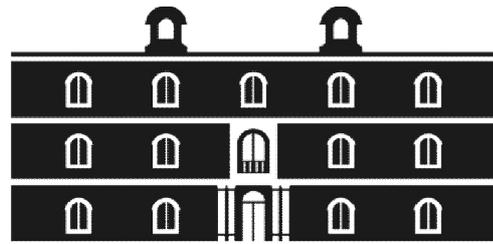




Universidad  
Politécnica  
de Cartagena



**industriales**  
etsii UPCT

# EFFECTOS DE LOS COMPOST SOBRE LAS PROPIEDADES DEL SUELO: EVALUACIÓN COMPARATIVA DE COMPOST CON SEPARACIÓN EN ORIGEN Y SIN SEPARACIÓN EN ORIGEN

**Máster:** Ingeniería ambiental, química  
y procesos biotecnológicos

**Alumno/a:** Juan José Gracia Fernández

**Director/a/s:** Juan Ignacio Moreno Sánchez  
Juan Albadalejo Montoro

Cartagena, 3 de diciembre de 2012



## **AGRADECIMIENTOS**

Me gustaría aprovechar estas líneas, para mostrar mi más sentido agradecimiento a Juan Albadalejo Montoro, investigador del CEBAS-CSIC, así como a Juan Ignacio Moreno Sánchez, profesor de la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT), por hacer realidad este proyecto, gracias a sus consejos, y especialmente, a su paciencia.

Agradecer a mis amigos, tanto a los de toda la vida, como a los de la Universidad, estar conmigo tanto en las buenas como en las malas, espero que siga siendo así durante mucho tiempo.

Y por último, a mi pareja y a mi familia, por comprenderme, apoyarme y quererme incondicionalmente, a todos ellos, GRACIAS.



# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
1.1 EL PROBLEMA DE LA DEGRADACIÓN DEL SUELO .....	5
1.1.1 Calidad del Suelo.....	6
1.1.2 Procesos de Degradación del Suelo.....	10
1.2 ENMIENDAS ORGÁNICAS PARA LA REGENERACIÓN DEL SUELO..	12
1.2.1 Regeneración del suelo frente a los problemas de degradación.....	12
1.3 RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) .....	13
1.3.1 Gestión de los RSU.....	15
1.3.2 Problemas derivados de la mala gestión de RSU.....	18
1.3.3 Beneficios de la aplicación de enmiendas orgánicas procedentes de RSU .....	20
1.3.4 Importancia de la calidad del residuo y la recogida selectiva.....	22
1.4 CAMBIO GLOBAL.....	28
<b>2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS.....</b>	<b>31</b>
<b>3. EXPERIMENTACION Y METODOLOGÍA .....</b>	<b>35</b>
3.1 LOCALIZACIÓN E INSTALACIONES.....	37
3.2 EXPERIMENTACIÓN.....	38
3.3 MÉTODOS ANALÍTICOS.....	40
3.3.1 Nutrientes y Carbono orgánico .....	40
3.3.2 Parámetros físicos y físico-químicos.....	43
3.3.3 Metales pesados.....	46
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>47</b>
4.1 CAMBIOS EN CARBONO ORGÁNICO Y CONTENIDO EN NUTRIENTES .....	49
4.1.1 CO y Macronutrientes.....	49
4.1.2 Micronutrientes esenciales.....	52
4.1.3 Oligoelementos.....	54
4.2 CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y FÍSICO-QUÍMICAS .....	57
4.3 CAMBIOS EN LAS CONCENTRACIONES DE METALES PESADOS .....	60

<b>5. CONCLUSIONES</b> .....	<b>63</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>69</b>
<b>7. ANEXOS</b> .....	<b>81</b>
7.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS .....	83
7.2 NUTRIENTES Y C ORGÁNICO .....	92
7.2.1 C orgánico y nitrógeno .....	92
7.2.2 Cationes asimilables.....	93
7.2.3 P asimilable.....	96
7.3 PARÁMETROS FÍSICOS Y FÍSICO-QUÍMICOS.....	98
7.3.1 ph y conductividad eléctrica.....	98
7.3.2 estabilidad de agregados.....	99
7.3.3 pf.....	100
7.4 METALES PESADOS.....	102

## 1. INTRODUCCIÓN

---



## 1.1 EL PROBLEMA DE LA DEGRADACIÓN DEL SUELO

El suelo, es un sistema complejo, que tiene su origen en la parte más superficial de la corteza terrestre, como consecuencia de la interacción entre litosfera, atmósfera, hidrosfera y biosfera. Este sistema es biológicamente activo, y está formado por diversas capas, conocidas como horizontes, resultado de la acción de meteorización de los distintos procesos, tanto físicos, químicos como biológicos sobre la roca madre.

La formación de un suelo maduro, requiere de largos periodos de tiempo, que exceden en mucho al periodo de una generación, por lo que podemos considerar este recurso, como no renovable debido a la escala temporal que necesita para alcanzar un estado clímax.

En el caso de los ambientes semiáridos, las condiciones ambientales para su desarrollo, no son las idóneas, debido a la escasez de agua, altas temperaturas, falta de aportes de materia orgánica, etc. Esto repercute en el tiempo que necesitan los suelos de esas zonas para alcanzar un estado de cierta madurez. Por ello, adquiere especial interés su mantenimiento y conservación, a través de buenas prácticas de manejo, con la finalidad de evitar la pérdida de suelos fértiles.

La degradación del suelo, es el proceso debido al cual, las propiedades edáficas, sufren alteraciones importantes como consecuencia de actividades antrópicas inadecuadas, o debido a procesos naturales. Estos procesos, ponen en riesgo los suelos, y en especial, aquellos más vulnerables, como son los presentes en ambientes áridos y semiáridos, teniendo lugar, como resultado de la degradación del recurso, una reducción de la productividad del mismo, pudiendo convertirlos en inservibles para su aprovechamiento, produciéndose un abandono de tierras o la despoblación de territorios.

FAO y PNUMA definen la degradación del suelo, como “un proceso que rebaja la capacidad actual y potencial del suelo para producir, cuantitativa y/o

cualitativamente, bienes o servicios”, y es “resultado de diversos factores, tales como variaciones climáticas y actividades humanas” (FAO, 1976).

Ciertas propiedades del suelo, son muy importantes, a la hora de evitar o mitigar la degradación del mismo. Estas características del suelo, se conocen como **sensibilidad y resiliencia**, y son inherentes a cada tipo de suelo.

Por un lado, tenemos la sensibilidad a la degradación, entendida como el grado hasta el cual, un suelo experimentará un cambio, debido a diversos factores; naturales, antrópicos o una combinación de estos. Mientras que la resiliencia, es la capacidad de un suelo para recuperar su estado previo, ante una perturbación. Blum (Blum y Santelices, 1994) lo definió como “*la habilidad de un sistema para retornar después de la alteración a un nuevo equilibrio dinámico*”.

Estas características, suelen presentar una mala combinación en los suelos de ambientes semiáridos, como consecuencia de las condiciones ambientales dominantes sobre la zona. La sensibilidad ante una perturbación, es frecuentemente elevada, produciéndose mucha erosión, siendo la resiliencia frente a dicha perturbación, muy baja, al tener un impacto grande sobre el rendimiento. Esto comporta, que una gran cantidad de fenómenos, puedan influir en la disminución de la calidad del suelo, entendiéndose la calidad del suelo, como “*la utilidad que tiene este para un propósito específico en una escala amplia de tiempo*” (Carter et al., 1997).

Por tanto, una pérdida de calidad, comportará problemas en los sistemas agrícolas y naturales, disminuyendo su productividad, produciendo alto impacto sobre las cosechas, contaminando el suelo, etc.

### **1.1.1 Calidad del Suelo**

La calidad del suelo, hace referencia a un conjunto de parámetros, inherentes al mismo, y que le permite sostener o aumentar su rendimiento.

Los parámetros o factores más destacados que se tienen en cuenta, a la hora de determinar dicha calidad edáfica, suelen ser:

- Contenido en materia orgánica
- Relación carbono-nitrógeno
- pH
- Conductividad eléctrica (indicador de salinidad)
- Contenido en metales pesados

✓ *Contenido en materia orgánica*

Interviene directamente en la estructura de los horizontes del suelo, ayudando a formar parte de los complejos arcillo-húmicos del mismo, mejora la capacidad de infiltración del agua en suelos arcillosos, aumenta la capacidad de retención en los suelos arenosos y determina la disponibilidad de nutrientes, entre otras funciones.

Los suelo semiáridos, suelen tener un contenido en materia orgánica bajo, debido a la falta de aportes naturales de restos biológicos. Este hecho, les afecta de forma negativa, haciendo del suelo un sistema vulnerable.

Los efectos negativos de un contenido deficitario en materia orgánica, los podemos resumir en los siguientes:

- Mala estructura del suelo
- Mala infiltración de agua, y por tanto, baja humedad
- Fragilidad ante erosión hídrica, favoreciendo la escorrentía, y eliminación de suelo fértil

- Fragilidad frente a erosión eólica
- Disminución de la disponibilidad de nutrientes
- Suelo disgregado

✓ *Relación Carbono- Nitrógeno*

La relación carbono-nitrógeno, determina el grado de mineralización de la materia orgánica que existe en el suelo, así como el tipo de humus que se encuentra en él.

Los valores de esta relación, pueden ser muy variables, dependiendo del origen de los materiales, o al carbono empleado en la relación, ya sea carbono total o carbono orgánico, aunque es este último, el más interesante al indicar la disponibilidad de nutrientes útiles para la vegetación y microfauna del suelo.

✓ pH

El pH del suelo aporta una información de suma importancia. Las plantas tan solo pueden absorber las sustancias minerales disueltas en agua, y este parámetro varía el grado de solubilidad de dichas sustancias minerales en el medio acuoso.

Los valores excesivamente elevados o reducidos de pH, puede convertirse en un factor limitante para la absorción de sustancias minerales.

✓ *Conductividad eléctrica*

Este indicador, viene reflejado por la concentración de sales en el suelo, y puede causar problemas a los desarrollos de cultivos, ya que afectan a las propiedades físico – químicas del suelo.

La solución frente al problema de la salinidad del suelo, consiste en el lavado de sales con abundante agua, para disminuir la concentración en la zona radicular, y que se acumulen en profundidad, evitando así, la afección sobre la flora. La utilización de agua de riego de calidad, es básica para evitar la aparición de este problema. En zonas áridas y semiáridas, donde el régimen de precipitación es muy reducido, puede ser un problema de consideración grave.

✓ *Contenido en metales pesados*

Los metales pesados, en altas concentraciones, llegan al suelo mediante adición o accidente. Son normales y esenciales para la vida a niveles reducidos, pero entrañan riesgo para los organismos a niveles elevados, donde provocan problemas de toxicidad. Su principal inconveniente, radica, en su bioacumulación (se acumulan en los tejidos de los organismos) y biomagnificación (no pueden ser eliminados por el organismo, y pasan al siguiente escalón de la cadena trófica) pudiendo afectar de manera muy negativa a los seres vivos a lo largo de la pirámide alimenticia, y muy especialmente, a los niveles finales de la misma.

### 1.1.2 Procesos de Degradación del Suelo

Los procesos de degradación del suelo, que conllevan pérdida de calidad edáfica, pueden ser de tipo físico, químico o biológico. La mayoría de ellos, tienen origen antrópico, aunque existen algunos de origen natural.

Algunos tipos de erosión, afectan a todas las propiedades del suelo, ocasionando degradación de todo tipo: física, química y biológica.

- Los tipos de erosión que afectan a todas las propiedades del suelo son:

a) Erosión eólica: provocada por la acción del viento. Consiste en la extracción y transporte de material ligero y disgregado procedente del suelo. Es importante en zonas áridas y semiáridas, por la sequedad del terreno.

b) Erosión hídrica: es la producida por el agua, ya sea, por el efecto directo de la lluvia, o por las aguas de escorrentía. Sus principales efectos, son la disgregación del suelo, el arrastre y transporte del material más fino. Puede convertirse en un problema importante en zonas áridas y semiáridas.

- En lo referente a procesos de degradación físicos, encontramos entre ellos:

a) Compactación: derivada de las actividades antrópicas de ganadería (pastoreo) y empleo de maquinaria pesada. Disminuye la porosidad del suelo, afectando a la aireación y a la infiltración del agua.

