	23,70	21,58	28,17	17,10	24,92
media ± σ	49,93 6,80	34,06 3,43	43,60 4,13	41,88 4,29	37,83 12,08	34,56 2,58	30,38 1,50	25,31 1,50	20,75 3,25	24,94 3,23	15,94 1,86	23,79 3,06
DS d1.1	53,74	47,96	34,80	42,14	38,20	43,69	32,70	25,23	18,88	24,54	16,75	21,89
DS d1.2	63,31	36,20	34,94	44,10	42,21	42,20	28,40	25,04	26,40	22,88	19,05	24,18
DS d1.3	40,94	32,08	29,54	45,58	51,93	45,18	27,41	25,42	18,17	27,19	22,74	22,83
media ± σ	52,66 11,22	38,75 8,24	33,09 3,08	43,94 1,73	44,11 7,06	43,69 1,49	29,50 2,81	25,23 0,19	21,15 4,56	24,87 2,17	19,51 3,02	22,97 1,15
DS d2.1	47,10	47,03	40,16	42,29	52,65	35,45	27,63	28,66	19,86	22,91	20,81	26,54
DS d2.2	36,45	37,73	45,08	37,46	47,61	34,80	25,11	21,94	20,97	22,90	17,49	24,60
DS d2.3	57,81	45,27	38,36	31,97	47,97	36,10	34,78	28,06	24,04	24,76	22,27	21,08
media ± σ	47,12 10,68	43,34 4,94	41,20 3,48	37,24 5,16	49,41 2,81	35,45 0,65	29,17 5,02	26,22 3,72	21,62 2,17	23,52 1,07	20,19 2,45	24,07 2,77
M d1.1	49,24	30,01	44,16	41,74	66,55	45,01	29,88	20,92	29,19	25,82	22,13	23,70
M d1.2	59,77	41,40	52,95	42,02	54,55	42,53	32,53	25,45	22,15	25,93	18,89	21,84
M d1.3	37,52	35,71	49,67	41,45	51,24	42,06	25,98	27,69	23,35	26,23	17,44	23,33
media ± σ	48,84 11,13	35,71 5,70	48,93 4,44	41,74 0,29	57,45 8,06	43,20 1,59	29,46 3,29	24,69 3,45	24,90 3,77	25,99 0,21	19,49 2,40	22,96 0,98
M d2.1	50,26	31,38	32,70	39,96	53,50	41,76	29,38	22,72	19,26	26,73	25,89	22,57
M d2.2	35,34	29,88	46,09	42,02	50,92	41,82	25,09	23,55	24,61	30,13	18,40	19,14
M d2.3	55,53	42,85	54,57	44,08	57,34	43,81	34,78	26,54	24,16	26,72	16,00	24,64
media ± σ	47,04 10,47	34,70 7,09	44,45 11,03	42,02 2,06	53,92 3,23	42,46 1,17	29,75 4,86	24,27 2,01	22,68 2,97	27,86 1,97	20,10 5,16	22,12 2,78

Tabla A.24. Valores de Ni y Zn (mg kg^{-1}) para los triplicados de muestra cogidos en cada parcela a t0 y t3, junto con su valor medio y la desviación estándar.

	Ni						Zn					
	CARD (t0)	**CARD (t3)**	**ALM-J (t0)**	**ALM-J (t3)**	**ALM-A (t0)**	**ALM-A (t3)**	**CARD (t0)**	**CARD (t3)**	**ALM-J (t0)**	**ALM-J (t3)**	**ALM-A (t0)**	**ALM-A (t3)**
C 1	14,22	13,51	0,00	0,00	12,64	11,69	38,69	29,67	0,00	0,00	45,50	41,78
C 2	11,96	10,60	0,00	0,00	10,74	10,45	31,65	23,89	0,00	0,00	36,43	48,92
C 3	13,88	13,71	0,00	0,00	12,66	11,46	38,44	33,64	0,00	0,00	35,83	34,64
media ± σ	13,35 1,22	12,61 1,74	0,00 0,00	0,00 0,00	12,01 1,10	11,20 0,66	36,26 3,99	29,07 4,90	0,00 0,00	0,00 0,00	39,25 5,42	41,78 7,14
DC d1.1	16,36	11,34	0,00	0,00	11,27	9,80	57,47	32,30	0,00	0,00	33,47	36,20
DC d1.2	14,44	13,09	0,00	0,00	11,44	11,50	40,56	32,43	0,00	0,00	46,58	35,57
DC d1.3	15,40	12,03	0,00	0,00	9,24	11,42	47,45	35,01	0,00	0,00	30,38	35,89
media ± σ	15,40 0,96	12,15 0,88	0,00 0,00	0,00 0,00	10,65 1,22	10,91 0,96	48,49 8,50	33,25 1,53	0,00 0,00	0,00 0,00	36,81 8,60	35,89 0,32
DC d2.1	14,63	12,50	0,00	0,00	9,68	12,30	40,26	28,66	0,00	0,00	29,16	30,55
DC d2.2	13,13	12,97	0,00	0,00	8,27	11,93	57,23	32,40	0,00	0,00	41,36	32,06
DC d2.3	13,41	11,77	0,00	0,00	10,82	11,56	51,82	36,13	0,00	0,00	76,95	29,03
media ± σ	13,72 0,80	12,41 0,60	0,00 0,00	0,00 0,00	9,59 1,28	11,93 0,37	49,77 8,67	32,40 3,74	0,00 0,00	0,00 0,00	49,16 24,83	30,55 1,52
DS d1.1	14,12	12,85	0,00	0,00	10,78	10,42	47,56	39,80	0,00	0,00	44,60	38,07
DS d1.2	12,94	12,17	0,00	0,00	10,51	11,30	51,38	30,91	0,00	0,00	62,22	44,84
DS d1.3	12,49	12,31	0,00	0,00	11,71	11,41	44,27	32,93	0,00	0,00	67,91	42,74
media ± σ	13,18 0,84	12,44 0,36	0,00 0,00	0,00 0,00	11,00 0,63	11,04 0,54	47,74 3,56	34,55 4,66	0,00 0,00	0,00 0,00	58,24 12,15	41,88 3,47
DS d2.1	13,01	13,37	0,00	0,00	10,56	12,10	48,02	36,26	0,00	0,00	72,07	54,80
DS d2.2	10,93	13,56	0,00	0,00	10,45	11,57	31,40	29,59	0,00	0,00	98,26	44,59
DS d2.3	14,19	13,74	0,00	0,00	11,86	11,84	48,59	32,93	0,00	0,00	95,71	39,07
media ± σ	12,71 1,65	13,56 0,19	0,00 0,00	0,00 0,00	10,96 0,78	11,84 0,27	42,67 9,76	32,93 3,34	0,00 0,00	0,00 0,00	88,68 14,44	46,15 7,98
M d1.1	13,52	12,88	0,00	0,00	11,84	10,64	47,30	45,59	0,00	0,00	57,91	39,27
M d1.2	14,51	13,11	0,00	0,00	10,76	9,80	56,43	51,16	0,00	0,00	52,59	48,66
M d1.3	11,44	12,65	0,00	0,00	9,28	10,61	67,58	40,02	0,00	0,00	55,60	45,54
media ± σ	13,16 1,57	12,88 0,23	0,00 0,00	0,00 0,00	10,63 1,29	10,35 0,48	57,10 10,16	45,59 5,57	0,00 0,00	0,00 0,00	55,37 2,67	44,49 4,78
M d2.1	13,36	11,07	0,00	0,00	13,32	10,29	44,42	32,79	0,00	0,00	54,67	51,37
M d2.2	11,69	11,81	0,00	0,00	9,32	8,77	37,37	27,15	0,00	0,00	43,95	44,31
M d2.3	15,24	11,44	0,00	0,00	9,62	10,87	67,14	29,97	0,00	0,00	52,73	54,42
media ± σ	13,43 1,78	11,44 0,37	0,00 0,00	0,00 0,00	10,75 2,23	9,98 1,08	49,64 15,56	29,97 2,82	0,00 0,00	0,00 0,00	50,45 5,71	50,03 5,19

Tabla A.25. Valores de BSR (mg CO_2 kg^{-1}) en distintos días de incubación para los triplicados de muestra cogidos en la parcela *CARD*, a t0 y t3, junto con su valor medio y la desviación estándar.

	t0						t3						
	día 3	**día 6**	**día 10**	**día 23**	**día 29**	**día 34**	**día 2**	**día 5**	**día 9**	**día 16**	**día 19**	**día 25**	**día 30**
C 1	48,53	78,40	115,73	186,66	220,26	242,66	7,78	19,44	34,99	54,43	69,98	89,42	112,70
C 2	59,69	111,92	145,50	179,07	212,65	238,76	7,69	23,06	46,12	65,33	80,70	103,76	131,54
C 3	37,24	67,04	96,83	126,62	152,69	171,32	7,88	23,65	43,36	74,90	94,61	130,08	158,81
media ± σ	48,49 11,23	85,79 23,33	119,35 24,54	164,12 32,69	195,20 37,01	217,58 40,11	7,78 0,10	22,05 2,28	41,49 5,80	64,89 10,24	81,76 12,35	107,75 20,62	134,35 23,18
DC d1.1	104,36	182,63	238,53	327,98	372,71	406,25	11,82	27,58	51,23	78,81	102,45	133,97	153,42
DC d1.2	122,58	234,02	293,45	349,17	390,03	416,03	15,55	42,76	73,86	108,84	136,05	159,38	172,85
DC d1.3	78,25	149,05	190,04	231,03	264,56	294,37	11,80	31,47	55,07	86,54	110,15	141,62	172,85
media ± σ	101,73 22,28	188,57 42,79	240,67 51,74	302,73 62,99	342,43 67,99	372,22 67,59	13,06 2,16	33,94 7,88	60,05 12,11	91,40 15,59	116,22 17,60	144,99 13,04	166,37 11,22
DC d2.1	71,65	169,69	233,79	290,36	339,38	365,77	11,88	35,65	59,42	87,15	114,87	142,60	161,96
DC d2.2	94,05	203,15	270,87	346,11	398,78	432,63	27,51	55,02	106,12	157,21	200,44	259,40	253,53
DC d2.3	104,57	239,03	295,05	395,89	451,91	504,19	15,64	50,82	86,01	121,20	152,47	191,57	218,90
media ± σ	90,09 16,81	203,96 34,68	266,57 30,86	344,12 52,79	396,69 56,29	434,20 69,22	18,34 8,16	47,16 10,19	83,85 23,42	121,85 35,03	155,93 42,89	197,86 58,65	211,46 46,24
DS d1.1	89,67	160,65	205,48	254,05	283,94	298,89	11,76	35,29	66,66	90,19	109,80	137,25	164,58
DS d1.2	74,77	145,81	190,67	276,66	317,78	340,22	23,88	67,66	91,54	135,33	167,17	214,93	226,99
DS d1.3	77,44	111,16	184,88	218,60	260,04	290,76	11,50	34,49	65,15	99,63	130,29	157,12	180,79
media ± σ	80,63 7,94	139,21 25,40	193,68 10,62	249,77 29,27	287,25 29,01	309,96 26,52	15,71 7,07	45,81 18,92	74,45 14,82	108,38 23,81	135,75 29,07	169,77 40,35	
DS d2.1	104,69	216,86	284,16	340,25	381,38	407,55	19,56	58,67	82,14	136,90	164,28	203,40	218,43
DS d2.2	67,40	153,53	205,95	265,87	299,57	325,78	7,81	27,34	54,68	82,02	93,73	113,26	145,45
DS d2.3	82,20	172,23	246,61	289,67	324,90	348,38	12,11	40,38	72,69	109,03	133,26	161,53	200,59
media ± σ	84,76 18,78	180,87 32,54	245,57 39,12	298,60 37,98	335,28 41,88	360,57 42,23	13,16 5,94	42,13 15,74	69,84 13,95	109,32 27,44	130,42 35,36	159,40 45,11	188,16 38,05
M d1.1	175,34	290,99	350,67	406,63	436,48	466,32	15,59	46,76	93,52	155,86	190,93	229,90	263,52
M d1.2	110,16	194,62	238,68	301,11	348,85	381,90	15,75	51,18	94,49	169,30	216,55	275,60	322,52
M d1.3	163,18	263,31	333,77	426,48	470,99	508,07	42,89	97,47	140,36	222,24	265,13	323,61	274,19
media ± σ	149,56 34,66	249,64 49,62	307,71 60,37	378,07 67,39	418,77 62,97	452,10 64,28	24,74 15,72	65,14 28,09	109,46 26,77	182,47 35,09	224,20 37,69	276,37 46,86	286,74 31,44
M d2.1	97,23	164,55	201,95	246,83	291,70	317,88	19,21	49,96	80,70	107,60	134,50	161,40	183,31
M d2.2	226,52	363,92	486,47	571,88	601,59	631,30	15,59	38,99	70,18	101,37	124,76	155,95	180,77
M d2.3	96,90	186,34	234,79	309,33	342,87	365,24	19,65	62,89	113,99	149,37	176,88	208,33	226,51
media ± σ	140,22 74,74	238,27 109,36	307,74 155,66	376,01 172,48	412,05 166,13	438,14 168,95	18,15 2,23	50,61 11,96	88,29 22,87	119,45 26,10	145,38 27,71	175,23 28,80	196,86 25,71