- En lo referente a procesos de degradación química, distinguimos;

a) Salinización. Este fenómeno, puede ser de tipo natural o antrópico. Consiste en la acumulación de sales solubles en el suelo. La elevada evapotranspiración que sufren los suelos en zonas áridas y semiáridas, hace que asciendan por capilaridad las sales, acumulándose en la zona de raíces, no pudiéndose lavar, debido al deficitario régimen de lluvias. Constituyen un problema importante.

b) Desbasificación: consiste en el lavado de nutrientes en profundidad, derivando en una pérdida de fertilidad del suelo. Necesita de una pluviosidad elevada. No es un problema en ambientes áridos/semiáridos debido a la escasez de precipitaciones.

c) Contaminación: consiste en la acumulación en el suelo de cantidades elevadas de sustancias con efectos tóxicos sobre los organismos. Un caso de contaminación de suelos, puede ser la presencia de metales pesados a concentraciones inadecuadas.

- En cuanto a degradación biológica, tenemos:

a) Disminución de materia orgánica: fundamental para la fertilidad del suelo. En regiones áridas y semiáridas, constituye un problema, debido a que las altas temperaturas, aceleran las reacciones de oxidación de dicha materia orgánica, mineralizándola, pasando esta, a formas no disponibles para los organismos. En presencia de oxígeno, se favorece esta reacción. La pérdida de los horizontes superficiales por erosión, es otra causa importante de disminución de materia orgánica.

b) Disminución de la fauna: la microbiología del suelo, a través de su metabolismo, libera nutrientes poniéndolos a disposición de las plantas, favoreciendo la fertilidad del suelo. Los procesos de degradación, pueden afectar a estos organismos, reduciendo su número y actividad, y por tanto, afectando a la fertilidad.

c) Destrucción de la cubierta vegetal: la destrucción del manto vegetal, supone exponer la superficie del suelo a la posibilidad de sufrir erosión eólica y/o hídrica. Se reduce la aireación del suelo por el efecto mecánico de las raíces. Se disminuye el aporte de materia orgánica procedente de los restos vegetales. Se reduce la infiltración de agua.

## **1.2 ENMIENDAS ORGÁNICAS PARA LA REGENERACIÓN DEL SUELO**

### **1.2.1 Regeneración del suelo frente a los problemas de degradación**

Los tipos de suelos presentes en ambientes áridos y semiáridos, tienen entre sus características fundamentales, un nivel de materia orgánica muy bajo, debido a la mineralización de la materia orgánica, que se acelera en condiciones aerobias y de elevada temperatura, y a la falta de aportes procedentes de organismos vivos presentes en estos suelos. Así como, una alta sensibilidad, y una baja resiliencia frente a las perturbaciones.

Esto origina problemas en los suelos, al disminuir la productividad de los mismos, llegando incluso, al extremo de hacerlos inservibles para la agricultura, el mantenimiento de masas forestales o cualquier otro uso ambiental que se le dé.

La pérdida de calidad del suelo, pérdida de su fertilidad, disminución de resistencia a la degradación, etc. puede ser frenada a través de la intervención antrópica, mediante el uso de buenas prácticas agrícolas, aplicación de enmiendas orgánicas, etc.

Las enmiendas orgánicas, consisten en productos aportados al suelo, con la finalidad de mejorar sus propiedades o corregir algún déficit en sus parámetros, debido al poder fertilizante que poseen, ya que contienen un alto grado de materia orgánica y nutrientes en su composición.

Existen muchos y diversos tipos de enmiendas orgánicas, atendiendo a su procedencia, contenido en nutrientes, etc. Pero es, en los últimos años, donde la producción de enmiendas orgánicas derivadas de residuos sólidos urbanos (RSU), ha tomado especial interés, ya que, además de aportar nutrientes y materia orgánica al suelo, puede ayudar a reducir los costes de la gestión de residuos, al elaborar un subproducto, con un valor económico, a partir de materiales desechados.

La aplicación de enmiendas orgánicas sobre los suelos degradados, puede ser uno de los caminos a seguir, para favorecer la regeneración y mantenimiento de estos suelos, debido a las mejoras que se registran.

Con la aplicación de las enmiendas orgánicas, más la adopción de un código de buenas prácticas agrícolas, podemos mitigar la degradación y/o erosión de suelos amenazados por distintas perturbaciones, recuperando además, algunos de los suelos, ya degradados desde el punto de vista agrícola o ambiental, incrementando y/o recuperando la productividad de los mismos.

En la bibliografía existente, podemos localizar muchos y diversos estudios, que indican las mejoras producidas en las propiedades edáficas tras la aplicación de enmiendas orgánicas, como pueden ser: la mejora de la infiltración, mejora de la estructura del suelo y la formación de agregados, incremento en los nutrientes y materia orgánica, entre otras mejoras (Stocking y Albadalejo, 1994) (Moldes, et al. 2007) (Shiralipour, et al. 1992), que analizaremos en mayor profundidad en la sección 1.3 RSU.

### **1.3 RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)**

Las actividades que se desarrollan dentro de los núcleos de población, son múltiples y variadas, teniendo como resultado final, la generación de unos deshechos o residuos, con unas cantidades y características determinadas, en función de su procedencia, cantidad de población y nivel de actividad. A estos residuos, se les denomina, residuos sólidos urbanos (RSU).

Los residuos sólidos urbanos (RSU) son materiales inertes, producidos en el marco de la actividad habitual de un municipio, y que aparentemente no tienen ninguna utilidad respecto a su función original. Son definidos en la Ley 10/98 de residuos española, quedando recogidos en el artículo 3 de dicha ley como

*“ b. Residuos urbanos o municipales: los generados en los domicilios particulares, comercios, oficinas y servicios, así como todos aquellos que no tengan la calificación de peligrosos y que por su naturaleza o composición puedan asimilarse a los producidos en los anteriores lugares o actividades.”*

Tendrán también la consideración de residuos urbanos los siguientes:

- Residuos procedentes de la limpieza de vías públicas, zonas verdes, áreas recreativas y playas.
- Animales domésticos muertos, así como muebles, enseres y vehículos abandonados.
- Residuos y escombros procedentes de obras menores de construcción y reparación domiciliaria.

Debe destacarse, que la ley 10/98 de Residuos, ha sido sustituida por la ley 22/2011 de residuos y suelos contaminados, sin incluir la categoría de RSU. Estos residuos (RSU), pasan mediante esta nueva ley, a dividirse en residuos domésticos, residuos comerciales y biorresiduos. Independientemente de lo anterior, se sigue trabajando con el término RSU.

La gestión tradicional de los mismos, ha suscitado alarma social en muchas ocasiones, por los efectos negativos que puede causar sobre la salud de la población y el entorno natural. A esto, debemos añadir los elevados costes, que conlleva la puesta en marcha de las instalaciones convencionales de tratamiento, basadas en la incineración o descomposición térmica de la basura, y la disposición final en vertederos.

Debido a los problemas que trae consigo la producción de residuos, en las últimas décadas, se han buscado fórmulas para compatibilizar estos residuos con el medio ambiente, mediante la modificación o transformación de sus características, con la finalidad de reducir su poder toxico o nocivo sobre los distintos sistemas naturales.

Uno de estos tratamientos para compatibilizar los residuos, y que más éxito está teniendo, es el compostaje, gracias al alto contenido de materia orgánica que presentan los RSU, que nos permite obtener un subproducto en forma de abono.

Este proceso, consiste en la descomposición aerobia, mediante microorganismos termófilos de la materia orgánica presente en los residuos, obteniendo como resultado final, un subproducto en forma de abono orgánico.

### **1.3.1 Gestión de los RSU**

En la actualidad, en España existen dos tipos de sistemas para la gestión de residuos, y a los que da pie la ley 10/98 de residuos, y que se mantienen con la aplicación de la ley 22/2011. Por un lado, está el modelo de depósito, devolución y retorno (SDDR), por el cual se paga un sobreprecio por un envase, que se recupera al devolver dicho envase, y por otro lado, los sistemas integrados de gestión de residuos (SIG), mucho más extendidos en España, por el cual, los consumidores pagan un sobreprecio por el producto, empleando ese sobreprecio para financiar el servicio público de gestión de residuos.

La gestión de residuos, incluye cualquier actividad u operación sobre ellos, orientada a compatibilizarla con el medio ambiente, y comprende desde la recogida y transporte de basuras mezcladas, como la recogida selectiva, tratamiento de recuperación, detoxificación, incineración y vertido controlado, siendo el compostaje una de las alternativas viables, en el proceso de adecuación de los residuos al medio ambiente.

Desde hace bastantes años, el aumento de la cantidad de residuos generados, y la contaminación derivada de los mismos, ha llamado la atención de las fuerzas políticas, las cuales empezaron a actuar en la década de los 70.

En 1976, los países de la OCDE adoptaron una serie jerárquica de opciones destinadas a la gestión de residuos, de las cuales en la actualidad aún perduran: la minimización, valorización y tratamiento seguro.

La valorización, como su propio nombre indica, intenta otorgar valor, a materiales o bienes, que previamente carecen de utilidad. En el tratamiento de residuos, existen distintos tipos de valorización, siendo la valorización energética, el principal mecanismo para el tratamiento de los mismos. Este proceso, consiste en la incineración o tratamiento de descomposición térmica (oxidación, pirólisis, etc.), por el cual se produce energía y se reduce el volumen de residuos.

El inconveniente de este tratamiento tradicional, surge, debido al elevado coste de las plantas de incineración. Una planta para dar servicio a 300.000 habitantes, puede costar 78 millones de € y por los efectos negativos en el medio ambiente que puede generar, como los gases de efecto invernadero, que se emiten a la atmósfera, sustancias nocivas como dioxinas por mala combustión, etc.

Además, los residuos resultantes del tratamiento térmico, suelen ser más tóxicos y contaminantes que los residuos previos, aunque sí es cierto, que su volumen se reduce en gran medida y precisan de poca superficie para su implantación, lo cual es un aspecto positivo de este procedimiento.

La alternativa a la valorización energética, sería la elaboración de un subproducto viable, para su utilización posterior, como el compost.

La transformación de residuos municipales en abonos, es una forma de reciclaje donde existe un mercado para el producto final, contribuyendo a reducir los costos de la gestión de residuos y a reducir el volumen de generación de estos.

Desde 1994, en los países bajos, tienen obligación de recoger los residuos orgánicos domésticos por separado para elaborar compost. En Austria

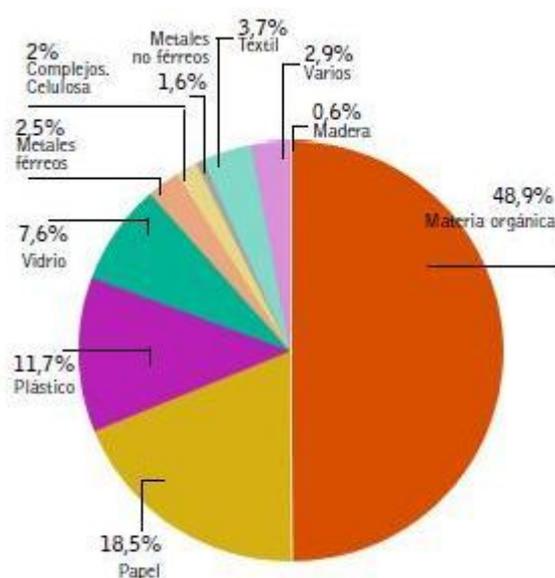
la recogida de residuos orgánicos por separado, es obligatoria desde 1995. En Alemania, donde la recogida selectiva y el tratamiento de residuos orgánicos es parte integral de la gestión de residuos municipales, la participación en programas de compostaje se ha elevado rápidamente desde 1993.

Por tanto, podemos observar como esta tendencia de valorizar los residuos mediante la elaboración de un subproducto, está en alza desde hace unas décadas.

Actualmente, en España, se produce una media de 517 Kg/persona-año de residuos municipales. La gran mayoría de los mismos, entre un 40 y un 60%, corresponden a materia orgánica. Lo cual, nos indica el potencial que tienen los deshechos para ser transformados en enmiendas orgánicas.

Los RSU se componen básicamente de materia orgánica, papel y cartón, plástico, vidrio, maderas, metales (ferrícos y no ferrícos), y otros. En España la composición tipo de residuos sólidos urbanos, a pesar de su gran variabilidad, se asemeja a la descrita en la figura 1:

Figura 1: composición tipo de RSU en España



En el año 2009, la situación del tratamiento final de RSU en España, viene recogida en el informe “*Recycling accounted for a quarter of total municipal waste treated in 2009*” y se corresponde con la Tabla 1:

Tabla 1. Tratamiento final de RSU en España

RESIDUOS MUNICIPALES TRATADOS	
Vertedero	52 %
Incinerado	9 %
Reciclaje	15%
Compostaje	24%

La situación española a nivel europeo, respecto a la valorización de los materiales contenidos en los RSU para su transformación en compost, es de las mejores, situándose por detrás de Austria (40 %), Italia (32 %) y al mismo nivel que Bélgica, con el 24% de residuos compostados.