Tabla A.26. Valores de BSR (mg CO_2 kg^{-1}) en distintos días de incubación para los triplicados de muestra cogidos en la parcela *ALM-J*, a t0 y t3, junto con su valor medio y la desviación estándar.

	t0						t3					
	día 3	**día 6**	**día 10**	**día 14**	**día 20**	**día 25**	**día 2**	**día 10**	**día 13**	**día 18**	**día 23**	**día 26**
C 1	48,67	82,36	108,57	134,78	160,98	183,45	45,13	233,88	315,94	393,90	484,17	549,82
C 2	65,74	127,60	170,14	204,94	282,28	317,08	57,19	424,85	543,32	767,99	886,46	996,76
C 3	11,90	27,77	43,64	55,55	67,45	79,35	36,20	277,56	358,01	442,49	526,96	575,24
media ± σ	42,10 27,51	79,24 49,99	107,45 63,26	131,76 74,74	170,24 107,71	193,29 119,17	46,17 10,53	312,10 100,06	405,76 120,98	534,79 203,41	632,53 220,95	707,27 251,02
DC d1.1	17,54	43,86	70,18	96,49	135,97	166,67	60,96	195,06	280,40	495,78	609,56	666,45
DC d1.2	38,95	82,24	125,52	160,15	238,06	281,34	86,05	274,54	352,39	540,88	680,20	741,66
DC d1.3	29,61	63,46	118,45	156,53	198,83	236,91	57,81	371,65	495,53	718,51	830,01	933,24
media ± σ	28,70 10,73	63,19 19,19	104,72 30,12	137,72 35,75	190,95 51,50	228,31 57,82	68,27 15,48	280,42 88,44	376,11 109,51	585,06 117,75	706,59 112,57	780,45 137,56
DC d2.1	21,32	68,23	115,13	153,51	213,21	243,06	61,84	259,74	321,58	432,89	548,33	622,54
DC d2.2	46,22	92,45	155,48	201,70	285,74	331,96	56,41	193,41	342,50	543,97	672,91	769,62
DC d2.3	81,81	193,75	318,61	413,33	533,89	589,86	32,77	139,28	204,83	323,63	434,24	487,49
media ± σ	49,78 30,40	118,14 66,59	196,41 107,74	256,18 138,21	344,28 168,16	388,29 180,13	50,34 15,46	197,48 60,33	289,64 74,19	433,50 110,17	551,83 119,37	626,55 141,11
DS d1.1	75,69	143,81	193,01	227,07	280,05	317,89	32,93	152,32	205,84	308,75	366,39	399,32
DS d1.2	64,31	124,84	166,45	196,71	242,11	268,59	31,92	175,53	255,32	355,06	442,83	482,72
DS d1.3	16,76	33,53	62,86	88,01	134,11	167,63	53,95	174,29	248,99	348,59	419,13	464,78
media ± σ	52,25 31,26	100,73 58,96	140,77 68,77	170,60 73,12	218,76 75,72	251,37 76,60	39,60 12,44	167,38 13,06	236,72 26,93	337,47 25,08	409,45 39,13	448,94 43,90
DS d2.1	49,95	99,91	149,86	180,60	234,40	257,45	52,04	216,18	300,25	392,33	464,39	508,42
DS d2.2	81,57	182,56	260,25	314,63	407,85	446,70	44,11	236,57	312,75	408,98	477,14	513,23
DS d2.3	47,77	91,56	123,40	143,31	179,14	199,04	54,04	191,22	290,99	436,49	544,57	602,77
media ± σ	59,76 18,92	124,68 50,30	177,84 72,59	212,85 90,10	273,80 119,34	301,06 129,46	50,06 5,25	214,66 22,71	301,33 10,92	412,60 22,30	495,37 43,09	541,47 53,14
M d1.1	104,05	212,11	292,15	356,18	468,24	512,26	53,54	278,41	449,74	642,48	829,87	969,08
M d1.2	137,36	267,08	312,87	362,47	427,33	488,38	85,05	494,09	660,14	757,34	935,54	1040,84
M d1.3	191,53	375,24	480,78	566,78	644,95	715,31	108,50	300,46	450,69	650,99	788,70	905,55
media ± σ	144,31 44,15	284,81 83,00	361,93 103,44	428,48 119,82	513,51 115,66	571,98 124,70	82,36 27,58	357,65 118,67	520,19 121,20	683,60 64,00	851,37 75,74	971,82 67,69
M d2.1	90,80	153,97	209,24	240,83	343,48	390,85	69,29	244,54	354,58	501,30	607,27	680,63
M d2.2	172,94	326,66	476,55	526,51	649,49	684,07	54,89	401,12	548,90	633,34	810,68	895,12
M d2.3	300,01	571,25	797,28	949,34	1179,49	1261,68	105,31	295,68	392,89	498,20	603,52	684,52
media ± σ	187,92 105,41	350,63 209,67	494,36 294,42	572,23 356,46	724,15 422,98	778,87 443,09	76,50 25,97	313,78 79,84	432,12 102,93	544,28 77,14	673,82 118,54	753,42 122,73

Tabla A.27. Valores de BSR (mg CO_2 kg^{-1}) en distintos días de incubación para los triplicados de muestra cogidos en la parcela *ALM-A*, a t0 y t3, junto con su valor medio y la desviación estándar.

	t0						t3						
	día 2	**día 4**	**día 10**	**día 13**	**día 17**	**día 21**	**día 3**	**día 7**	**día 14**	**día 17**	**día 23**	**día 28**	**día 30**
C 1	50,43	128,03	236,65	298,73	360,80	430,63	39,71	97,06	145,59	176,48	225,01	238,24	112,70
C 2	81,19	170,11	378,89	471,68	603,13	719,11	43,25	99,48	147,05	177,33	211,93	237,88	131,54
C 3	42,72	104,85	201,94	256,30	330,09	380,57	24,82	57,91	91,00	107,55	132,37	148,91	158,81
media ± σ	58,11 20,35	134,33 33,08	272,49 93,76	342,24 114,09	431,34 149,56	510,10 182,73	35,93 9,78	84,82 23,33	127,88 31,95	153,79 40,04	189,77 50,14	208,34 51,47	134,35 23,18
DC d1.1	40,98	110,64	245,87	340,12	422,07	495,83	11,88	23,76	39,60	51,48	59,40	71,28	153,42
DC d1.2	29,46	84,19	265,18	357,79	433,56	509,32	78,58	141,45	259,32	314,33	353,62	377,20	172,85
DC d1.3	21,68	86,74	164,80	242,87	303,58	359,96	35,54	67,13	102,67	118,46	142,15	169,80	172,85
media ± σ	30,71 9,71	93,86 14,59	225,28 53,26	313,59 61,88	386,40 71,96	455,04 82,61	42,00 33,82	77,45 59,52	133,86 113,13	161,42 136,59	185,06 151,73	206,09 156,16	166,37 11,22
DC d2.1	82,74	157,21	302,00	405,43	488,17	579,18	31,40	58,88	94,21	117,76	141,32	172,72	161,96
DC d2.2	42,50	114,76	259,27	348,53	459,03	544,04	51,07	98,22	192,50	231,79	278,94	302,51	253,53
DC d2.3	81,65	184,78	378,16	558,65	709,06	928,22	30,97	58,06	85,16	100,64	123,87	147,09	218,90
media ± σ	68,96 22,92	152,25 35,27	313,14 60,22	437,54 108,68	552,09 136,72	683,81 212,39	37,81 11,48	71,72 22,95	123,96 59,53	150,06 71,29	181,38 84,94	207,44 83,32	211,46 46,24
DS d1.1	74,63	149,26	227,82	310,30	400,65	498,84	12,56	20,94	25,13	33,50	54,44	58,63	164,58
DS d1.2	53,43	131,51	304,11	402,74	509,59	632,88	49,09	94,08	155,44	179,99	188,17	229,07	226,99
DS d1.3	238,33	576,61	953,33	1091,71	1245,48	1426,15	78,56	181,94	277,04	322,53	359,74	401,09	180,79
media ± σ	122,13 101,19	285,79 252,01	495,09 398,68	601,58 426,97	718,57 459,55	852,62 501,19	46,74 33,06	98,99 80,61	152,54 125,98	178,67 144,52	200,78 153,04	229,60 171,23	
DS d2.1	155,77	327,12	642,56	771,07	907,37	1051,46	72,86	186,21	331,94	380,51	425,04	461,47	218,43
DS d2.2	292,89	696,10	1099,30	1293,29	1555,75	1742,14	32,70	61,32	89,94	110,38	163,52	188,05	145,45
DS d2.3	214,22	455,21	818,62	967,80	1128,47	1281,48	62,46	95,77	137,40	166,55	191,53	212,35	200,59
media ± σ	220,96 68,81	492,81 187,34	853,49 230,36	1010,72 263,74	1197,20 329,61	1358,36 351,70	56,01 20,84	114,43 64,50	186,43 128,23	219,15 142,54	260,03 143,59	287,29 151,33	188,16 38,05
M d1.1	58,13	153,63	390,31	519,03	656,06	788,93	73,65	135,02	229,13	282,32	315,05	351,87	263,52
M d1.2	83,28	194,33	380,72	499,70	678,16	836,80	62,88	129,69	200,43	239,73	298,68	345,85	322,52
M d1.3	35,12	109,74	272,15	417,00	553,07	675,97	70,32	153,82	215,34	246,11	303,24	320,82	274,19
media ± σ	58,84 24,09	152,57 42,31	347,73 65,63	478,58 54,20	629,10 66,76	767,23 82,58	68,95 5,51	139,51 12,68	214,97 14,35	256,05 22,97	305,66 8,45	339,51 16,47	286,74 31,44
M d2.1	65,18	142,57	350,32	480,67	631,39	761,74	45,89	100,13	129,33	154,36	204,43	225,29	183,31
M d2.2	172,99	333,90	615,51	816,65	1146,53	1464,34	54,86	118,16	168,81	202,57	223,67	257,43	180,77
M d2.3	70,92	168,43	434,37	602,80	833,28	1023,87	50,69	101,37	164,73	194,30	244,98	270,33	226,51
media ± σ	103,03 60,66	214,97 103,81	466,73 135,52	633,37 170,06	870,40 259,57	1083,32 355,05	50,48 4,49	106,55 10,07	154,29 21,71	183,74 25,78	224,36 20,28	251,02 23,19	196,86 25,71

Tabla A.28. Valores para los parámetros *a* y *b* de las ecuaciones logarítmicas propias de las líneas de ajuste para uno de los suelos a t0 y t3.