### 1.3.2 Problemas derivados de la mala gestión de RSU

Una mala gestión de los RSU, puede provocar alteraciones graves en los sistemas naturales. Principalmente sobre la atmósfera, hidrosfera y litosfera. Estas alteraciones, podrían afectar a la salud de las personas así como a los distintos sistemas naturales, y sus componentes.

- Sobre la atmósfera: liberan gases de efecto invernadero, al quemar los residuos directamente, o al quemar el biogás (metano) producido en la fermentación de residuos. También pueden liberar otros contaminantes como, son el cloruro de vinilo, benceno, tricloroetileno y cloruro de metilo. Además, una combustión incompleta puede emitir dioxinas y furanos a la atmosfera, causando graves daños a la población (accidente de Seveso, 1976, Italia).

- Sobre el Suelo: El suelo, tiene un cierto poder autodepurador, debido a los microorganismos que viven en él. Pero esta característica, muchas veces es superada por la gran cantidad de residuos que recibe, o por la toxicidad de los mismos. Los contaminantes en el suelo, tienen una movilidad reducida, lo cual implica, que queden disponibles para los organismos, pudiendo incorporarlos a la cadena alimentaria. A su vez, los vertidos incontrolados, el mal o nulo aislamiento de los vertederos, etc. provocan, que los contaminantes puedan ser lixiviados, incorporándose al suelo o incluso a los acuíferos. También se pueden producir fenómenos de salinización por contaminantes procedentes de purines del ganado mal procesados.
- Sobre el agua: pueden llegar a aguas continentales o marinas, dependiendo de las actividades que produzcan la contaminación. Pueden llegar metales pesados, procedentes del lavado de los RSU o vertidos incontrolados.

Aportes de materia orgánica, procedentes del lavado y/o arrastre de los fertilizantes, causando problemas de eutrofización en las aguas o disminuyendo su calidad.

Muchas veces, el elevado poder autodepurador de las aguas, ha llevado a los productores de residuos a verter los mismos al río o mar sin ningún proceso de depuración previo, disminuyendo la población de organismos, contaminando los sistemas acuáticos, destruyendo fuentes de agua dulce por contaminación, etc.

- Olores y plagas: procedentes de la descomposición de los residuos.
- Impacto paisajístico

### **1.3.3 Beneficios de la aplicación de enmiendas orgánicas procedentes de RSU**

La posibilidad de transformar los RSU en enmendantes, se deriva de la composición de estos residuos, que se caracterizan por tener un alto contenido en materia orgánica, que puede oscilar entre el 30 y el 60%.

Gracias al alto contenido en materia orgánica, pueden aplicarse como enmienda en suelos, tras un proceso de maduración de los mismos, ayudando a solucionar dos problemas. Por un lado, se reducirían los costes de tratamiento de los RSU, reduciendo la cantidad de inversión necesaria en instalaciones de incineración y tratamiento final (vertederos). Y por otro lado, se mejorarían las condiciones de los suelos mediante la aplicación de dicha enmienda orgánica, lo cual es muy interesante en zonas afectadas por climas áridos o semiáridos, donde la presencia de suelos degradados o con déficit de materia orgánica y nutrientes es elevada.

Lo que se pretende conseguir con la aplicación de RSU, como enmienda orgánica es:

- Solucionar problemas de gestión de RSU mediante recuperación de suelos degradados.
- Mejorar las funciones productivas del suelo y cultivos.
- Secuestrar y estabilizar C en el suelo contribuyendo a mitigar el cambio climático.
- Eliminar la posible presencia de RSU sobre sistemas más frágiles (aire, agua, etc.).

Varios estudios, han demostrado la sinergia existente, entre la aplicación de compost procedentes de RSU y los beneficios que aportan a los suelos. Entre estos beneficios, se encuadran mejoras del contenido de materia orgánica, mejora la estructura y porosidad del suelo, mejora la capacidad de

infiltración, y aumenta la estabilidad de agregados del suelo (Shiralipour, et al. 1992) (Hicklenton, et al. 2001).

Los beneficios de la incorporación de compost orgánicos sobre los suelos son los siguientes:

- Mejora las propiedades físicas del suelo. La materia orgánica favorece la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo, reduce la densidad aparente, aumenta la porosidad y permeabilidad, y aumenta su capacidad de retención de agua en el suelo. Se obtienen suelos más esponjosos y con mayor retención de agua.
- Mejora las propiedades químicas y la fertilidad del suelo. Aumenta el contenido en macronutrientes N, P, K, y micronutrientes, la capacidad de intercambio catiónico (C.C.C.) y es fuente y almacén de nutrientes para los cultivos.
- Mejora la actividad biológica del suelo. Actúa como soporte y alimento de los microorganismos ya que viven a expensas del humus y contribuyen a su mineralización.

Sin embargo, no todo son ventajas, pues estos compost, pueden tener efectos negativos sobre el suelo, tales como:

-Aumento del pH, que puede llegar a ser peligroso para los cultivos.

-Aumento de la conductividad eléctrica (salinización de suelo, o acuíferos tras el lavado de las sales del suelo).

-Aporte de metales pesados al suelo.

-Eliminación o reducción de las poblaciones de microorganismos existentes en el suelo.

La calidad del residuo, y su composición pueden ayudar a minimizar los problemas que se originan por la aplicación de estos compost procedentes de RSU.

#### **1.3.4 Importancia de la calidad del residuo y la recogida selectiva**

En ocasiones, los agricultores han sido reticentes a emplear compost, debido a las impurezas y a la falta de estabilidad que presenta el producto obtenido (Gutiérrez, A. 1992). Los RSU empleados para conseguir compost, no tienen siempre la misma proporción de elementos, a pesar de tener el mismo origen o procedencia que en ocasiones anteriores.

Otro aspecto a tener en cuenta, son los procesos de separación que se llevan a cabo dentro de la planta de tratamiento de RSU, así como la recogida selectiva de los mismos. Estas circunstancias, hacen que los compost procedentes de RSU, cambien sus características de unos a otros, y por tanto, su efectividad.

Las enmiendas orgánicas, deben de cumplir una serie de parámetros para ser de calidad. Un bajo contenido en metales pesados, alto grado de presencia de materia orgánica, pH neutral, etc.

Las características del material inicial para el proceso dependen de su origen y del tipo de mezcla previa a iniciar el tratamiento, pero es preciso un proceso cuidadoso de selección de materiales, con la finalidad de obtener un control de los parámetros, e informar sobre estabilidad y contenido en contaminantes.

➤ ***Ventajas de la separación en origen***

La recogida selectiva de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, permite el compostaje de la misma con sistemas sencillos y evitando molestias ambientales.

La calidad de los materiales que son empleados como materia prima en el compostaje, tiene una influencia relevante en el desarrollo del proceso y en las características del compost final, sin olvidar que el tratamiento debe realizarse en las condiciones de control adecuadas.

El contenido de residuos inadecuados en los materiales de entrada, además de disminuir notablemente la calidad del compost obtenido, dificulta el desarrollo del proceso, afecta a las condiciones de trabajo, disminuye la superficie útil de la planta y aumenta considerablemente la cantidad de rechazo a gestionar.

El compostaje puede ser un sistema de utilidad para una buena gestión de los residuos orgánicos, siempre que se controle como cualquier proceso de fabricación, se cuide la calidad de los residuos a tratar y se dimensionen correctamente las instalaciones.

Los RSU, incorporan como materia orgánica, sustancias tales como restos de comida, papel, cartón, restos vegetales, de poda, etc. que pueden ser degradados y transformados en compost, pero también incorporan sustancias como, metales, plásticos, vidrios, gomas, y otros, que no pueden ser degradados, y que su aplicación sobre el suelo trae consigo contaminación de diversos tipos.

Ciertos autores (Chanyasak, 1981), defienden la separación en origen como la mejor manera de obtener compost de calidad, pues es necesario eliminar el mayor porcentaje posible de inertes, los cuales no aportan ningún tipo de nutrientes ni mejoras al suelo, pero en cambio, si pueden suponer una

fuente de contaminación. Por ello, la separación en origen, puede ser un factor determinante de la calidad de la enmienda orgánica.

Trasladar tanto las fases orgánicas como inorgánicas juntas, puede derivar en la contaminación de esta primera, por algún elemento inorgánico, o perder parte de la primera en la fase de separación previa al compostaje. Sin embargo, si este traslado se realiza de forma separada desde el origen, estos problemas se pueden evitar o minimizar en alto grado. Además, la separación en origen requiere de una menor cantidad de mano de obra, pues cada residuo es alojado en un contenedor diferente, y por tanto, no habrá que someter los residuos a un proceso de triaje.

El gran inconveniente de la separación en origen, reside en la confianza en el ciudadano, que es quien escoge separar o no los residuos, pues la ley no les obliga a ello. Estos inconvenientes, pueden solucionarse a través de la concienciación de las personas, la educación o la divulgación de los efectos beneficiosos que derivan de una selección de residuos en origen.

España, y según los datos de 2010, recogidos en la memoria “Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente en España 2011” gestionó un total de 22.7 Mt. de RSU. Siendo la recogida selectiva de fracción orgánica un porcentaje ínfimo del total (Tabla 2).

### Recogida RSU

Tabla 2. Cantidad de residuos gestionados en España

Modalidad de recogida	t/año	%
Cantidad de residuos recogidos selectivamente (papel, vidrio, envases ligeros y f. orgánica)	2.519.340	17
Cantidad de residuos mezclados	18.808.667	83
<b>TOTALES</b>	<b>22.671.228</b>	<b>100.0</b>

La eliminación o tratamiento final de estos residuos, fue mayoritariamente la disposición en vertederos, seguida de instalaciones de triaje y compostaje y de instalaciones de triaje, biometanización y compostaje (Tabla 3).

### Tratamiento y eliminación RSU

Tabla 3. Cantidad de RSU tratados

Instalaciones	Nº Centros	Entrada (t/año)
Instalaciones de clasificación de envases	97	640.286
Instalaciones de compostaje de fracción orgánica recogida selectivamente	41	795.714
Instalaciones de triaje y compostaje	67	7.669.958
Instalaciones de triaje, biometanización y compostaje	22	3.103.218
Instalaciones de incineración	10	1.972.305
Vertederos	142	15.833.489

En el año 2006, existían 18 plantas de compostaje de residuos recogidos de forma selectiva (17 en Cataluña y 1 en Baleares), que trataron en total 160.017 toneladas, dando como resultado final, aproximadamente 10.000 toneladas de compost y un rechazo de 20.000 toneladas con una relación rechazo/compost de 2:1. Solamente el 13.6% de los residuos en España, se recogía de forma selectiva.

En la actualidad, el número de plantas que tratan los residuos recogidos de forma selectiva para producir compost, ha ascendido a 41 plantas, gestionando un total de 795.714 toneladas al año. Estas plantas, producen un total de 142.297 toneladas de compost, y un rechazo de 145.501 toneladas,

con una relación rechazo/compost cercana a 1:1. La recogida selectiva de residuos en España, para el año 2010, ascendía a un 17% del total.

Por el contrario, existen 67 plantas de triaje y compostaje (Tabla 4), y 22 plantas de triaje, biometanización y compostaje (Tabla 5), que reciben residuos mezclados. Trataron en total 10.524.678 toneladas, obteniendo 775.805 toneladas de compost y un rechazo de 7.419.267 toneladas, con una relación rechazo/compost de 9.6:1 (Murcia trata 577.351 t/año, obteniendo 36.843 t de compost y un rechazo 362.180 toneladas, con una relación rechazo/compost de 9.8:1)

Tabla 4. Número de plantas de triaje-compostaje en España

Comunidad autónoma	Nº plantas	Residuos mezclados (t)	Compost producido (t)
Andalucía	21	2.878.515	175.157
Baleares	1	46.591	7.889
Canarias	1	87.045	3.173
Cantabria	1	239.171	21.006
Castilla La Mancha	8	588.778	35.505
Castilla León	8	451.907	36.527
Cataluña	3	31.653	0
Extremadura	7	488.880	49.379
Galicia	2	503.395	0
Madrid	1	403.854	44.262
Murcia	6	577.351	36.843
Valencia	6	1.254.900	102.932
<b>TOTALES</b>	<b>67</b>	<b>7.552.039</b>	<b>512.668</b>

Tabla 5. Número de plantas de triaje, biometanización-compostaje en España

Comunidad autónoma	Nº plantas	Residuos mezclados (t)	Compost producido (t)
Andalucía	1	84.387	2.191
Aragón	1	242.260	26.952
Canarias	1	71.499	0
País Vasco	1	57.439	3.001
La rioja	1	111.409	27.680
Castilla León	4	515.379	38.034
Cataluña	5	463.748	70.244
Baleares	1	0	8.070
Galicia	1	122.703	25.267
Madrid	3	644.503	32.601
Navarra	1	60.159	3.600
Valencia	2	599.153	25.498
<b>TOTALES</b>	<b>22</b>	<b>2.972.639</b>	<b>263.137</b>

Después de observar estos datos, podemos sacar en claro, que la recogida selectiva permite obtener un mayor rendimiento en el proceso de compostaje. Además, una serie de estudios, abalan la recogida selectiva, como un indicador de calidad del compost al no presentar elementos tóxicos ni elevadas concentraciones de metales pesados (Chaney, et al. 1992) (Zimoru, et al. 1995) (Mason, et al. 2004).

## 1.4 CAMBIO GLOBAL

Existe una relación importante entre el cambio climático y la degradación edáfica. El cambio del clima, afecta al suelo, y puede generar una mayor degradación de este. Al mismo tiempo, este medio desempeña una función importante en el secuestro de carbono atmosférico mediante el ciclo biogeoquímico del Carbono.

El clima del planeta, es un parámetro dinámico, que se encuentra en constante evolución, y que condiciona la vida sobre la Tierra. En la actualidad, se está produciendo un incremento de las temperaturas medias en gran parte de la superficie del planeta, como consecuencia del proceso natural del clima, y de las emisiones de gases de efecto invernadero (IV informe IPCC, 2007).

Estos cambios en el clima, pueden tener repercusión sobre las masas forestales, así como sobre las actividades agrícolas, pues estas, requieren de unas determinadas condiciones, que se están viendo alteradas.

Los cambios y las consecuencias son inciertos, pero en materia de medio ambiente, el principio de precaución, debe ser tomado como el más importante. Se esperan que se produzcan cambios con efectos negativos, en su mayoría, con algunos efectos positivos. La península ibérica, por sus especiales condiciones, es un espacio bastante vulnerable al cambio climático (IV informe IPCC, 2007).

El incremento de temperatura, conlleva efectos sobre los suelos ya degradados de los ambientes mediterráneos. Entre otros efectos, un aumento de la temperatura, desemboca en un incremento de la tasa de mineralización de la materia orgánica (Lal, et al. 1995), empobreciendo aun más, suelos ya degradados.

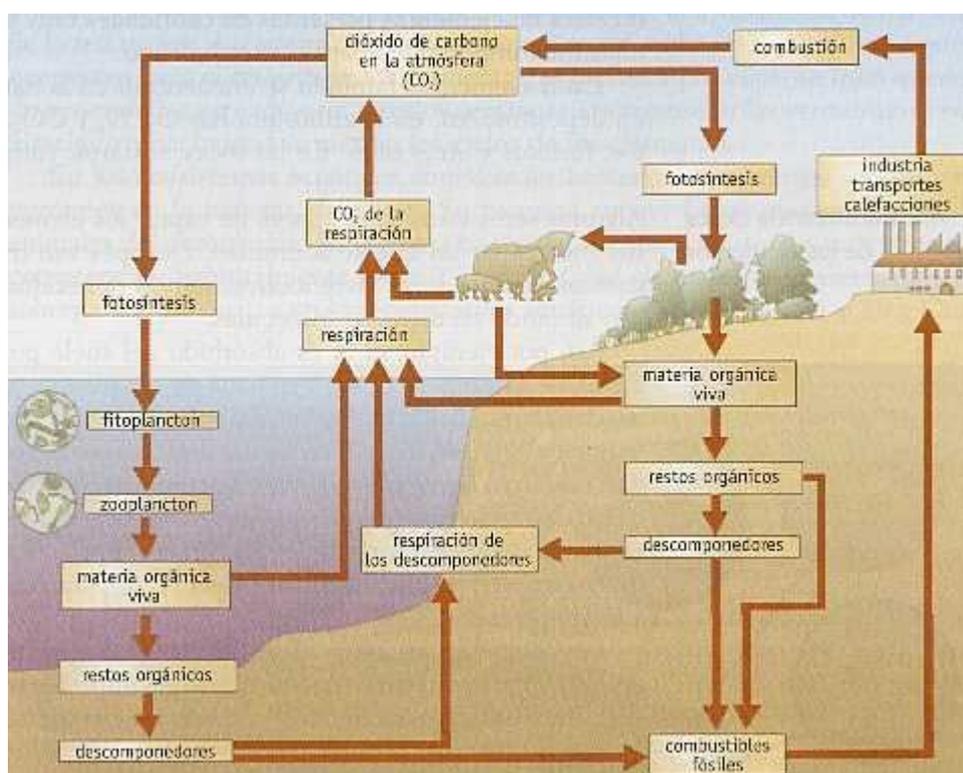
Es por esto, por lo que es esencial que sean tomadas un cierto número de medidas, para reducir las emisiones de gases de invernadero, así como

para incrementar su captura en los suelos y en la biomasa, con la intención reducir la acumulación de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera (FAO, 2002).

El carbono es el componente principal de los gases de efecto invernadero más importantes ( $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$ ), es un elemento que tiene una presencia constante en la Tierra, y únicamente varía su ubicación y/o forma en la que está presente. El ciclo del carbono, es un ciclo biogeoquímico, en el cual, litosfera, biosfera, hidrosfera y atmósfera intercambian dicho elemento.

El suelo, juega un papel importante en el mencionado ciclo, pudiendo actuar como fuente o sumidero de carbono. La función beneficiosa e interesante de cara al futuro, es emplearlo como sumidero, y para ello, los usos de suelo y las buenas prácticas agrícolas son fundamentales, pues si no podemos convertirlo en todo lo contrario, una fuente de carbono que libera dicho elemento a la atmósfera. Si el suelo actúa como sumidero, se evitan procesos erosivos, pérdida de calidad, y se mejoran las funciones productivas del mismo, como publica la FAO en su estudio *Soil carbon sequestration for improved land management*.

Figura 2. Ciclo biogeoquímico del carbono



El compostaje de RSU, y su utilización como enmienda orgánica, ayudarían a reducir en parte, la emisión de gases de efecto invernadero al evitar su incineración, y podría contribuir a incrementar el almacenamiento de carbono en el suelo, al forzar una parte del ciclo del carbono.

Utilizando compost procedentes de RSU como enmienda orgánica, se pretende incorporar directamente a la litosfera el carbono debido al alto contenido en materia orgánica que poseen las enmiendas. Este proceso, además de incorporar C al suelo evitando su emisión a la atmósfera, ayudaría al suelo a mejorar sus propiedades, como se ha publicado en la diversa bibliografía (Albadalejo, et al. 2008) (Jastrow, et al. 2006).

Como consecuencia de la recuperación de la fertilidad del suelo, debido a la aplicación de compost sobre el terreno, alcanzamos una mejor vegetación y microbiología del suelo, consumidores a su vez de carbono atmosférico, retirando nuevamente este de la atmosfera. Estos procesos, y unas buenas prácticas agrícolas, pueden jugar un papel importante en la lucha frente al efecto invernadero.

## **2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS**

---



La sociedad actual, debe enfrentarse en el presente a diversos desafíos. Entre ellos, destaca la gestión y eliminación de residuos sólidos urbanos (RSU), que se ha convertido en algo problemático, debido al gran incremento que han sufrido estos en las últimas décadas. A su vez, otra de las dificultades a las que debemos hacer frente, es la pérdida de calidad de suelo, de la que se derivan problemas de desertización/desertificación, principalmente en zonas áridas y semiáridas, y sus consiguientes efectos asociados sobre los sistemas productivos y biológicos.

La necesidad de solucionar estos problemas, ha llevado a los investigadores, a plantearse la posibilidad de utilizar estos RSU como enmienda, debido a su alto contenido en materia orgánica, favoreciendo la recuperación y mantenimiento de suelos susceptibles de degradación.

A priori, la aplicación de enmiendas orgánicas procedentes de RSU, levanta ciertas suspicacias entre la población, por la posible contaminación que puedan sufrir los suelos, y la vegetación que aflora en ellos, así como los efectos negativos que pueda tener sobre la salud de las personas. En contraposición, podrían solucionarse dos problemas importantes, reduciendo los costes de ambos. Por un lado, la gestión y eliminación de los RSU, a través de una valorización de los recursos contenidos en los residuos, y por otro, la recuperación y regeneración de suelos degradados o afectados por procesos de degeneración.

**El objetivo global** de este trabajo es la evaluación comparativa de los efectos, a corto y medio plazo, que se producen en las propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo típico semiárido (calcisol), tras la aplicación de 2 diferentes compost de RSU: uno procedente de una planta en la que los residuos han sido recogidos de forma separada (Barcelona), y otra, en la que no ha existido separación en la recogida (Murcia).

**Los objetivos específicos** son:

1. Determinar los cambios, a corto y medio plazo, en los contenidos en carbono orgánico, macro y micronutrientes y propiedades físicas del suelo, con la adición de ambos tipos de residuo.
2. Establecer la efectividad, en cuanto al tiempo de permanencia, de los cambios producidos.
3. Evaluar el efecto en la contaminación del suelo por metales pesados, en función de la dosis y tipo de residuo.
4. Comparar los efectos positivos y negativos de cada tipo de residuo, para determinar la eficiencia de la separación en origen.

### **3. EXPERIMENTACION Y METODOLOGÍA**

---



Para alcanzar los objetivos propuestos en el proyecto, definidos en el apartado 2 Justificación y objetivos, se llevó a cabo un proceso experimental sobre unas parcelas ubicadas en una finca propiedad del CEBAS-CSIC, localizada en la población murciana de Santomera.

A lo largo de este apartado, se desarrollará una descripción general del proceso experimental, tanto de campo, como de laboratorio, que se ha llevado a cabo.

### **3.1 LOCALIZACIÓN E INSTALACIONES**

El área experimental, está situada en la población de Santomera, a unos 20 km al noreste de Murcia, en el sureste de España.

El clima de la región de Murcia, y por ende, en Santomera, es de tipo mediterráneo semiárido, con una precipitación media anual de 300 mm. La temperatura media anual, es de 17°C y con una evapotranspiración potencial de 850 mm anuales, lo que indica un fuerte déficit de humedad (Tudela, et al. 2002).

El suelo de las parcelas de experimentación, es un Calcisol típico, con bajo contenido en materia orgánica, baja fertilidad y con mala estructura.

Los dos tipos de compost empleados en el proyecto, fueron: (I) compost procedente de RSU separados en origen, procesados en una planta de compostaje de Barcelona (CC), y (II) compost procedente de RSU sin separación en origen, mezclado con lodos de depuradora en proporción 2:1 (RSU/lodos de depuradora) procedentes de una planta de compostaje de Murcia (CM).

En la tabla 6, se muestran las características químicas de los compost no separados en origen (CM) y de los separados en origen (CC), empleados en el estudio.

Tabla 6. Características de los compost empleados en el estudio

parámetro	Unidades	CM	CC
pH		7,2	7,45
CE	dS m <sup>-1</sup>	6,4	5,04
Humedad	%	27,7	26,8
N total	%	2,4	2,7
M. Orgánica	%	52,4	57,6
P total	%	1,8	0,53
K total	%	0,66	0,84
Cu	mg Kg <sup>-1</sup>	395	28
Ni	mg Kg <sup>-1</sup>	59	18
Zn	mg Kg <sup>-1</sup>	3083	106
Cd	mg Kg <sup>-1</sup>	< 2,5	0,3
Cr	mg Kg <sup>-1</sup>	113	8
Pb	mg Kg <sup>-1</sup>	84	18

### 3.2 EXPERIMENTACIÓN

El estudio fue llevado a cabo, en 15 parcelas, con unas dimensiones de 1 metro de ancho por 2 metros de largo. Atendiendo al diseño experimental, sobre las parcelas se aplicaron:

- 2 Tipos de compost diferentes
- 2 Dosis de aplicación
- 3 Replicas de cada aplicación más 3 parcelas control

Las dosis aplicadas sobre las parcelas, se dividieron en dosis baja (15 Kg m<sup>-2</sup> peso seco) y dosis alta (25 Kg m<sup>-2</sup> peso seco). El compost fue aplicado, como un único tratamiento, en los 20 primeros centímetros de suelo, mediante un motocultor.

La monitorización del suelo, se llevo a cabo, mediante la toma de muestras en distintas etapas. La toma de muestras, se realizó en el periodo inicial, y a los 4, 8,12 y 42 meses con la finalidad de poder detectar la influencia sobre los parámetros del suelo con el transcurrir del tiempo.