	CARD t0		**CARD t3**	
	a	*b*	*a*	*b*
C	66,71	-30,82	44,52	-40,59
DC d1	104,24	-6,40	55,91	-45,06
DC d2	131,92	-45,42	72,74	-55,51
DS d1	91,27	-21,48	63,70	-47,40
DS d2	106,15	-18,37	62,76	-49,18
M d1	116,44	30,57	102,20	-78,84
M d2	118,10	20,93	65,26	-43,54
	ALM-J t0		**ALM-J t3**	
	a	*b*	*a*	*b*
C	70,30	-43,90	165,08	-34,16
DC d1	93,16	-92,50	183,50	-54,99
DC d2	162,12	-154,03	159,05	-77,36
DS d1	92,19	-60,08	118,86	-49,76
DS d2	113,98	-75,19	136,87	-41,97
M d1	196,56	-76,00	235,31	-77,07
M d2	281,60	-139,92	173,74	-25,61
	ALM-A t0		**ALM-A t3**	
	a	*b*	*a*	*b*
C	185,62	-103,67	63,95	-34,43
DC d1	177,10	-127,74	68,29	-40,47
DC d2	246,97	-159,93	78,19	-64,88
DS d1	293,06	-113,76	74,34	-38,40
DS d2	467,66	-144,01	86,95	-41,02
M d1	287,02	-207,83	112,58	-65,50
M d2	390,14	-271,96	79,59	-42,28

Tabla A.29. Valores de r^2 para los distintos ajustes de regresión para el control y tratamientos en los suelos *CARD*, *ALM-J* y *ALM-A* a t0 y t3.

	CARD t0	CARD t3	ALM-J t0	ALM-J t3	ALM-A t0	ALM-A t3
C	0,980	0,879	0,973	0,935	0,954	0,971
DCd1	0,988	0,912	0,948	0,855	0,949	0,969
DCd2	0,987	0,923	0,972	0,827	0,916	0,954
DSd1	0,991	0,926	0,976	0,880	0,967	0,984
DSd2	0,983	0,930	0,988	0,897	0,982	0,977
Md1	0,989	0,932	0,994	0,879	0,919	0,972
Md2	0,994	0,950	0,992	0,906	0,891	0,967

Tabla A. 30. Tabla resumen del test ANOVA entre grupos para el suelo CARD a t0 y t3.

	CARD t0					CARD t3				
	SC	**gl**	**MC**	**F**	**P**	**SC**	**gl**	**MC**	**F**	**P**
pH	0,14	6	0,02	3,67	0,0211	0,08	6	0,01	0,97	0,4814
CE	89570,68	6	14928,45	12,02	0,0001	53815,70	6	8969,28	6,46	0,0020
CRH	0,03	6	0,01	3,64	0,0217	0,04	6	0,01	8,67	0,0005
densidad	123,54	6	20,59	1,89	0,1531	26,91	6	4,49	0,35	0,9009
Ctotal	0,22	6	0,04	0,59	0,7331	0,88	6	0,15	10,64	0,0002
Corg	2,06	6	0,34	4,65	0,0084	0,65	6	0,11	5,50	0,0041
TOC	276099,48	6	46016,58	13,75	0,0000	85,04	6	14,17	6,71	0,0016
Csh	4,3	6	0,72	5,35	0,0046	2,81	6	0,47	4,81	0,0073
Ntotal	0,01	6	0	2,02	0,1310	0,01	6	0,00	2,86	0,0495
Nhidro	20921,7	6	3486,95	13,71	0,0000	1796,96	6	299,49	21,40	0,0000
β-glucosidada	0,47	6	0,08	6,7	0,0017	0,29	6	0,05	1,40	0,2834
fosfatasa	2,9	6	0,48	14,77	0,0000	0,40	6	0,07	6,10	0,0026
glicina	0,13	6	0,02	7,56	0,0009	0,01	6	0,00	0,61	0,7221
ureasa	7,23	6	1,21	19,72	0,0000	2,53	6	0,42	3,12	0,0371
[Cl^-]	6381,22	6	1063,54	26,6	0,0000	462,57	6	77,10	28,83	0,0000
[NO_3^-]	527,1	6	87,85	0,43	0,8439	12595,81	6	2099,30	20,96	0,0000
[SO_4^{2-}]	38,76	6	6,46	5,91	0,0030	869,96	6	144,99	27,27	0,0000
Ca	25,33	6	4,22	1,2	0,3609	20,87	6	3,48	3,96	0,0159
K	0,05	6	0,01	2,44	0,0789	0,05	6	0,01	5,44	0,0043
Mg	0,04	6	0,01	1,17	0,3763	0,01	6	0,00	1,55	0,2347
Na	0	6	0	5,22	0,0051	0,00	6	0,00	1,67	0,2017
P	0	6	0	5,12	0,0056	0,00	6	0,00	6,60	0,0018
S	0	6	0	0,97	0,4801	0,00	6	0,00	0,91	0,5139
Fe	0,16	6	0,03	0,86	0,5449	0,20	6	0,03	2,74	0,0565
Mn	5291,8	6	881,97	0,52	0,7854	9357,87	6	1559,64	2,97	0,0437
Cd	0,01	6	0	0,62	0,7109	0,03	6	0,01	5,17	0,0054
Pb	425,83	6	70,97	1,31	0,3167	49,97	6	8,33	7,55	0,0009
Cu	186,26	6	31,04	0,3	0,9269	230,88	6	38,48	1,06	0,4313
Cr	36,66	6	6,11	0,48	0,8141	6,72	6	1,12	0,18	0,9779
Ni	13,5	6	2,25	1,3	0,3182	7,57	6	1,26	1,95	0,1420
Zn	757,75	6	126,29	1,43	0,2700	538,49	6	89,75	5,60	0,0038

SC: Suma de cuadrados; gl: grados de libertad; MC: media cuadrática.

Tabla A. 31. Tabla resumen del test ANOVA entre grupos para el suelo ALM-J a t0 y t3.

	ALM-J t0					ALM-J t3				
	SC	**gl**	**MC**	**F**	**P**	**SC**	**gl**	**MC**	**F**	**P**
pH	0,13	6	0,02	1,74	0,183	0,31	6	0,05	6,28	0,002
CE	11,76	6	1,96	62,14	0,000	10,86	6	1,81	28,98	0,000
CRH	0,05	6	0,01	2,02	0,131	0,01	6	0,00	31,32	0,000
densidad	67,72	6	11,29	0,93	0,501	111,99	6	18,67	2,01	0,131
Ctotal	5,37	6	0,90	1,95	0,142	1,06	6	0,18	0,57	0,747
Corg	1,43	6	0,24	8,58	0,000	1,29	6	0,22	9,94	0,000
TOC	191571,17	6	31928,53	13,11	0,000	2670,61	6	445,10	5,69	0,004
Csh	17,72	6	2,95	8,38	0,001	3,14	6	0,52	9,57	0,000
Ntotal	0,02	6	0,00	3,29	0,031	0,00	6	0,00	3,65	0,021
Nhidro	210460,43	6	35076,74	55,51	0,000	93216,97	6	15536,16	199,75	0,000
β-glucosidada	1,08	6	0,18	15,18	0,000	2,78	6	0,46	21,78	0,000
fosfatasa	19,79	6	3,30	10,33	0,000	6,85	6	1,14	4,83	0,007
glicina	0,54	6	0,09	19,29	0,000	1,52	6	0,25	4,10	0,014
ureasa	5,27	6	0,88	26,09	0,000	0,61	6	0,010	47,855	0,000
[Cl^-]	182295,57	6	30382,60	41,15	0,000	30499,55	6	5083,26	29,15	0,000
[NO_3^-]	59255,49	6	9875,92	18,21	0,000	192536,38	6	32089,40	46,13	0,000
[SO_4^{2-}]	410177,80	6	68362,97	75,74	0,000	21,73	6	3,62	1,39	0,286
Ca	26,44	6	4,41	1,19	0,368	0,03	6	0,00	4,82	0,007
K	0,18	6	0,03	7,00	0,001	0,10	6	0,02	4,19	0,013
Mg	0,18	6	0,03	11,77	0,000	0,00	6	0,00	3,86	0,017
Na	0,04	6	0,01	27,10	0,000	0,01	6	0,00	46,64	0,000
P	0,04	6	0,01	13,19	0,000	0,00	6	0,00	0,77	0,606
S	0,01	6	0,00	4,59	0,009	0,20	6	0,03	3,34	0,030
Fe	0,15	6	0,02	1,04	0,443	13701,95	6	2283,66	2,09	0,119
Mn	8430,25	6	1405,04	0,54	0,770	0,12	6	0,02	2,80	0,053
Cd	0,02	6	0,00	0,87	0,539	254,55	6	42,42	19,58	0,000
Pb	227,06	6	37,84	0,91	0,517	766,83	6	127,81	10,84	0,000
Cu	952,08	6	158,68	1,20	0,362	114,58	6	19,10	2,27	0,097
Cr	55,78	6	9,30	1,01	0,455	13,79	6	2,30	2,41	0,082
Ni	-	-	-	-	-	3240,46	6	540,08	13,68	0,000
Zn	-	-	-	-	-	538,49	6	89,75	5,60	0,004

SC: Suma de cuadrados; gl: grados de libertad; MC: media cuadrática.

Tabla A. 32. Tabla resumen del test ANOVA entre grupos para el suelo ALM-A a t0 y t3.