Las 15 parcelas, se dividen en 5 grupos.

- 3 parcelas Control sin modificar.
- 3 parcelas con compost catalán (separado en origen) a baja dosis (CCB).
- 3 parcelas con compost catalán (separado en origen) a alta dosis (CCA).
- 3 parcelas con compost murciano (sin separar en origen) a baja dosis (CMB).
- 3 parcelas con compost murciano (sin separar en origen) a alta dosis (CMA).

De cada una de las parcelas, se tomaron 2 muestras aleatorias de los primeros 20 centímetros donde se había aplicado el compost (30 muestras en total). Y se sometieron a las diversas pruebas analíticas, para determinar la influencia sobre los diversos parámetros del suelo sometidos a estudio, que ha tenido la aplicación de las distintas enmiendas orgánicas.

### **3.3 MÉTODOS ANALÍTICOS**

Tras la recogida de muestras en las parcelas experimentales, se someten dichas muestras de suelo a un proceso de tamizado, empleando un tamiz con luz de malla 2.5 mm y 20 cm de diámetro.

Sobre las muestras, se procederá a determinar en el laboratorio:

#### **3.3.1) Nutrientes y Carbono orgánico**

- Carbono orgánico y macronutrientes
- Micronutrientes

#### **3.3.2) Parámetros físicos y físico-químicos**

- pH y conductividad eléctrica
- Estabilidad de agregados
- pF

#### **3.3.3) Metales pesados**

#### **3.3.1 Nutrientes y Carbono orgánico**

Los nutrientes bajo estudio fueron: C orgánico total, Nitrógeno total, fósforo total y asimilable, K total y asimilable, Na, Ca, Mg, S, Mo, Mn, Fe, Cu y B (C.A. Black, 1982).

➤ **Carbono orgánico, Nitrógeno y Macronutrientes**

Determinación del contenido de C orgánico, nitrógeno total del suelo y macronutrientes contenidos en el suelo.

Material y Equipo de análisis

- Mortero de ágata
- Analizador elemental C/N
- Espectrómetro ICP-OES

Procedimiento

Una vez tamizadas las muestras, se toma una pequeña cantidad, y se tritura con mortero de ágata, para homogeneizar la muestra, hasta llenar un recipiente de 25 ml. Dicha muestra, se somete a análisis en un equipo elemental de C-N, para C orgánico y nitrógeno total, o ICP-OES para el resto de macronutrientes. Obtendremos como resultado, 2 valores, para cada una de las 15 parcelas (30 muestras), con la finalidad de minimizar la desviación típica en los resultados.

- Carbono orgánico y nitrógeno, se determina en un analizador elemental de C-N, Flash EA 1112 series-leco truspec, del laboratorio de ionómica del CEBAS-CSIC, empleando muestras secas y molidas.
- Los macronutrientes P total, K total, se determinan en un equipo de ICP-OES, modelo ICAP 6500 DUO/IRIS INTREPID II XDL, situado en el laboratorio de ionómica del CEBAS-CSIC, empleando muestras secas y molidas.

➤ **Micronutrientes**

Determinación del contenido de cationes asimilables y fósforo asimilable en las muestras de suelo.

Material y Equipo de análisis

-Espectrómetro ICP-OES

-Mortero de ágata

Procedimiento Cationes asimilables

Preparación reactivo extractante:

a) 22.5 ml  $\pm$  0.1 de trietanolamina en agua ultrapura, ajustando pH a 8.1  $\pm$  0.1 con HCl 1:10. Enrrase a 500 ml con agua ultrapura.

b) Se disuelve 25  $\pm$  0.1 g de Cloruro de Bario dihidratado con agua ultrapura. Se enrrasa a 500 ml con agua. Se mezclan ambas soluciones.

Se ponen 5 g de muestra, en 100 ml de reactivo. Se somete a agitación durante 2 horas, con filtrado posterior.

- Los micronutrientes, se determinan en un equipo de ICP-OES, modelo ICAP 6500 DUO/IRIS INTREPID II XDL, situado en el laboratorio de ionómica del CEBAS-CSIC, empleando muestras digeridas y aguas

Procedimiento Fósforo asimilables (Método Olsen)

Preparación reactivo extractante:

Se utilizan  $42 \pm 0.1$  g de bicarbonato sódico, en agua ultrapura, ajustando pH a  $8.5 \pm 0.1$  mediante HCl o NaOH 0.1 N. Llevamos la disolución a 1 l con agua ultrapura.

Con 2.5 g de muestra en 50 ml de reactivo extractante, se somete a agitación durante 30 min. Filtrado posterior, y determinación en ICP-OES.

- El fósforo asimilable,, se determinan en un equipo de ICP-OES, modelo ICAP 6500 DUO/IRIS INTREPID II XDL, situado en el laboratorio de ionómica del CEBAS-CSIC, empleando muestras digeridas y aguas

### 3.3.2 Parámetros físicos y físico-químicos

#### ➤ *pH y Conductividad eléctrica*

En ambos casos, realizaremos 2 repeticiones por cada una de las 15 parcelas (30 muestras).

#### Material y Equipo de análisis

- pH: pHmetro con electrodo de vidrio
- Conductividad eléctrica: conductímetro, expresando los resultados en dS/m a 25°C.

#### Procedimiento

Para la determinación de estos parámetros, emplearemos muestras de 5 g de suelo en 100 ml de agua desionizada. Estas muestras, se someten a una agitación leve durante dos horas. Tras la agitación, se procede a medir el pH de la suspensión (Gutián, F. y Carballas, T. 1976).

La determinación de la conductividad eléctrica, sigue el mismo proceso, pero tras la agitación, se procede a filtrar la muestra con filtros de celulosa. Tras el filtrado, y empleando un conductímetro, determinamos su conductividad eléctrica (U.S.D.A. 1973).

➤ ***Estabilidad de agregados***

Determinación de los agregados estables del suelo al impacto de una lluvia artificial de energía conocida (Lax et al. 1994).

Material y Equipo de análisis

-Tamiz de 0.25 mm de malla y de 7.5 cm de diámetro

-Vasija cilíndrica transparente de 6.6 cm de diámetro interior, abierta por la parte superior y cuyo fondo tienen 11 orificios distribuidos regularmente, en los que se insertan puntas estándar de pipeta de 0.1 ml.

- Estufa

Procedimiento

Se pesan 4 g de agregados de suelo entre 0.2 y 4 mm. Se extienden sobre un tamiz de 0.25 mm. Se humedecen los agregados mediante pulverización. Pasados 10 minutos se someten a una lluvia de 150 ml de agua desionizada proveniente de una vasija cilíndrica con 11 orificios elevada un metro sobre el tamiz. La fracción de suelo que pasa por el tamiz se desprecia (porque no son agregados estables).

El suelo que queda en el tamiz se pasa, mediante chorro de agua desionizada, a una cápsula previamente tarada (T). Se seca a 105°C, se deja enfriar y se pesa (P1). A continuación el contenido de la cápsula se vuelve a pasar por el tamiz de 0.25 mm, esta vez ayudándose de una varilla y chorro de

agua. Las partículas orgánicas y de arena que quedan sobre el tamiz, se colocan de nuevo en la cápsula se secan y se pesan (P2). El porcentaje de agregados estables a la lluvia respecto a los agregados totales del suelo se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{ E.A} = (p1-p2/4-p2+tara)*100$$

Para este parámetro, y debido a su gran variabilidad en el resultado, se somete a realizar 6 repeticiones por cada una de las 15 parcelas (90 muestras), con la finalidad de reducir lo máximo posible la desviación típica de los resultados.

#### ➤ **pF**

Determinación de la capacidad de retención de agua en el suelo. En este estudio, vamos a determinar 2 tipos de capacidad de retención, pF 1/3 y pF 15 (Ministerio de Agricultura, 1975).

#### Material y Equipo de análisis

-2 Ollas de presión: Una, con una presión de 15 Atm. Y otra con una presión de 0.5 Atm de presión.

#### Procedimiento

Realizamos 4 repeticiones, por cada una de las 15 parcelas (60 muestras), tanto para pF 1/3 como para pF 15.

Empleamos vasos de 50 ml, tarados previamente (A), en los cuales, depositamos una cantidad de muestra sin determinar. Esta muestra, se humedece con agua desionizada, hasta observar que la muestra está bien húmeda, con un aspecto pastoso.

Colocamos en las distintas ollas, las muestras humedecidas, y las sometemos a la presión previamente marcada. El equipo, expulsa mediante una válvula, la humedad reinante en su interior. El proceso termina, cuando el tiempo transcurrido entre las gotas expulsadas por la válvula del equipo, es superior a la hora (aproximadamente 24 h). Sometemos las muestras a pesada (B), e introducimos la muestra en una estufa a 105° durante 24h. Sometemos la muestra a pesada en seco (C), empleamos la siguiente fórmula, para determinar la capacidad de retención de agua:

$$\frac{C - A * 100}{B - C}$$

### 3.3.3 Metales pesados

Los principales metales pesados sometidos a estudio, son Cu, Ni, Zn, Cd, Cr y Pb.

#### Material y Equipo de análisis

- Mortero de ágata
- Espectrómetro ICP-OES

#### Procedimiento

Una vez tamizadas las muestras, se toma una pequeña cantidad, y se tritura con mortero de ágata, para homogeneizar la muestra, hasta llenar un recipiente de 25 ml. Obtendremos finalmente, 2 valores, para cada una de las 15 parcelas, con el objetivo de minimizar la variabilidad o desviación típica que puedan presentar los resultados.

- Los metales pesados Cu, Ni, Zn, Cd Cr y Pb, se determinan en un equipo de ICP-OES, modelo ICAP 6500 DUO/IRIS INTREPID II XDL, situado en el laboratorio de ionómica del CEBAS-CSIC, empleando muestras secas y molidas.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---



Se evaluaron los efectos producidos, por los diversos tratamientos aplicados sobre las parcelas de muestreo, a fin de comprobar los cambios acaecidos sobre las propiedades del suelo, tanto a corto (12 meses) como medio plazo (42 meses), y se documentó la persistencia o no de los mismos con el paso del tiempo.

#### 4.1 Cambios en carbono orgánico y contenido en nutrientes

##### 4.1.1 C Orgánico y Macronutrientes

Al cabo de 12 meses de la adición del residuo, el COS (carbono orgánico del suelo) aumentó en todos los tratamientos con respecto al control, observándose diferencias significativas, tanto en lo referente al tipo de residuo como en cuanto a la dosis (Tabla 7).

**Tabla 7.** Contenido en carbono orgánico, nitrógeno, fósforo y potasio total del suelo, en cada tratamiento, a los 12 meses de la adición del residuo.

Tratamiento	Corg %	N Total %	P %	K %	C/N
<b>Control</b>	0.78 <sup>a</sup>	0.03 <sup>a</sup>	0.04 <sup>a</sup>	0.93 <sup>ab</sup>	26.0
<b>CC B</b>	2.10 <sup>d</sup>	0.11 <sup>d</sup>	0.09 <sup>b</sup>	0.95 <sup>ab</sup>	19.1
<b>CM B</b>	1.75 <sup>b</sup>	0.07 <sup>b</sup>	0.14 <sup>c</sup>	0.94 <sup>ab</sup>	25.0
<b>CC A</b>	3.28 <sup>e</sup>	0.19 <sup>e</sup>	0.15 <sup>c</sup>	0.98 <sup>b</sup>	17.3
<b>CM A</b>	2.04 <sup>c</sup>	0.10 <sup>c</sup>	0.21 <sup>d</sup>	0.91 <sup>a</sup>	20.4

CO, carbono orgánico, NT, nitrógeno total, P, fósforo total, K, potasio total. C/N relación carbono orgánico/nitrógeno total. CCB, compost catalán dosis baja. CCA compost catalán dosis alta. CMB compost murciano dosis baja. CMA, compost murciano dosis alta.

El tratamiento CC mostró mayor efectividad que el CM en el aumento del COS. Como se observa en la Tabla 7, incluso la dosis baja del CC conduce a un mayor aumento del COS que la dosis alta del CM. El incremento en la concentración de COS es muy importante en todos los casos, pero especialmente en la dosis alta de CC, en la que se llega a un valor superior a cuatro veces el del suelo sin tratamiento.

Transcurridos 42 meses de la adición, perdura el efecto positivo en el aumento del COS, con las mismas particularidades que en el primer muestreo, siendo el compost catalán (CC) más efectivo que el CM (Tabla 8), y las dosis altas, más efectivas que las bajas. Sólo se observan pequeñas diferencias, de tipo estadístico,

entre ambos muestreos. Así, los resultados del segundo periodo para los distintos tratamientos, muestran diferencias importantes entre las parcelas control, y la totalidad de tratamientos, pero desaparecen las diferencias estadísticas entre CMA, CMB y CCB, que aparecían en los resultados del muestreo inicial. La aplicación CMB, es la que menor efectividad presenta en la mejora de COS a medio plazo, mostrándose, por el contrario, el tratamiento CCA como el más eficaz, al igual que pasaba en el periodo inicial.

**Tabla 8.** Contenido en carbono orgánico, nitrógeno, fósforo y potasio total del suelo, en cada tratamiento, a los 42 meses de la adición del residuo.

Tratamiento	Corg %	N Total %	P %	K %	C/N
<b>Control</b>	1.10 <sup>a</sup>	0.11 <sup>a</sup>	0.03 <sup>a</sup>	0.90 <sup>a</sup>	9.88 <sup>b</sup>
<b>CC Bajo</b>	2.40 <sup>b</sup>	0.27 <sup>b</sup>	0.06 <sup>a</sup>	0.93 <sup>a</sup>	8.89 <sup>ab</sup>
<b>CM Bajo</b>	1.92 <sup>ab</sup>	0.24 <sup>b</sup>	0.12 <sup>b</sup>	0.92 <sup>a</sup>	8.17 <sup>ab</sup>
<b>CC Alto</b>	4.33 <sup>c</sup>	0.53 <sup>c</sup>	0.11 <sup>b</sup>	0.91 <sup>a</sup>	8.22 <sup>ab</sup>
<b>CM Alto</b>	2.80 <sup>b</sup>	0.36 <sup>b</sup>	0.18 <sup>c</sup>	0.93 <sup>a</sup>	7.76 <sup>a</sup>

CO, carbono orgánico, NT, nitrógeno total, P, fósforo total, K, potasio total. C/N relación carbono orgánico/nitrógeno total. CCB, compost catalán dosis baja. CCA compost catalán dosis alta. CMB compost murciano dosis baja. CMA, compost murciano dosis alta.

**Tabla 9.** Desviaciones típicas del contenido en carbono orgánico, nitrógeno, fósforo y potasio total del suelo, de cada tratamiento, a los 42 meses de la adición del residuo.

Tratamiento	Corg	N Total	P	K
<b>Control</b>	0.13	0.01	0.00	0.04
<b>CC Bajo</b>	0.80	0.09	0.01	0.06
<b>CM Bajo</b>	0.41	0.07	0.02	0.03
<b>CC Alto</b>	0.55	0.10	0.03	0.05
<b>CM Alto</b>	0.52	0.06	0.03	0.03

Respecto al N total de las muestras, se registra un comportamiento similar al que sufre el parámetro COS. En el periodo inicial (tabla 7), todos los tipos de tratamiento, independientemente de la procedencia o dosis, arrojan incrementos significativos respecto al control, manteniéndose este resultado, en los valores a medio plazo (tabla 8).

Los incrementos en este parámetro a corto plazo, son mayores con los compost procedentes de fuentes separadas (CC), así como los obtenidos al emplear dosis altas de enmienda orgánica. Por tanto, y como ocurría con el COS, el tratamiento más efectivo, es el CCA, y el que produce un menor incremento sobre este parámetro, siguiéndole en orden decreciente es CCB > CMA > CMB.

A medio plazo, los valores absolutos de este elemento contenido en el suelo, se incrementan en todos los tratamientos, siendo estos, incrementos muy importantes, aunque no se observan diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos CCB, CMB y CMA, pero sí, respecto al tratamiento control. El tratamiento CCA es, nuevamente, el más efectivo.

Las evoluciones observadas en los resultados, tras la aplicación de los distintos tratamientos, tanto para COS como para N total, son similares, y puede estar explicadas, por la menor presencia de compuestos lábiles, los cuales se mineralizan rápidamente, en el compost procedente de fuentes separadas en origen (CC), así como, por un mayor grado de maduración de este compost, respecto al que presenta el de fuentes no separadas en origen (CM). Los cambios producidos en el periodo inicial, se perpetúan con el paso del tiempo, lo cual, es un buen indicador para poder emplear estos compost, como enmiendas para la regeneración del suelo (Bastida, F. et al, 2008) (Raj, D. et al, 2011).

Sobre fósforo total contenido en el suelo, en el periodo inicial (Tabla 7), se observan diferencias significativas entre el tratamiento control y el resto de aplicaciones, siendo los tratamientos de tipo CM, los más efectivos en el incremento de este elemento. La dosis de aplicación, también resulta relevante a la hora de producir mejores resultados, siendo la dosis alta de enmienda, la que mayor incremento conlleva. Por tanto, el tratamiento CMA, es el más efectivo a la hora de mejorar esta propiedad, seguido de CMB > CCA > CCB. Esta situación, se prolonga en el segundo periodo (tabla 8), donde observamos diferencias en valor absoluto, aunque estadísticamente se han reducido las diferencias entre los distintos tratamientos.

Los mejores resultados obtenidos con la aplicación de compost no separados en origen (CM), respecto a los separados en origen (CC), puede ser debidos probablemente, a la adición de lodos de depuradora (RSU/lodos de depuradora 2:1) en el proceso de compostaje, de las enmiendas de tipo CM.

Referente al potasio contenido en el suelo, no cabe destacar ningún cambio, ni entre los distintos tratamientos, con independencia de la procedencia del compost o dosis empleada, ni entre los distintos periodos.

#### 4.1.2 Micronutrientes esenciales

Los micronutrientes del suelo, no fueron observados en el periodo inicial. Por tanto, no se realiza una comparativa entre los distintos periodos, aunque los valores para estos nutrientes a medio plazo, nos indicarán el comportamiento de los diferentes tratamientos sobre algunas de las propiedades del suelo. Estos parámetros, corresponden a Na, K, Ca, Mg, fósforo asimilable y oligoelementos.

Transcurridos 42 meses desde la aplicación de los distintos tratamientos, no se puede destacar ningún cambio estadístico significativo producido por la aplicación de compost procedentes de RSU sobre los parámetros Na y K asimilable, en referencia al tratamiento control (Tabla 10). Aunque los datos, arrojan pequeños incrementos en valor absoluto en todos los tratamientos, para el potasio, respecto a control.

**Tabla 10.** Corresponde con los datos registrados para varios nutrientes, transcurridos 42 meses desde la aplicación de las enmiendas orgánicas.

Muestra	meq/100 g suelo				
	Na	K	Ca	Mg	P asimilable en mg/l
<b>Control</b>	0.31 <sup>a</sup>	1.50 <sup>a</sup>	9.08 <sup>a</sup>	3.04 <sup>ab</sup>	1.01 <sup>a</sup>
<b>CC Bajo</b>	0.30 <sup>a</sup>	1.92 <sup>a</sup>	10.56 <sup>a</sup>	3.11 <sup>ab</sup>	1.68 <sup>a</sup>
<b>CM Bajo</b>	0.18 <sup>a</sup>	1.86 <sup>a</sup>	8.94 <sup>a</sup>	2.76 <sup>a</sup>	4.01 <sup>b</sup>
<b>CC Alto</b>	0.22 <sup>a</sup>	2.02 <sup>a</sup>	14.50 <sup>b</sup>	3.71 <sup>b</sup>	3.74 <sup>b</sup>
<b>CM Alto</b>	0.28 <sup>a</sup>	2.21 <sup>a</sup>	9.92 <sup>a</sup>	2.37 <sup>a</sup>	6.30 <sup>c</sup>

Na, sodio. K potasio. Ca, Calcio. Mg, magnesio. P, fósforo asimilable. CCB, compost catalán dosis baja. CCA compost catalán dosis alta. CMB compost murciano dosis baja. CMA, compost murciano dosis alta.

Para el calcio asimilable, únicamente se observan diferencias, respecto a control, para aquellas parcelas tratadas con enmiendas de tipo CC, aunque solo se producen variaciones estadísticas significativas, con dosis altas de enmiendas, siendo, por tanto, el tratamiento CCA el único influenciado sobre este elemento. El resto de aplicaciones, presenta valores estadísticos muy similares a los registrados en las parcelas sin tratar (Tabla 10).

**Tabla 11.** Desviaciones típicas correspondientes al contenido en micronutrientes (Na, K, Ca, Mg y P asimilable), transcurridos 42 meses.

Muestra	Na	K	Ca	Mg	P asimilable en mg/l
<b>Control</b>	0.04	0.12	0.33	0.26	0.44
<b>CC Bajo</b>	0.11	0.66	1.02	0.7	0.36
<b>CM Bajo</b>	0.03	0.30	0.59	0.25	1.17
<b>CC Alto</b>	0.07	0.61	1.73	0.57	1.54
<b>CM Alto</b>	0.17	0.44	0.68	0.38	0.8

Na, sodio. K potasio. Ca, Calcio. Mg, magnesio. P, fósforo asimilable. CCB, compost catalán dosis baja. CCA compost catalán dosis alta. CMB compost murciano dosis baja. CMA, compost murciano dosis alta.

En el caso del Mg asimilable contenido en el suelo, el tratamiento de origen CC, presenta pequeños incrementos respecto al tratamiento control, destacando de forma significativa, solamente, el tratamiento con dosis elevada CCA. Por el contrario, se produce un ligero descenso de los valores para este elemento, con la adición de compost de tipo CM.

La mayor estabilidad y madurez de la materia orgánica, así como un menor contenido en compuestos lábiles en el compost, pueden explicar la mayor presencia de Ca y Mg en las parcelas tratadas con enmiendas procedentes de RSU separadas en origen (CC), respecto a las tratadas con enmiendas de tipo CM, no separadas en origen.

Tanto el Ca como el Mg, desempeñan una función fundamental en la estructura del suelo, al formar parte del complejo arcilla. Un incremento de K en el suelo, favorece la liberación de Mg y Ca al medio, al interferir en la capacidad de intercambio catiónico, los cuales, puede ser perdidos por lixiviación, y podría explicar, en cierta medida, el menor contenido de Mg en los compost de tipo CM.

El fósforo asimilable contenido en el suelo, es el micronutriente esencial que presenta cambios más relevantes respecto al tratamiento control, tras la adición de las distintas enmiendas (Tabla 10). Todos los tratamientos aplicados en el suelo, tienen incrementos importantes de este parámetro, aunque no todos son significativos, desde el punto de vista estadístico, como en el caso del tratamiento CCB. Tanto la dosis, como la procedencia del residuo, son factores relevantes en los incrementos observados, aunque la procedencia del residuo, es el factor más determinante de la

enmienda, siendo los tratamientos de tipo CM los más efectivos. Atendiendo a los resultados, las dosis altas, son más eficaces que las dosis bajas a la hora de incrementar la cantidad disponible de fósforo asimilable del suelo.

Estos distintos comportamientos observados para el fósforo asimilable (Tabla 10), tienen la misma explicación, que los observados para el fósforo total (Tabla 8). El contenido en lodos de depuradora en las enmiendas no separadas en origen (CM), son, probablemente, los responsables de una mayor presencia de fósforo asimilable en las parcelas tratadas con esta enmienda, frente a las tratadas con enmiendas de tipo CC.

#### **4.1.3 Oligoelementos**

Este tipo de nutrientes, son importantes, debido a que su presencia en exceso o el déficit de los mismos en el suelo, puede actuar como factor limitante en el crecimiento de los organismos.

En el estudio, se han tenido en cuenta, los siguientes elementos: B, Cu, Fe, Mn, Mo y S. Al igual que en el punto 3.1.2 Micronutrientes esenciales, solo analizaremos los valores a medio plazo.

En el caso de Fe, y según los resultados obtenidos en la tabla 12, tanto la dosis, como la procedencia del residuo, influyen de forma significativa en la cantidad del elemento acumulada en el suelo, siendo el compost no separado en origen (CM), y las dosis altas, quien presenta las mayores cantidades incorporadas para este parámetro, comportándose como el tratamiento más efectivo, la enmienda orgánica CMA. El resto de parcelas tratadas, también muestran resultados con diferencias estadísticas significativas respecto a los valores control, excepto el tratamiento CCB, que se muestra menos efectivo en el incremento de este elemento en el medio.

**Tabla 12.** Corresponde con los datos registrados para varios nutrientes, transcurridos 42 meses desde la aplicación de las enmiendas orgánicas.