	ALM-A t0					ALM-A t3				
	SC	**gl**	**MC**	**F**	**P**	**SC**	**gl**	**MC**	**F**	**P**
pH	0,19	6	0,03	5,20	0,005	0,29	6	0,05	7,66	0,001
CE	3,14	6	0,52	13,72	0,000	1,77	6	0,29	20,89	0,000
CRH	0,05	6	0,01	6,36	0,002	0,02	6	0,00	0,76	0,610
densidad	662,22	6	110,37	5,81	0,003	147,64	6	24,61	1,48	0,254
Ctotal	5,75	6	0,96	5,41	0,004	14,73	6	2,45	8,98	0,000
Corg	3,00	6	0,50	14,36	0,000	3,19	6	0,53	2,42	0,081
TOC	167124,15	6	27854,02	21,47	0,000	11426,79	6	1904,46	5,45	0,004
Csh	6,39	6	1,06	5,12	0,006	8,20	6	1,37	3,77	0,019
Ntotal	0,05	6	0,01	10,77	0,000	0,05	6	0,01	3,21	0,034
Nhidro	74472,53	6	12412,09	37,64	0,000	165085,14	6	27514,19	19,37	0,000
β-glucosidada	64,67	6	10,78	15,18	0,000	5,96	6	0,99	4,18	0,013
fosfatasa	27,78	6	4,63	19,11	0,000	60,639	6	10,11	55,19	0,000
glicina	3,93	6	0,66	35,58	0,000	9,10	6	1,52	8,03	0,001
ureasa	20,68	6	3,45	30,29	0,000	11351,50	6	1891,92	6,59	0,002
[Cl^-]	4136049,92	6	689341,65	29,11	0,000	21245,04	6	3540,84	16,14	0,000
[NO_3^-]	6253785,99	6	1042297,67	29,69	0,000	115992,06	6	19332,01	23,60	0,000
[SO_4^{2-}]	4431269,26	6	738544,88	20,00	0,000	24,47	6	4,08	25,87	0,000
Ca	12,40	6	2,07	6,58	0,002	0,01	6	0,00	1,49	0,251
K	0,13	6	0,02	17,44	0,000	0,05	6	0,01	24,47	0,000
Mg	0,06	6	0,01	9,64	0,000	0,00	6	0,00	4,00	0,015
Na	0,01	6	0,00	13,67	0,000	0,00	6	0,00	4,78	0,007
P	0,01	6	0,00	18,56	0,000	0,01	6	0,00	16,53	0,000
S	0,01	6	0,00	4,66	0,008	0,14	6	0,02	4,58	0,009
Fe	0,23	6	0,04	2,69	0,059	4270,30	6	711,72	2,46	0,077
Mn	11623,76	6	1937,29	6,03	0,003	0,01	6	0,00	2,64	0,063
Cd	0,02	6	0,00	1,98	0,137	162,64	6	27,11	13,48	0,000
Pb	24,07	6	4,01	0,18	0,976	246,91	6	41,15	9,81	0,000
Cu	1944,97	6	324,16	6,87	0,001	10,55	6	1,76	0,38	0,882
Cr	58,85	6	9,81	1,16	0,381	9,22	6	1,54	3,30	0,031
Ni	9,17	6	1,53	0,89	0,526	765,50	6	127,58	4,99	0,006
Zn	5314,79	6	885,80	5,56	0,004	538,49	6	89,75	5,60	0,004

SC: Suma de cuadrados; gl: grados de libertad; MC: media cuadrática.

Tabla A. 33. Tabla resumen de los subconjuntos (para α =0.05) formados a partir de la prueba *post-hoc* Tukey[B] para los parámetros estudiados en suelo CARD a t0 y t3. Para un parámetro, tratamientos con una misma letra muestra la ausencia de diferencias significativas entre ellas.

CARD t0																
	pH	**CE**	**densidad**	**CRH**	**Ctotal**	**Corg**	**TOC**	**Csh**	**Ntotal**	**Nhidr**	**β-G**	**fosfatasa**	**glicina**	**ureasa**	**Cl^-**	**NO_3^-**
C	*ab*	*a*	*ab*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*b*	*c*	*b*	*a*	*a*
DC d1	*ab*	*bc*	*a*	*a*	*a*	*a*	*ab*	*ab*	*a*	*ab*	*a*	*a*	*ab*	*a*	*bc*	*a*
DC d2	*b*	*d*	*ab*	*a*	*a*	*ab*	*bc*	*a*	*a*	*b*	*b*	*b*	*ab*	*a*	*d*	*a*
DS d1	*ab*	*ab*	*b*	*a*	*a*	*ab*	*ab*	*b*	*a*	*a*	*a*	*b*	*bc*	*a*	*abc*	*a*
DS d2	*ab*	*cd*	*ab*	*a*	*a*	*ab*	*bc*	*a*	*a*	*b*	*a*	*a*	*ab*	*b*	*c*	*a*
M d1	*ab*	*bc*	*ab*	*a*	*a*	*ab*	*cd*	*a*	*a*	*a*	*a*	*b*	*bc*	*b*	*bc*	*a*
M d2	*a*	*bc*	*ab*	*a*	*a*	*b*	*d*	*a*	*a*	*a*	*a*	*b*	*bc*	*b*	*ab*	*a*
	SO_4^{2-}	**Ca**	**K**	**Mg**	**Na**	**P**	**S**	**Fe**	**Mn**	**Cd**	**Pb**	**Cu**	**Cr**	**Ni**	**Zn**	
C	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	
DC d1	*ab*	*a*	*a*	*a*	*ab*	*ab*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	
DC d2	*bc*	*a*	*a*	*a*	*b*	*ab*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	
DS d1	*bc*	*a*	*a*	*a*	*ab*	*b*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	
DS d2	*bc*	*a*	*a*	*a*	*ab*	*b*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	
M d1	*c*	*a*	*a*	*a*	*a*	*b*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	
M d2	*bc*	*a*	*a*	*a*	*ab*	*ab*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	
CARD t3																
	pH	**CE**	**densidad**	**CRH**	**Ctotal**	**Corg**	**TOC**	**Csh**	**Ntotal**	**Nhidr**	**β-G**	**fosfatasa**	**glicina**	**ureasa**	**Cl^-**	**NO_3^-**
C	*a*	*a*	*ab*	*a*	*b*	*ab*	*a*	*ab*	*a*	*a*	*a*	*bc*	*a*	*a*	*a*	*b*
DC d1	*a*	*bc*	*a*	*a*	*ab*	*ab*	*a*	*b*	*a*	*c*	*a*	*ab*	*a*	*a*	*b*	*ab*
DC d2	*a*	*abc*	*ab*	*a*	*c*	*a*	*b*	*ab*	*a*	*a*	*a*	*bc*	*a*	*a*	*a*	*a*
DS d1	*a*	*c*	*c*	*a*	*b*	*a*	*a*	*ab*	*a*	*bc*	*a*	*a*	*a*	*a*	*b*	*c*
DS d2	*a*	*abc*	*bc*	*a*	*ab*	*b*	*a*	*b*	*a*	*a*	*a*	*bc*	*a*	*a*	*b*	*ab*
M d1	*a*	*ab*	*ab*	*a*	*b*	*ab*	*a*	*ab*	*a*	*a*	*a*	*bc*	*a*	*a*	*a*	*a*
M d2	*a*	*c*	*ab*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*b*	*a*	*c*	*a*	*a*	*b*	*b*
	SO_4^{2-}	**Ca**	**K**	**Mg**	**Na**	**P**	**S**	**Fe**	**Mn**	**Cd**	**Pb**	**Cu**	**Cr**	**Ni**	**Zn**	
C	*b*	*a*	*a*	*a*	*a*	*abc*	*a*	*ab*	*ab*	*abc*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	
DC d1	*d*	*ab*	*ab*	*a*	*a*	*ab*	*a*	*ab*	*ab*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	
DC d2	*a*	*b*	*ab*	*a*	*a*	*abc*	*a*	*ab*	*ab*	*ab*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	
DS d1	*d*	*ab*	*ab*	*a*	*a*	*ab*	*a*	*ab*	*ab*	*abc*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	
DS d2	*cd*	*ab*	*b*	*a*	*a*	*ab*	*a*	*b*	*b*	*c*	*b*	*a*	*a*	*a*	*a*	
M d1	*a*	*ab*	*a*	*a*	*a*	*c*	*a*	*ab*	*a*	*bc*	*a*	*a*	*a*	*a*	*b*	
M d2	*bc*	*ab*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*ab*	*ab*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	

Tabla A. 34. Tabla resumen de los subconjuntos (para α =0.05) formados a partir de la prueba *post-hoc* Tukey[B] para los parámetros estudiados en suelo ALM-J a t0 y t3. Para un parámetro, tratamientos con una misma letra muestra la ausencia de diferencias significativas entre ellas.

ALM-J t0																
	pH	**CE**	**densidad**	**CRH**	**Ctotal**	**Corg**	**TOC**	**Csh**	**Ntotal**	**Nhidr**	**β-G**	**fosfatasa**	**glicina**	**ureasa**	**Cl^-**	**NO_3^-**
C	*a*	*bc*	*a*	*a*	*a*	*a*	*ab*	*a*	*ab*	*a*	*ab*	*a*	*b*	*a*	*bc*	*a*
DC d1	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*b*	*a*	*ab*	*ab*	*a*	*c*	*ab*	*b*	*a*	*a*	*ab*
DC d2	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*b*	*ab*	*ab*	*a*	*a*	*c*	*bc*	*b*	*a*	*a*	*d*
DS d1	*a*	*b*	*a*	*a*	*a*	*b*	*ab*	*a*	*b*	*b*	*a*	*a*	*a*	*a*	*b*	*abc*
DS d2	*a*	*c*	*a*	*a*	*a*	*a*	*bc*	*abc*	*a*	*b*	*ab*	*a*	*a*	*b*	*d*	*abc*
M d1	*a*	*cd*	*a*	*a*	*a*	*b*	*cd*	*c*	*ab*	*c*	*bc*	*ab*	*c*	*b*	*cd*	*bc*
M d2	*a*	*d*	*a*	*a*	*a*	*b*	*d*	*bc*	*ab*	*c*	*c*	*c*	*b*	*b*	*b*	*c*
	SO_4^{2-}	**Ca**	**K**	**Mg**	**Na**	**P**	**S**	**Fe**	**Mn**	**Cd**	**Pb**	**Cu**	**Cr**			
C	*e*	*a*	*bc*	*ab*	*b*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*			
DC d1	*c*	*a*	*ab*	*a*	*a*	*ab*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*			
DC d2	*d*	*a*	*bc*	*cd*	*a*	*ab*	*ab*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*			
DS d1	*b*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*			
DS d2	*a*	*a*	*bc*	*ab*	*b*	*cd*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*			
M d1	*e*	*a*	*c*	*c*	*b*	*d*	*ab*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*			
M d2	*e*	*a*	*c*	*ab*	*b*	*d*	*b*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*			
ALM-J t3																
	pH	**CE**	**densidad**	**CRH**	**Ctotal**	**Corg**	**TOC**	**Csh**	**Ntotal**	**Nhidr**	**β-G**	**fosfatasa**	**glicina**	**ureasa**	**Cl^-**	**NO_3^-**
C	*b*	*bc*	*b*	*a*	*a*	*bc*	*ab*	*bc*	*a*	*a*	*a*	*abc*	*b*	*d*	*a*	*c*
DC d1	*b*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*c*	*a*	*a*	*ab*	*a*	*c*	*c*
DC d2	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*ab*	*abc*	*bc*	*a*	*d*	*a*	*abc*	*ab*	*ab*	*b*	*d*
DS d1	*a*	*b*	*c*	*a*	*a*	*bc*	*c*	*c*	*a*	*b*	*a*	*ab*	*a*	*b*	*b*	*c*
DS d2	*ab*	*bcd*	*a*	*a*	*a*	*c*	*ab*	*b*	*a*	*b*	*a*	*abc*	*ab*	*ab*	*b*	*bc*
M d1	*a*	*d*	*b*	*a*	*a*	*c*	*bc*	*bc*	*a*	*b*	*b*	*c*	*ab*	*c*	*a*	*ab*
M d2	*ab*	*cd*	*b*	*a*	*a*	*bc*	*abc*	*bc*	*a*	*b*	*b*	*bc*	*b*	*c*	*a*	*a*
	SO_4^{2-}	**Ca**	**K**	**Mg**	**Na**	**P**	**S**	**Fe**	**Mn**	**Cd**	**Pb**	**Cu**	**Cr**	**Ni**	**Zn**	
C	*a*	*a*	*c*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*b*	*bc*	*c*	*a*	*a*	*bcd*	
DC d1	*d*	*a*	*ab*	*ab*	*b*	*a*	*a*	*ab*	*a*	*a*	*ab*	*a*	*a*	*a*	*abc*	
DC d2	*c*	*a*	*abc*	*a*	*b*	*b*	*a*	*ab*	*a*	*ab*	*d*	*bc*	*a*	*a*	*e*	
DS d1	*b*	*a*	*abc*	*a*	*ab*	*c*	*a*	*ab*	*a*	*ab*	*ab*	*bc*	*a*	*a*	*abc*	
DS d2	*cd*	*a*	*a*	*a*	*ab*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*d*	*bc*	*a*	*a*	*cde*	
M d1	*b*	*a*	*ab*	*ab*	*ab*	*bc*	*a*	*ab*	*a*	*ab*	*a*	*bc*	*a*	*a*	*a*	
M d2	*b*	*a*	*ab*	*ab*	*b*	*c*	*a*	*ab*	*a*	*ab*	*cd*	*bc*	*a*	*a*	*de*	