Tratamiento	B	Cu	Fe	Mn	Mo	S
<b>Control</b>	0.1 <sup>ab</sup>	0.007 <sup>a</sup>	0.06 <sup>a</sup>	0.67 <sup>a</sup>	0	1.58 <sup>a</sup>
<b>CC Bajo</b>	0.09 <sup>a</sup>	0.002 <sup>a</sup>	0.13 <sup>a</sup>	0.73 <sup>ab</sup>	0	1.79 <sup>ab</sup>
<b>CM Bajo</b>	0.1 <sup>ab</sup>	0.02 <sup>b</sup>	0.25 <sup>b</sup>	0.72 <sup>a</sup>	0	1.65 <sup>a</sup>
<b>CC alto</b>	0.09 <sup>a</sup>	0.000 <sup>a</sup>	0.24 <sup>b</sup>	0.92 <sup>b</sup>	0	2.46 <sup>c</sup>
<b>CM Alto</b>	0.12 <sup>b</sup>	0.03 <sup>b</sup>	0.39 <sup>c</sup>	0.67 <sup>a</sup>	0	2.03 <sup>b</sup>

B, boro. Cu, cobre. Fe, hierro. Mn, manganeso. Mo, molibdeno. S, azufre. CCB, compost catalán dosis baja. CCA compost catalán dosis alta. CMB compost murciano dosis baja. CMA, compost murciano dosis alta.

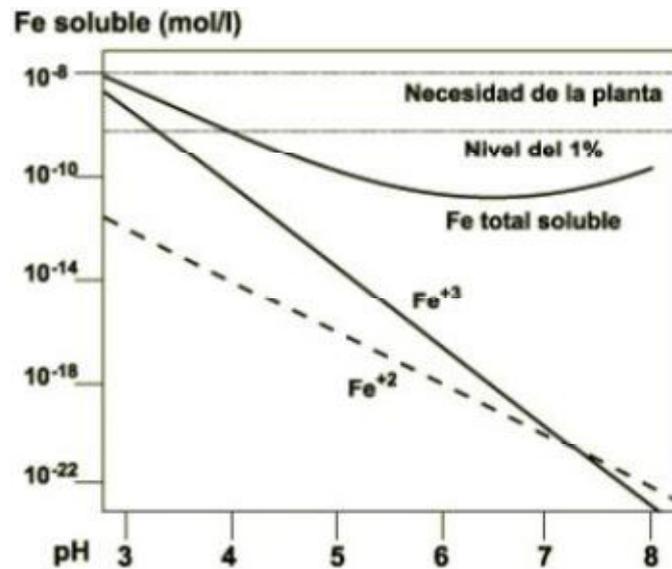
**Tabla 13.** Desviaciones típicas, correspondiente a varios nutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Mo y S), transcurridos 42 meses desde la aplicación de las enmiendas orgánicas.

Tratamiento	B	Cu	Fe	Mn	Mo	S
<b>Control</b>	0.004	0.005	0.007	0.005	0	0.12
<b>CC Bajo</b>	0.005	0.004	0.017	0.016	0	0.16
<b>CM Bajo</b>	0.006	0.000	0.050	0.005	0	0.10
<b>CC Alto</b>	0.007	0.000	0.060	0.015	0	0.30
<b>CM Alto</b>	0.005	0.008	0.040	0.010	0	0.20

Las diferencias encontradas entre los distintos tratamientos para el contenido de hierro en el suelo, se explican por diferentes factores, que a su vez, interactúan entre sí. Un pH neutro o alcalino, conlleva una precipitación de Fe en formas insolubles, reduciéndose su disponibilidad.

Otro factor que determina la solubilidad del Fe, y por tanto su disponibilidad, es la presencia de materia orgánica. Enmiendas orgánicas con menor madurez y menor estabilidad de compuestos orgánicos, como son las procedentes de fuentes no separadas en origen (CM), favorecen la disponibilidad de este elemento en el medio (Cesco, et al. 2000) (Warman, et al. 2009).

Figura 3. Solubilidad del Fe en relación al pH



El Mn contenido en suelo, tras la adición de las enmiendas procedentes de RSU, no presenta diferencias significativas respecto al tratamiento control (Tabla 12), en las parcelas tratadas con compost de tipo CM. Por el contrario, si se observan cambios en su contenido, para aquellas parcelas donde se usaron tratamientos de tipo CC. La dosis adicionada con el tratamiento, es importante, mostrándose como más efectivo, el tratamiento, procedente de fuentes separadas en origen, y dosis alta (CCA).

Referente al azufre, se obtienen variaciones respecto al tratamiento control, en las diferentes parcelas tratadas con distintas enmiendas. El aspecto más importante a la hora de medir la efectividad del tratamiento, es la dosis aplicada. Los valores más elevados, se observan en dosis altas de aplicación, tanto CMA como CCA. Aun así, el tratamiento más efectivo, es el tratamiento que combina separación en origen (CC) y dosis alta de aplicación (CCA). Las dosis bajas, CMB y CCB, no presentan diferencias estadísticas dignas de mención respecto al tratamiento control, aunque incrementan ligeramente el contenido de este elemento en el medio en valor absoluto.

Estos distintos valores que se recogen sobre el azufre en la tabla 12, pueden estar explicados, por la mayor madurez y estabilidad, así como, menor presencia de compuestos lábiles, que presenta la materia orgánica de los compost no separados en origen (CC).

## 4.2 Cambios en las propiedades físicas y físico-químicas

Las propiedades físico-químicas bajo estudio, son la conductividad eléctrica, el pH, la estabilidad de agregados, y la capacidad de retención de agua del suelo.

Los valores para pF 1/3, transcurrido un año desde la adición de las distintas enmiendas, muestran un incremento sobre los valores de este parámetro en todas las situaciones, respecto a control (Tabla 14). Los cambios registrados, son significativos estadísticamente, y son las dosis altas de CC, las que producen mejoras más relevantes. A medio plazo, se mantienen estas mejoras generalizadas en todos los tratamientos, reduciéndose levemente la distancia estadística entre CCA, con mayor efectividad, y los restantes tratamientos (Tabla 15).

**Tabla 14**, Valores de los parámetros físico-químicos transcurrido el periodo de un año tras la aplicación del tratamiento

Tratamiento	pF 1/3	pF 15	E.A	pH	C.E
<b>Control</b>	21.1 <sup>a</sup>	11.8 <sup>a</sup>	21.1 <sup>a</sup>	7.72 <sup>bc</sup>	0.67 <sup>a</sup>
<b>CC Bajo</b>	24.1 <sup>c</sup>	13.1 <sup>c</sup>	23.9 <sup>b</sup>	7.64 <sup>b</sup>	0.9 <sup>ab</sup>
<b>CM Bajo</b>	24.0 <sup>c</sup>	12.3 <sup>ab</sup>	37.2 <sup>d</sup>	7.43 <sup>a</sup>	1.78 <sup>c</sup>
<b>CC alto</b>	27.5 <sup>d</sup>	14.3 <sup>d</sup>	29.5 <sup>c</sup>	7.89 <sup>c</sup>	1.7 <sup>bc</sup>
<b>CM Alto</b>	23.1 <sup>b</sup>	12.6 <sup>bc</sup>	37.0 <sup>d</sup>	7.34 <sup>a</sup>	3.28 <sup>d</sup>

pF en %. E.A estabilidad de agregados en %. C.E, conductividad eléctrica en  $\text{dS m}^{-1}$ . CCB, compost catalán dosis baja. CCA compost catalán dosis alta. CMB compost murciano dosis baja. CMA, compost murciano dosis alta.

**Tabla 15**, Valores de los parámetros físico-químicos transcurridos 42 meses desde la aplicación de los compost

Tratamiento	pF 1/3	pF 15	E.A	pH	C.E
<b>Control</b>	20.83 <sup>a</sup>	10.04 <sup>a</sup>	27.87 <sup>a</sup>	8.64 <sup>ab</sup>	0.71 <sup>a</sup>
<b>CC Bajo</b>	23.02 <sup>b</sup>	11.67 <sup>ab</sup>	31,49 <sup>a</sup>	8.59 <sup>ab</sup>	0.87 <sup>b</sup>
<b>CM Bajo</b>	23.20 <sup>b</sup>	13.78 <sup>cd</sup>	46.61 <sup>b</sup>	8.45 <sup>a</sup>	0.90 <sup>b</sup>
<b>CC alto</b>	25.31 <sup>c</sup>	13.12 <sup>bc</sup>	47.96 <sup>b</sup>	8.73 <sup>b</sup>	1.06 <sup>c</sup>
<b>CM Alto</b>	24.49 <sup>bc</sup>	15.55 <sup>d</sup>	47,04 <sup>b</sup>	8.48 <sup>a</sup>	1.11 <sup>c</sup>

pF, potencial hídrico del suelo en %. E.A estabilidad de agregados en %. C.E, conductividad eléctrica en  $\text{dS m}^{-1}$ . CCB, compost catalán dosis baja. CCA compost catalán dosis alta. CMB compost murciano dosis baja. CMA, compost murciano dosis alta.

**Tabla 16.** Desviaciones típicas, transcurridos 42 meses desde la aplicación de los compost, que afectan a las propiedades físicas y químico-físicas del suelo

Tratamiento	pF 1/3	pF 15	E.A	pH	C.E
<b>Control</b>	0.46	0.32	3.06	0.12	0.009
<b>CC Bajo</b>	1.38	0.58	4.97	0.15	0.013
<b>CM Bajo</b>	0.50	2.03	5.88	0.10	0.026
<b>CC Alto</b>	1.10	0.70	1.97	0.16	0.011
<b>CM Alto</b>	1.20	1.33	5.75	0.09	0.012

pF, potencial hídrico del suelo en %. E.A estabilidad de agregados en %. C.E, conductividad eléctrica en  $\text{dS m}^{-1}$ . CCB, compost catalán dosis baja. CCA compost catalán dosis alta. CMB compost murciano dosis baja. CMA, compost murciano dosis alta

En el caso de pF 15, el efecto general de mejora tras la adición de los distintos compost se repite como en el caso pF 1/3, siendo el compost con separación en origen (CC), el que obtiene mayores incrementos para este parámetro, y las dosis altas, las más efectivas en el periodo inicial. A medio plazo, el efecto general de mejora del parámetro pF 15 continua con todos los tratamientos, siendo esta vez, el residuo CM quien se comporta de forma más efectiva (Tabla 15). Las dosis empleadas, también se muestran a largo plazo, como determinantes en los resultados, presentando las dosis elevadas un mejor comportamiento que las dosis bajas.

La estabilidad de agregados, presenta aumentos en sus valores, para todos los casos bajo estudio en el periodo inicial, erigiéndose como factor determinante en el incremento del parámetro, el tipo de residuo empleado. La efectividad de CM, es superior en buena medida a la que presenta CC para este lapso de tiempo. Las diferentes dosis aplicadas, no presentan diferencias significativas en el caso de CM, pero sí para CC, siendo la dosis alta la más efectiva (tabla 14).

Al cabo de 3 años y medio desde la aplicación de los distintos tratamientos, la estabilidad de agregados, presenta grandes diferencias respecto al periodo inicial en todos los casos. Los tratamientos CMB, CMA y CCA, se comportan de manera similar, obteniendo grandes mejoras sobre la estabilidad de agregados, siendo CCB el único tratamiento que experimenta una mejoría leve en comparación con los datos que reflejaba este tratamiento al cabo de 12 meses tras la adición.

La mejora de la capacidad de retención de agua, y la estabilidad de agregados, viene determinada por la mejora de la estructura del suelo como consecuencia de la

adición de materia orgánica, ya que interviene de forma directa sobre la fracción arcillo-húmica del suelo (Mylavarapu and Zinati, 2009). La microbiología del suelo, la cual no se ha sometido a estudio, también tiene una influencia relevante sobre estas dos características, como demuestran otras investigaciones (Ros, et al. 2003) (Bastida, et al. 2009), donde enmiendas con menor estabilización de materia orgánica, permiten un uso más rápido y eficiente por parte de los microorganismos de la materia orgánica, es por ello, que se obtienen mejores resultados con compost de tipo CM.

Respecto a la conductividad eléctrica del suelo, la adición de enmiendas orgánicas procedentes de RSU, producen incremento significativo sobre este parámetro independientemente del origen del residuo y cantidad de dosis aplicada en el periodo inicial, como muestran los resultados de la tabla 14. Este efecto negativo, tiene un mayor incremento con el compost de tipo CM, siendo a su vez, la dosis alta, la que produce un incremento más intenso de este valor.

Con el paso del tiempo, los valores de conductividad eléctrica se homogeneizan en gran medida, desapareciendo las diferencias asociadas al origen del residuo, y manteniéndose únicamente, las asociadas a la dosis de tratamiento aplicado (Tabla 15). Las dosis altas, obtienen valores para la conductividad eléctrica, ligeramente más elevados que las dosis bajas.