Tabla A. 35. Tabla resumen de los subconjuntos (para α =0.05) formados a partir de la prueba *post-hoc* Tukey[B] para los parámetros estudiados en suelo ALM-A a t0 y t3. Para un parámetro, tratamientos con una misma letra muestra la ausencia de diferencias significativas entre ellas.

ALM-A t0																
	pH	**CE**	**densidad**	**CRH**	**Ctotal**	**Corg**	**TOC**	**Csh**	**Ntotal**	**Nhidro**	**β-G**	**fosfatasa**	**glicina**	**ureasa**	**Cl^-**	**NO_3^-**
C	*ab*	*cd*	*c*	*a*	*ab*	*a*	*a*	*c*	*a*	*a*	*a*	*a*	*cd*	*b*	*a*	*a*
DC d1	*b*	*ab*	*ab*	*a*	*a*	*a*	*a*	*bc*	*ab*	*cd*	*a*	*a*	*b*	*a*	*a*	*ab*
DC d2	*ab*	*b*	*ab*	*ab*	*a*	*ab*	*a*	*bc*	*abc*	*f*	*a*	*a*	*b*	*c*	*a*	*d*
DS d1	*a*	*ab*	*bc*	*ab*	*ab*	*c*	*a*	*ab*	*cd*	*de*	*ab*	*ab*	*c*	*ab*	*a*	*b*
DS d2	*ab*	*d*	*ab*	*ab*	*b*	*bc*	*b*	*a*	*d*	*ef*	*a*	*a*	*a*	*ab*	*b*	*c*
M d1	*b*	*a*	*a*	*b*	*ab*	*bc*	*a*	*abc*	*bcd*	*ab*	*bc*	*bc*	*d*	*b*	*a*	*ab*
M d2	*ab*	*a*	*ab*	*b*	*b*	*bc*	*a*	*bc*	*cd*	*bc*	*c*	*c*	*d*	*ab*	*a*	*b*
	SO_4^{2-}	**Ca**	**K**	**Mg**	**Na**	**P**	**S**	**Fe**	**Mn**	**Cd**	**Pb**	**Cu**	**Cr**	**NI**	**Zn**	
C	*ab*	*c*	*ab*	*bc*	*b*	*a*	*ab*	*a*	*ab*	*a*	*a*	*bc*	*a*	*a*	*a*	
DC d1	*ab*	*ab*	*ab*	*b*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	
DC d2	*b*	*abc*	*ab*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*ab*	*a*	*a*	*a*	
DS d1	*ab*	*abc*	*ab*	*bc*	*a*	*b*	*ab*	*a*	*a*	*a*	*a*	*bc*	*a*	*a*	*b*	
DS d2	*c*	*c*	*c*	*c*	*b*	*c*	*b*	*a*	*ab*	*a*	*a*	*bc*	*a*	*a*	*a*	
M d1	*ab*	*bc*	*b*	*bc*	*a*	*b*	*ab*	*a*	*b*	*a*	*a*	*c*	*a*	*a*	*a*	
M d2	*a*	*a*	*a*	*b*	*a*	*b*	*a*	*a*	*ab*	*a*	*a*	*bc*	*a*	*a*	*a*	

ALM-A t3																
	pH	**CE**	**densidad**	**CRH**	**Ctotal**	**Corg**	**TOC**	**Csh**	**Ntotal**	**Nhidro**	**β-G**	**fosfatasa**	**glicina**	**ureasa**	**Cl^-**	**NO_3^-**
C	*c*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*b*	*ab*	*a*	*a*	*ab*	*a*	*ab*	*bc*	*ab*	*a*
DC d1	*ab*	*b*	*a*	*a*	*ab*	*a*	*a*	*a*	*ab*	*ab*	*a*	*b*	*a*	*ab*	*b*	*c*
DC d2	*a*	*b*	*a*	*a*	*ab*	*a*	*a*	*ab*	*a*	*cd*	*a*	*a*	*ab*	*aa*	*a*	*ab*
DS d1	*ab*	*b*	*a*	*a*	*ab*	*a*	*a*	*ab*	*ab*	*bc*	*ab*	*bc*	*ab*	*c*	*a*	*c*
DS d2	*ab*	*a*	*a*	*a*	*b*	*a*	*a*	*b*	*ab*	*a*	*ab*	*a*	*ab*	*abc*	*a*	*ab*
M d1	*bc*	*a*	*a*	*a*	*ab*	*a*	*a*	*ab*	*ab*	*a*	*ab*	*c*	*ab*	*c*	*a*	*ab*
M d2	*ab*	*a*	*a*	*a*	*c*	*a*	*a*	*b*	*b*	*a*	*b*	*d*	*b*	*bc*	*a*	*b*
	SO_4^{2-}	**Ca**	**K**	**Mg**	**Na**	**P**	**S**	**Fe**	**Mn**	**Cd**	**Pb**	**Cu**	**Cr**	**Ni**	**Zn**	
C	*a*	*a*	*a*	*a*	*ab*	*ab*	*a*	*ab*	*a*	*a*	*ab*	*b*	*a*	*ab*	*abc*	
DC d1	*bc*	*de*	*a*	*b*	*ab*	*a*	*b*	*ab*	*a*	*a*	*c*	*ab*	*a*	*ab*	*ab*	
DC d2	*c*	*e*	*a*	*b*	*b*	*a*	*b*	*b*	*a*	*a*	*bc*	*a*	*a*	*b*	*ab*	
DS d1	*a*	*cd*	*a*	*b*	*a*	*ab*	*a*	*ab*	*a*	*a*	*ab*	*b*	*a*	*ab*	*abc*	
DS d2	*a*	*e*	*a*	*c*	*ab*	*ab*	*b*	*b*	*a*	*a*	*a*	*a*	*a*	*ab*	*bc*	
M d1	*b*	*bc*	*a*	*b*	*ab*	*b*	*a*	*a*	*a*	*a*	*c*	*b*	*a*	*ab*	*bc*	
M d2	*a*	*ab*	*a*	*b*	*a*	*ab*	*a*	*ab*	*a*	*a*	*ab*	*b*	*a*	*a*	*c*	

Tabla A.36. Clasificación textural de los distintos suelos a t0 y t3.

	Clase textural
CAR (t0)	textura media , franco arcillo-arenosa
CAR (t3)	textura media , franco arcillo-arenosa
ALMJ (t0)	textura media, franco arcillosa
ALMJ (t3)	textura media, franco arcillosa
ALMA (t0)	textura media franco arcillosa
ALMA (t3)	textura media, franco arcillosa

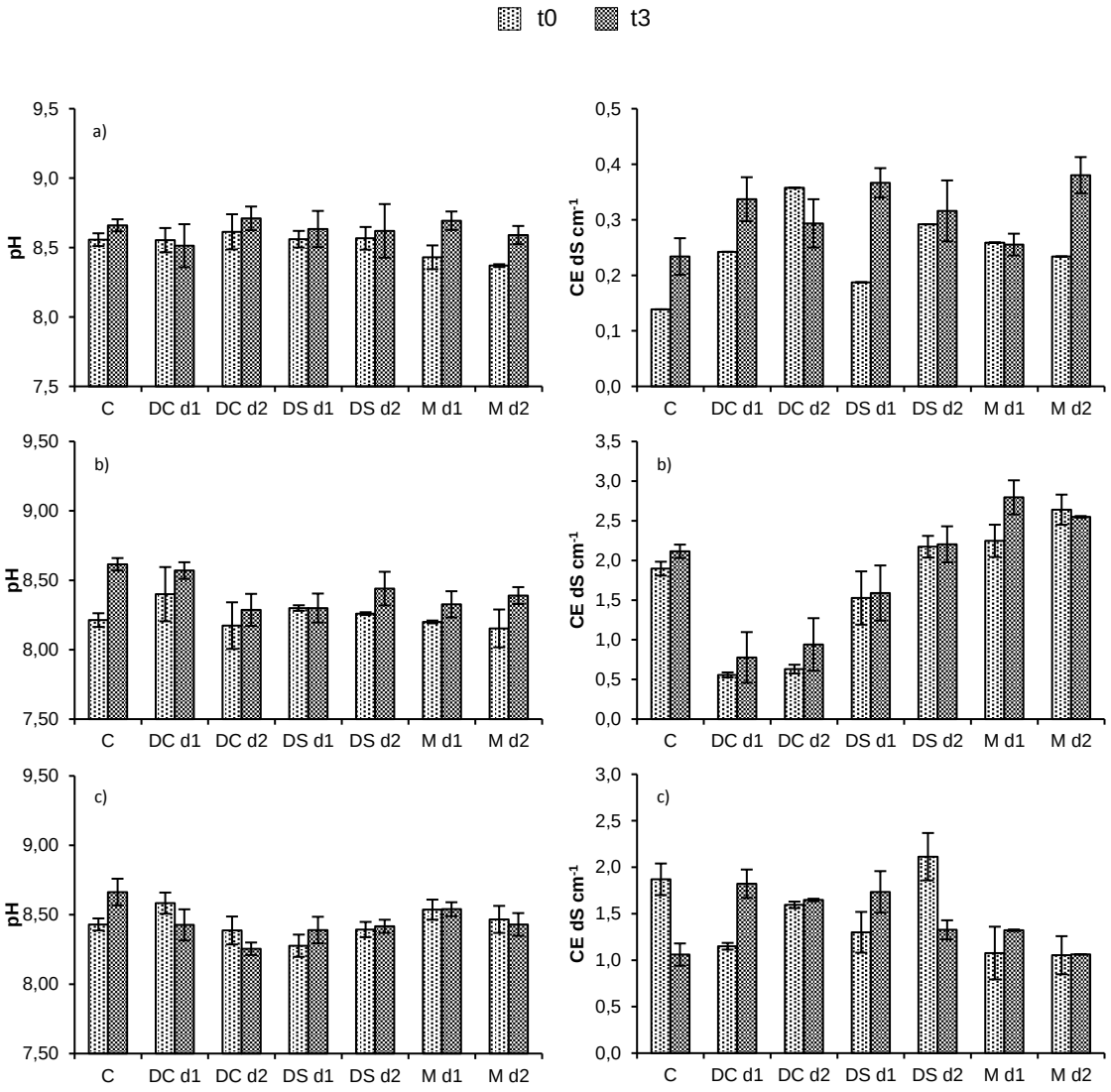


Figura A.1. Valores medios de pH y CE (dS cm^{-1}) en los suelos *CARD* (a), *ALM-J* (b) y *ALM-A* (c) a t0 y t3. Las letras de significación correspondientes a los tratamientos se encuentran en las tablas A.33, A.34 y A.35.

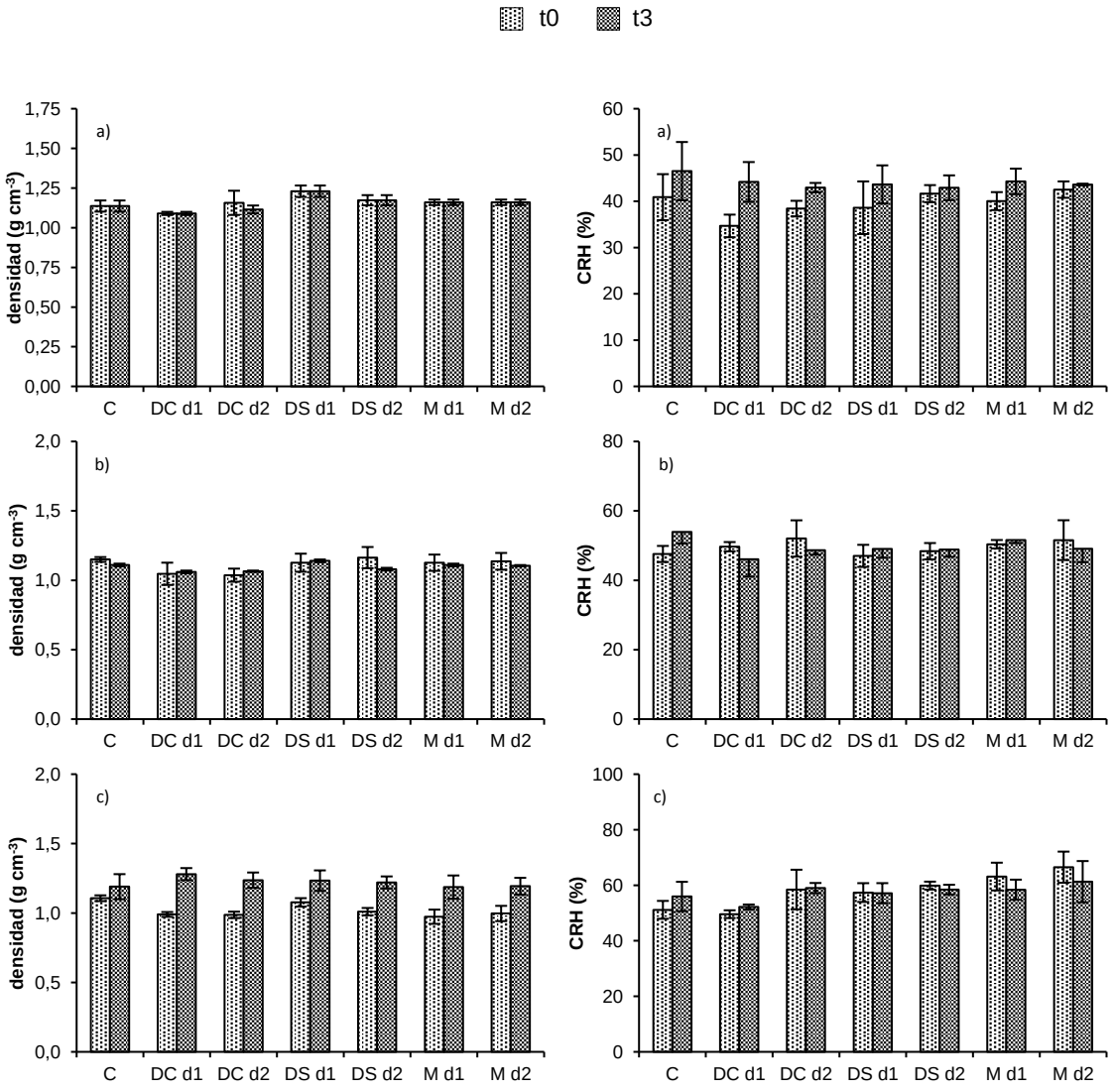


Figura A.2. Valores medios de densidad (g cm^{-3}) y CRH (%) en los suelos *CARD* (a), *ALM-J* (b) y *ALM-A* (c) a t0 y t3. Las letras de significación correspondientes a los tratamientos se encuentran en las tablas A.33, A.34 y A.35.

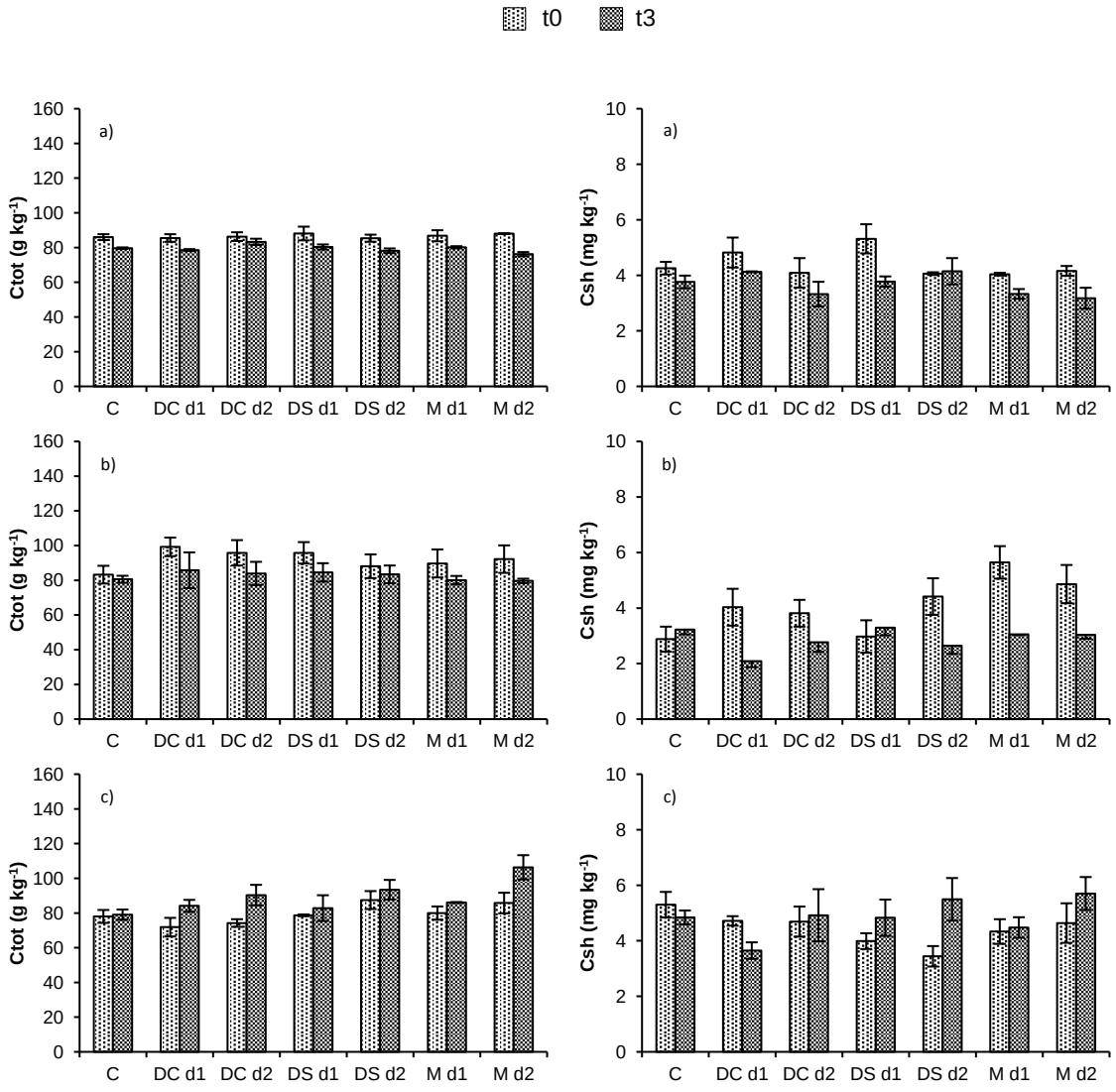


Figura A.3. Valores medios de contenido en Ctotal (g kg^{-1}) y Csh (mg kg^{-1}) en los suelos *CARD* (a), *ALM-J* (b) y *ALM-A* (c) a t0 y t3. Las letras de significación correspondientes a los tratamientos se encuentran en las tablas A.33, A.34 y A.35.

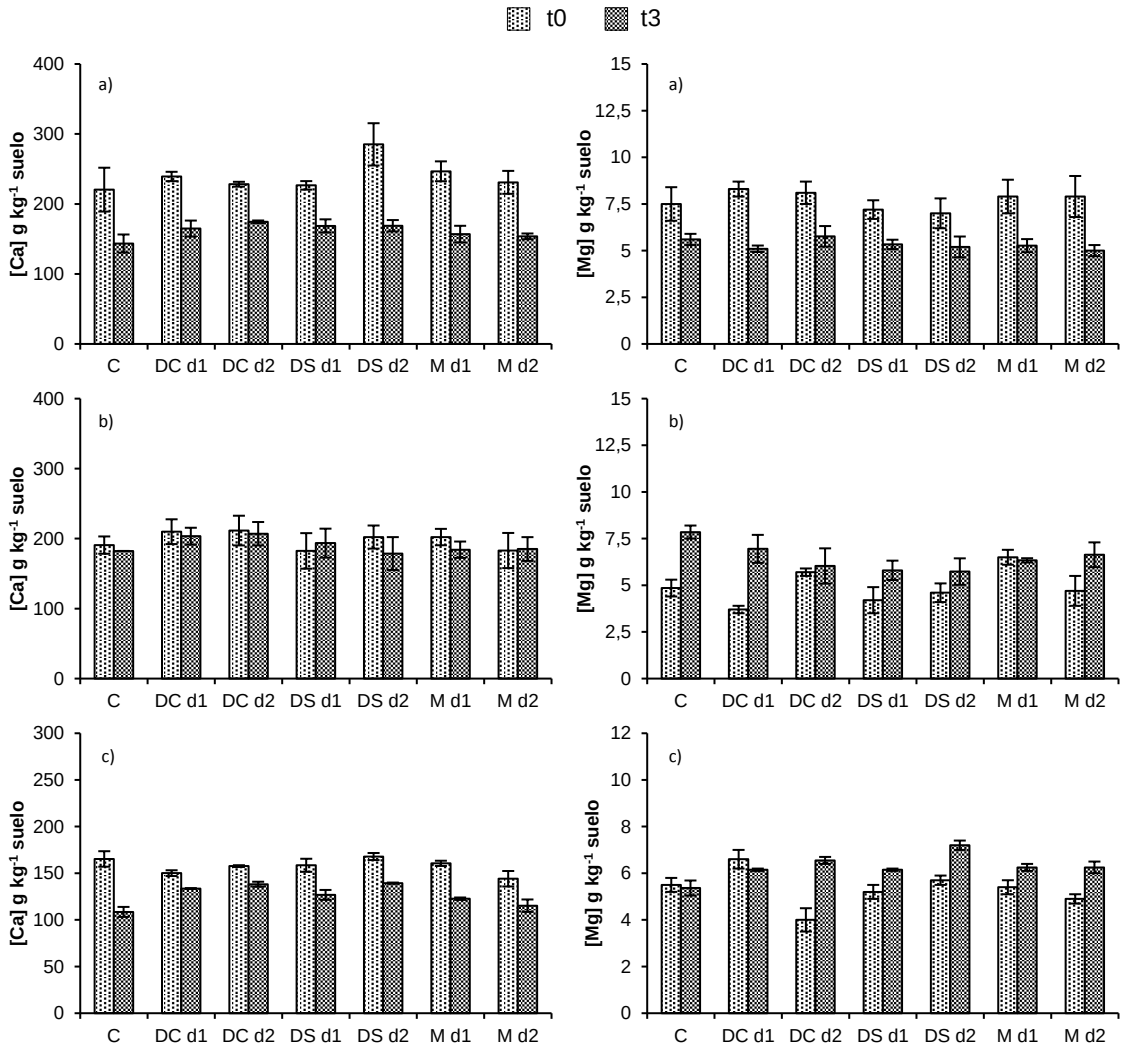


Figura A.4. Valores medios de contenido en Ca y Mg (g kg^{-1}) en los suelos *CARD* (a), *ALM-J* (b) y *ALM-A* (c) a t0 y t3. Las letras de significación correspondientes a los tratamientos se encuentran en las tablas A.33, A.34 y A.35.

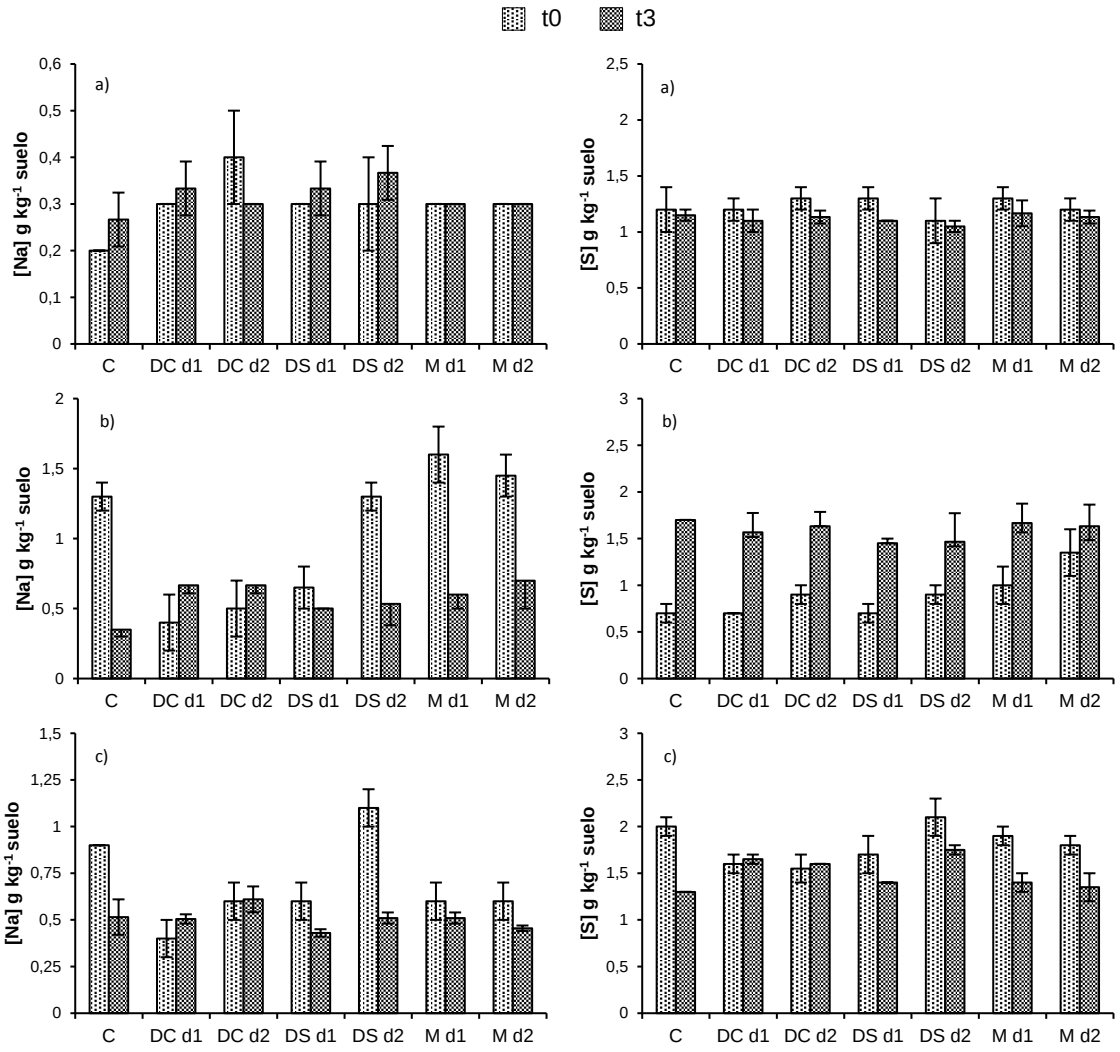


Figura A.5. Valores medios de contenido en Na y S (g kg^{-1}) en los suelos *CARD* (a), *ALM-J* (b) y *ALM-A* (c) a t0 y t3. Las letras de significación correspondientes a los tratamientos se encuentran en las tablas A.33, A.34 y A.35.

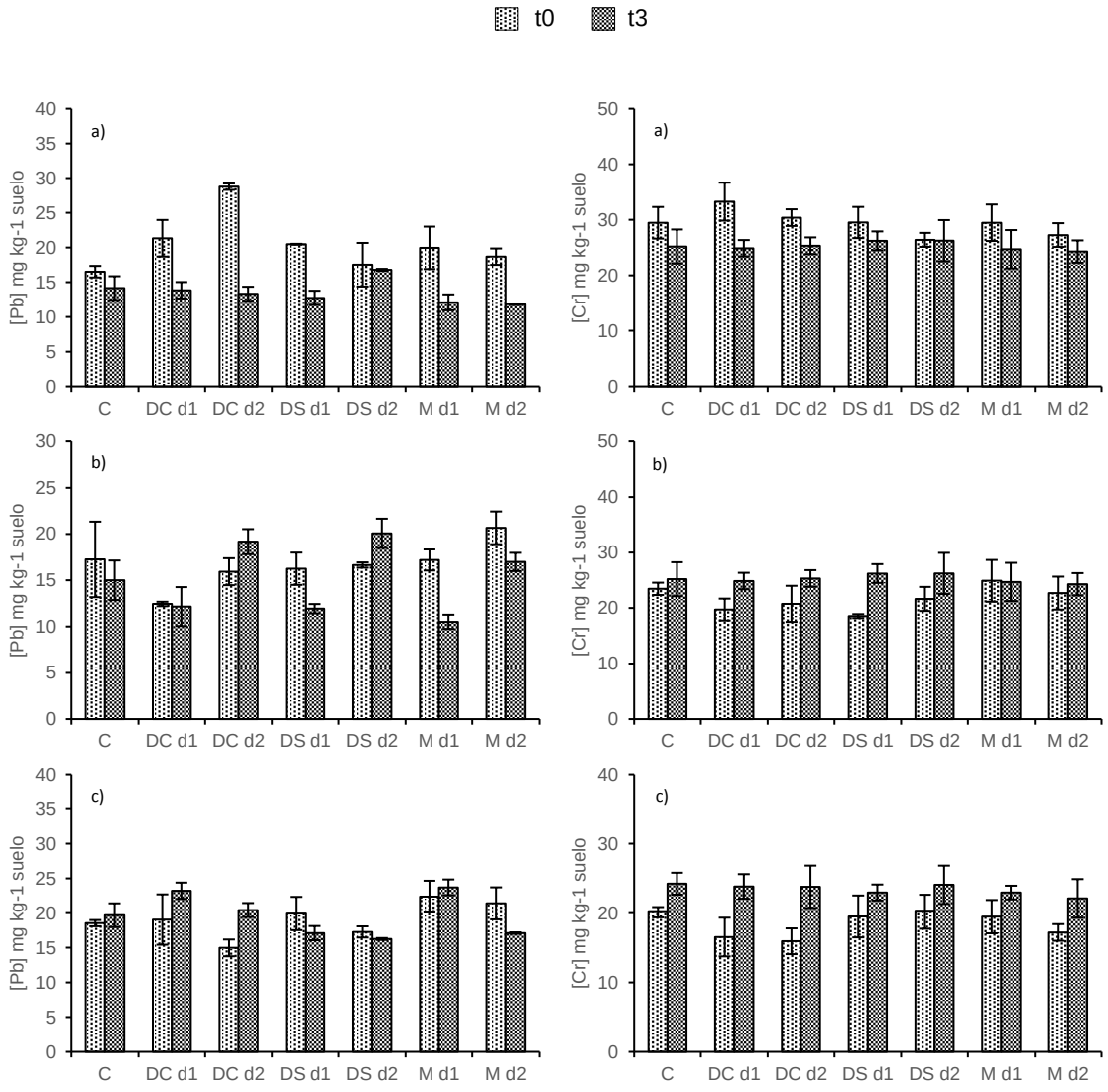


Figura A.6. Valores medios de contenido en Pb, y Cr (mg kg^{-1}) en los suelos *CARD* (a), *ALM-J* (b) y *ALM-A* (c) a t0 y t3. Las letras de significación correspondientes a los tratamientos se encuentran en las tablas A.33, A.34 y A.35.

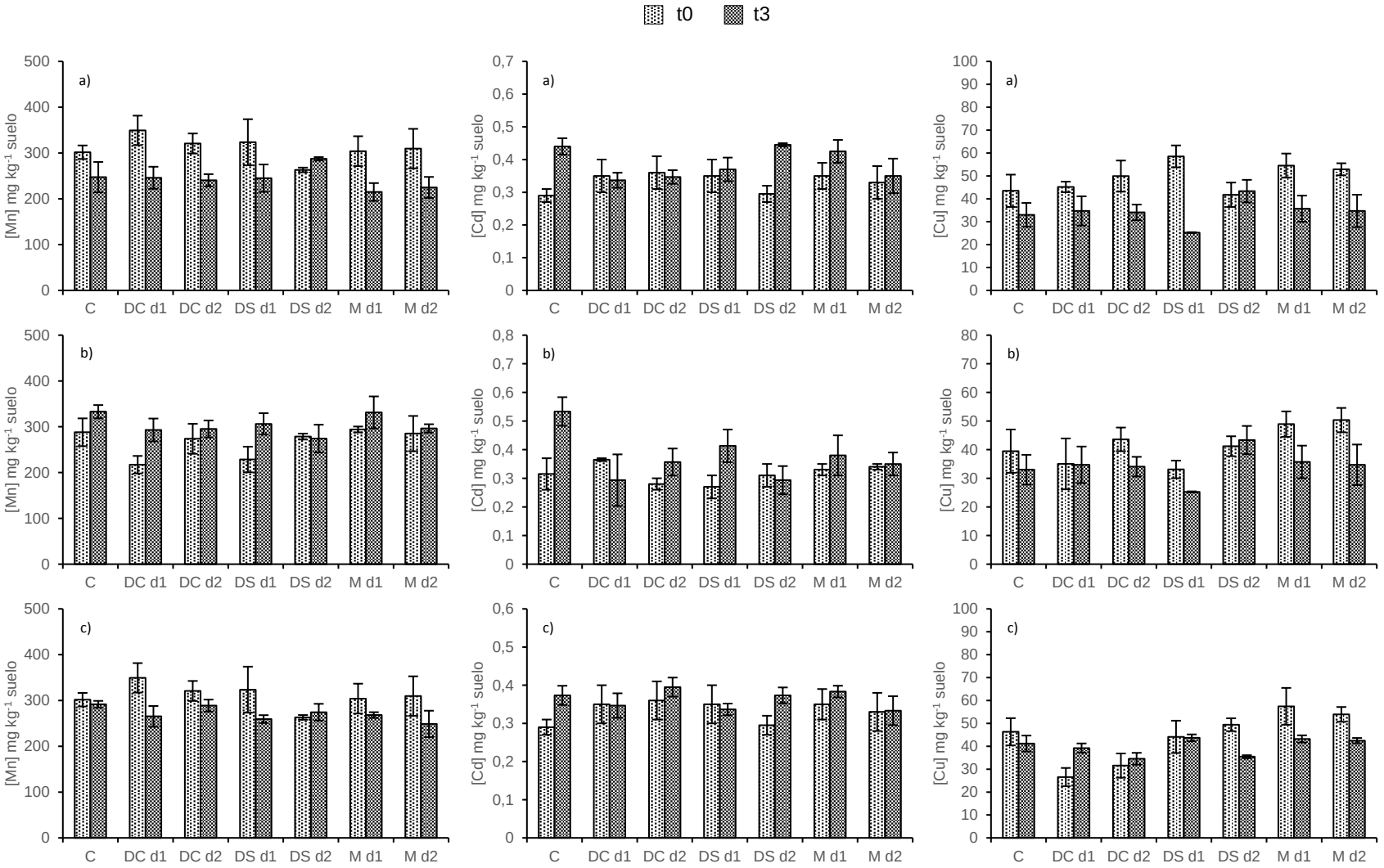


Figura A.7. Valores medios de contenido en Mn, Cd y Cu (mg kg^{-1}) en los suelos *CARD* (a), *ALM-J* (b) y *ALM-A* (c) a t0 y t3. Las letras de significación correspondientes a los tratamientos se encuentran en las tablas A.33, A.34 y A.35.

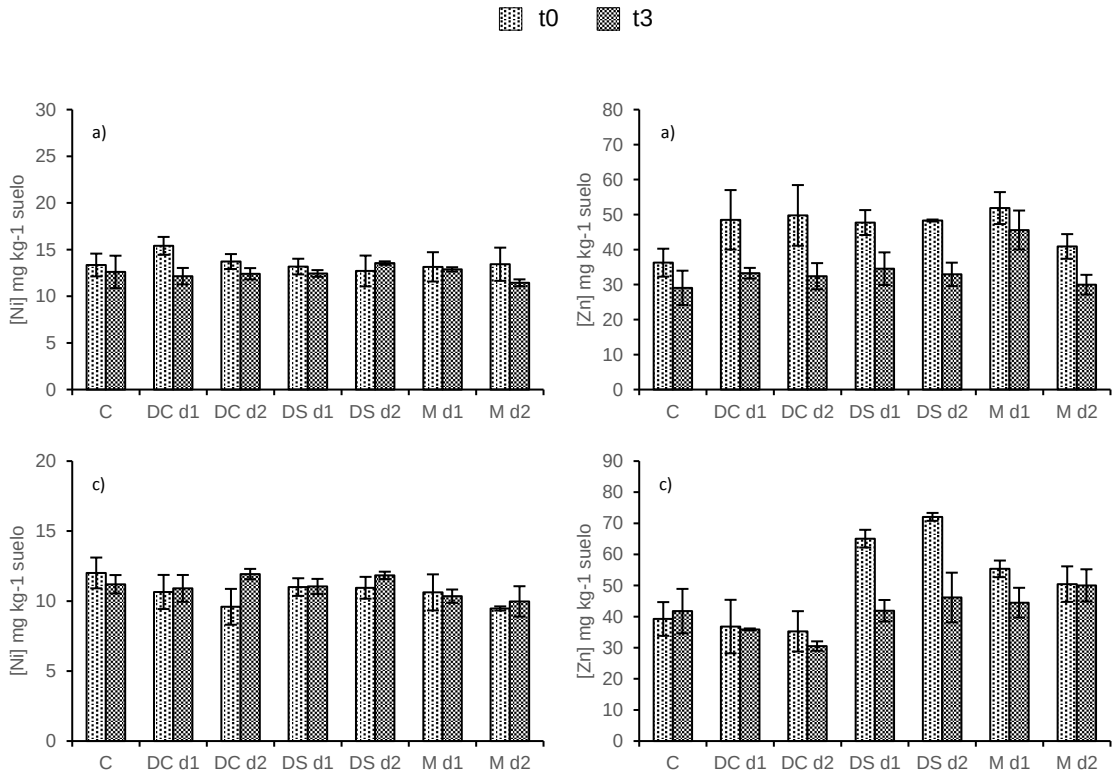


Figura A.8. Valores medios de contenido en Ni, y Zn (mg kg^{-1}) en los suelos *CARD* (a) y *ALM-A* (c) a t0 y t3 Las letras de significación correspondientes a los tratamientos se encuentran en las tablas A.33, A.34 y A.35.

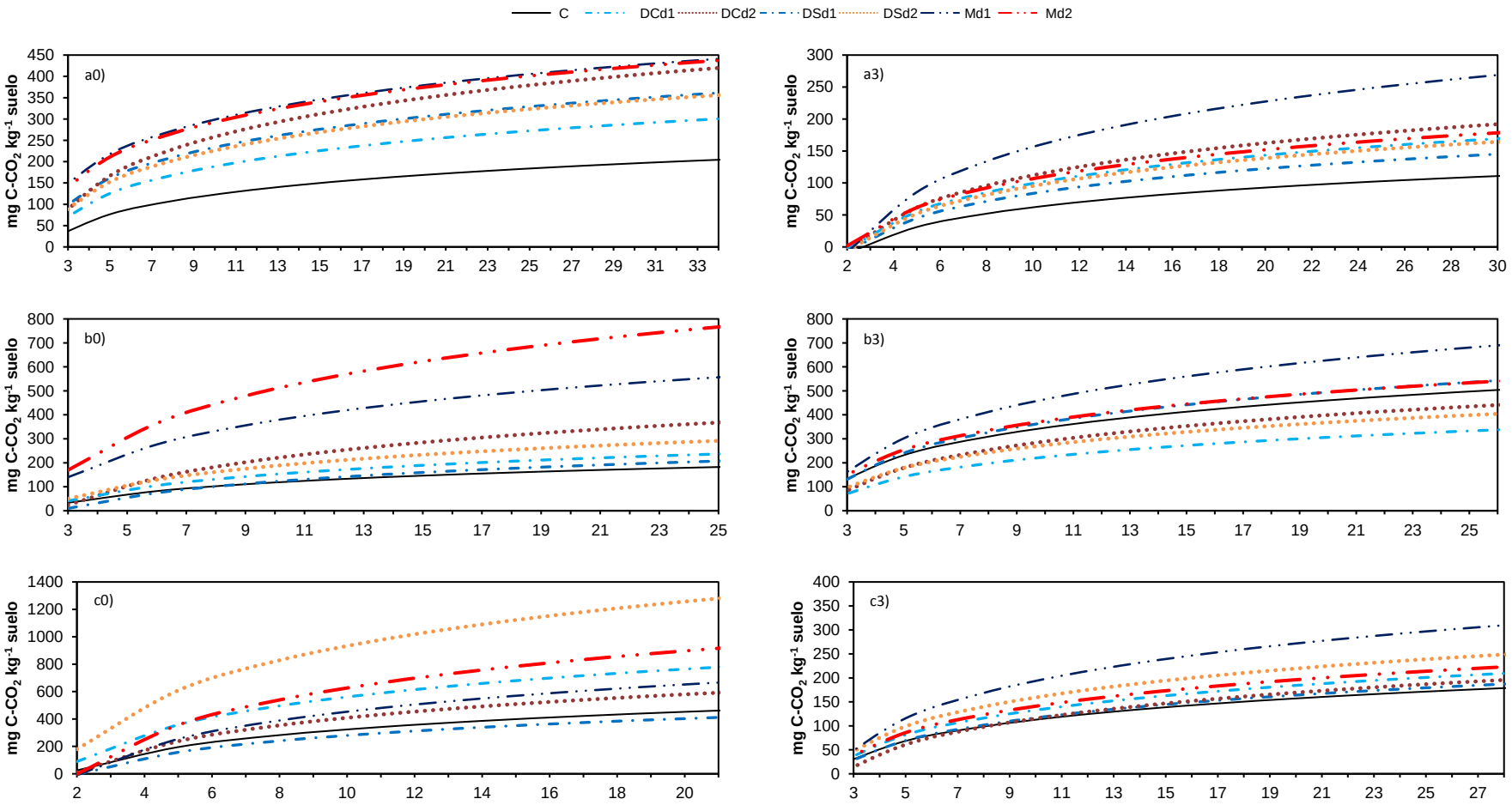


Figura A.9. Representación gráfica de las ecuaciones de regresión de tipo logarítmico para la respiración basal del suelo (BSR) para los tratamientos aplicados en los suelos CARD (a), ALM-J (b) y ALM-A (c) a tiempo 0 y a tiempo 3, expresados en días (X) y mg CO2 kg-1 suelo (Y).