Este efecto negativo de salinización del suelo, es muy importante en ambientes semiáridos, debido al débil régimen de precipitaciones que domina esas zonas, y que es el responsable del lavado de sales. El lavado no elimina el problema, sino que traslada ese fenómeno a capas profundas de suelo o a los acuíferos cercanos, por ello, hay que tener especial cuidado con el contenido de sales de los compost. Tanto la procedencia, como la dosis tienen clara influencia en el contenido de sales de las enmiendas orgánicas, teniendo menos contenidos en sales, los compost separados en origen (CC), y en dosis bajas, siendo el CCB, el tratamiento que menor riesgo conlleva, en referencia a la salinización del suelo.

### 4.3 Cambios en las concentraciones de metales pesados

La concentración de metales pesados contenida en el suelo, no varía de manera notoria, de forma natural, por ello, hemos estimado convenientes presentar únicamente los resultados del segundo periodo, tras la adición de los distintos tratamientos.

**Tabla 17**, datos de las concentraciones de metales pesados del suelo tras el paso de 42 meses desde la adición de los diversos tratamientos.

Tratamiento	Cd	Pb	Zn	Ni	Cr
<b>Control</b>	0.000 <sup>a</sup>	7.82 <sup>a</sup>	15.96 <sup>a</sup>	16.18 <sup>a</sup>	30.31 <sup>a</sup>
<b>CC Bajo</b>	0.000 <sup>a</sup>	8.72 <sup>ab</sup>	24.72 <sup>ab</sup>	16.72 <sup>a</sup>	30.74 <sup>a</sup>
<b>CM Bajo</b>	0.000 <sup>a</sup>	13.33 <sup>c</sup>	76.48 <sup>c</sup>	19.84 <sup>b</sup>	37.23 <sup>b</sup>
<b>CC Alto</b>	0.000 <sup>a</sup>	10.84 <sup>bc</sup>	44.73 <sup>b</sup>	17.00 <sup>a</sup>	30.25 <sup>a</sup>
<b>CM Alto</b>	0.019 <sup>b</sup>	16.70 <sup>d</sup>	115.69 <sup>d</sup>	24.54 <sup>c</sup>	41.18 <sup>c</sup>

Cambios en las concentraciones de metales pesados (mg Kg<sup>-1</sup>) CCB, compost catalán dosis baja. CCA compost catalán dosis alta. CMB compost murciano dosis baja. CMA, compost murciano dosis alta

**Tabla 18**. Desviaciones típicas, de las concentraciones de metales pesados del suelo tras el paso de 42 meses desde la adición de los diversos tratamientos.

Tratamiento	Cd	Pb	Zn	Ni	Cr
<b>Control</b>	0	0,51	3,72	0,78	1,35
<b>CC Bajo</b>	0	0,97	5,89	0,8	1,8
<b>CM Bajo</b>	0	1,96	20,83	1,14	2,35
<b>CC Alto</b>	0	1,06	15,22	0,95	1,03
<b>CM Alto</b>	0,019	2,21	21,21	1,43	3,36

Cambios en las concentraciones de metales pesados (mg Kg<sup>-1</sup>) CCB, compost catalán dosis baja. CCA compost catalán dosis alta. CMB compost murciano dosis baja. CMA, compost murciano dosis alta

Las concentraciones de metales pesados, son fundamentales para determinar si el compost empleado es de calidad, debido a que determinan la toxicidad o no, de las enmiendas empleadas.

Atendiendo a los resultados mostrados en la Tabla 17, se evidencian diferencias muy significativas entre los distintos tipos de tratamiento respecto a las parcelas sin tratar, en la totalidad de los elementos analizados en el estudio, excepto para el Cd, cuyos valores, están por debajo del límite de detección de los equipos de análisis.

Los resultados de concentraciones de los metales pesados analizados, reflejan un comportamiento similar en el incremento de la cantidad de estos metales en el suelo, tras la adición de los distintos tratamientos (Smith, 2009) (Yu-yang Long, et al. 2011).

Los incrementos del contenido de metales pesados en el suelo, son especialmente importantes en el caso del Pb y del Zn, destacando sobremanera, los incrementos de este último metal, donde con uno de los tratamientos, aumenta en 7,5 veces la concentración.

Las enmiendas no separadas en origen (CM), producen aumentos significativos en las concentraciones de metales pesados del suelo, en todos los casos bajo estudio, independientemente de las dosis aplicadas, pero es, con las dosis altas de enmiendas, donde se recogen los valores más elevados, doblando las concentraciones naturales de las que dispone el suelo, en el caso del Pb, y multiplicando por 7,5 estas concentraciones, en el caso del Zn.

Los incrementos sobre los valores de concentración en el suelo, para Cr y Ni, son significativos, desde el punto de vista estadístico, pero no tan importantes en valor absoluto. En el peor de los comportamientos, aquellos que se obtienen con las dosis altas de enmiendas, estos incrementos en ambos casos, son aproximadamente de un 33%.

Por el contrario, las enmiendas separadas en origen (CC), no afectan a las concentraciones de Ni, Cr y Cd del suelo, independientemente de la dosis empleada, y solo se observan incrementos importantes en las concentraciones en el caso del Zn, donde la aplicación de compost separados en origen, y dosis alta, incrementa los valores para este metal pesado, en 3 veces su concentración previa. Estadísticamente, los incrementos sobre Pb y Zn, son significativos, independientemente de la dosis aplicada, pero en valor absoluto, solo el tratamiento CCA, muestra incrementos peligrosos sobre el contenido de Zn en el suelo.

Por tanto, la utilización del compost procedentes de RSU separados en origen (CC), y según los resultados obtenidos en la tabla 17, no entrañan riesgo de contaminación del suelo o aguas subterráneas. En contraposición, la utilización reiterada de enmiendas procedentes de residuos no separados en origen (CM), si puede causar problemas de contaminación sobre el suelo o el agua, debido a metales pesados.

Un suelo contaminado por metales pesados, afecta al rendimiento de la producción, y puede incorporar metales pesados a la cadena trófica, acumulándose en los tejidos, y biomagnificándose a través de los distintos escalones de la cadena. Además, puede afectar a los acuíferos de agua, mediante lixiviación, los cuales no pueden eliminar dicho metales por el bajo nivel de renovación de agua que poseen los acuíferos, convirtiéndoles en un espacio degradado y, por tanto, inservible para su aprovechamiento (Kaschl, A et al, 2002).

## **5. CONCLUSIONES**

---



Atendiendo a los objetivos planteados inicialmente, las siguientes conclusiones, constituyen una síntesis de los resultados más destacados obtenidos en este estudio:

En relación al objetivo general fijado en la investigación, podemos concluir, que las mejoras producidas en el primer lapso de tiempo sobre las propiedades del suelo, tras la aplicación de las distintas enmiendas orgánicas, se mantienen en el medio plazo, de manera generalizada, tanto en las propiedades físicas, químicas como biológicas. Algunos de los parámetros sometidos a estudio, han producido mejores resultados a medio plazo, como es el caso de la estabilidad de agregados o la fijación de carbono orgánico y nitrógeno. La utilización de compost, se presenta por tanto, como una buena herramienta en la recuperación y regeneración de suelos degradados.

1. Respecto a los cambios producidos en el contenido de carbono orgánico, macro y micronutrientes, así como las propiedades físicas del suelo, ambos compost, tanto los procedentes de fuentes separadas en origen (CC), como los procedentes de fuentes no separadas en origen (CM), se muestran efectivos en la mejora de las propiedades físicas y nutricionales del suelo, respecto a las muestras de suelo sin tratar. Tanto a corto como medio plazo, la enmienda de tipo CC, se muestra más efectiva que las de tipo CM, en la mejora de los parámetros nutricionales del suelo, excepto para fósforo y hierro, donde CM, es más eficaz debido a su contenido en lodos de depuradora.

En cuanto a las propiedades físicas del suelo, a medio plazo, se muestra más efectivo en la mejora de la estructura del suelo, así como en la retención de agua, la enmienda de tipo CM, aunque las dosis altas de CC, muestran resultados cercanos a los observados con las enmiendas CM. A corto plazo, la mayor retención de agua, era observada en las parcelas tratadas con compost separados en origen (CC), perdiendo esta condición a medio plazo, aunque las diferencias no son muy importantes.

Los efectos negativos de salinización del suelo, aparecidos a corto plazo, principalmente con las enmiendas de tipo CM, se han ido mitigando con

el paso del tiempo, debido al lavado de sales, igualándose los resultados obtenidos con ambos compost en el medio plazo. Esto conlleva, que las sales han sido desplazadas, a capas profundas o acuíferos, y pueden causar contaminación difusa.

Este aspecto, es muy relevante, para determinar si un compost es de calidad. Una utilización reiterada de enmiendas no separadas en origen (CM), pueden ocasionar graves problemas sobre la productividad del terreno debido a su elevada salinidad, o problemas de contaminación en los medios naturales adyacentes. Este fenómeno, no tiene especial relevancia aplicando las enmiendas con separación en origen (CC).

2. En relación al objetivo de evaluar la persistencia de los cambios producidos sobre las propiedades del suelo, y atendiendo a los resultados, podemos afirmar, que los cambios positivos producidos a corto plazo, se mantienen con el paso del tiempo, observándose estos mismos cambios o incluso mayores incrementos, a medio plazo, tanto en los parámetros nutricionales como físico-químicos, independientemente del origen de la enmienda aplicada.

3. La contaminación del suelo por metales pesados, es uno de los riesgos más elevados que presentan este tipo de enmiendas orgánicas, procedentes de RSU. Aquí, encontramos las diferencias más significativas entre los distintos compost. Las parcelas tratadas con enmiendas procedentes de fuentes no separadas en origen (CM), presentan resultados con concentraciones elevadas de metales pesados, tanto es así, que las dosis bajas de compost de tipo CM, superan en contaminación a las dosis altas de compost separados en origen (CC). Por el contrario, los resultados obtenidos con las enmiendas separadas en origen (CC) a dosis bajas, no muestran ninguna amenaza sobre la contaminación del suelo, siendo muy leve, en el caso de utilizar dosis altas de compost separados en origen, pues, únicamente afecta la utilización de este compost, a la concentración de Zn.

4. A corto plazo, existen diferencias entre la aplicación de enmiendas procedentes de fuentes separadas en origen (CC) y no separadas en origen (CM), siendo las enmiendas de tipo CC, aquellas que muestran un mayor aporte de poder nutricional al suelo, que se observan también en el medio plazo. Las propiedades físicas, tienen una mejor respuesta con las enmiendas procedentes de fuentes no separadas en origen (CM), en el medio plazo, en referencia a la estabilidad de agregados y retención de agua, aunque las diferencias con la aplicación de dosis alta de compost separados en origen no es muy grande, e incluso a corto plazo, muestra mejores resultados en la retención de agua.

Por contra, las amenazas de contaminación que comporta la utilización de compost procedentes de fuentes no separadas en origen (CM), es mucho mayor, que la que lleva asociado el uso de compost procedentes de fuentes separadas en origen (CC). A corto plazo, las enmiendas CM, pueden ocasionar salinización, un problema muy grave en ambientes semiáridos debido al régimen de precipitación reinante, y a la elevada evapotranspiración que sufre el suelo. Además de esto, las enmiendas CM, incorporan metales pesados al suelo, que no pueden ser eliminados de forma natural, por lo que la utilización reiterada de este tipo de compost, puede llevar a producir graves problemas sobre el sistema edáfico, convirtiéndolo en inservible para su aprovechamiento.

Podemos afirmar, que la separación en origen, es un factor clave, a la hora de producir enmiendas orgánicas de calidad, ya que limitan las amenazas ambientales que se puedan derivar del uso de los mismos, producen mayores aportes nutricionales y similares mejoras sobre las propiedades físico-químicas del suelo.



## 6. BIBLIOGRAFÍA

---



- 1) Achiba, W.B. Gabteni, N. Lakhdar, A. Du Laing, G. Verloo, M. Jedidi, N. Gallali, T. Effects of 5-year application of municipal solid waste compost on the distribution and mobility of heavy metals in a Tunisian calcareous soil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2009.
- 2) Albadalejo, J. Lopez, J. Boix-fayos, C. Barbera, G.G and Martinez-mena, M. Long-term effect of a single application of organic refuse on carbón sequestration and soil physical properties. *Journal Environmental Quality*, 2008.
- 3) Andreux, F. Choné, T. Dynamics of soil organic matter in the Amazon ecosystem and after deforestation: basis for efficient agricultural management. Centre National de la Recherche Scientifique, France. 1993.
- 4) Angers, D.A. Chenu, C. Dynamics of soil aggregation and C sequestration. *Soil processes and the carbón cycle*. CRC Press, Boca Raton, FL. 1998.
- 5) Barral, M.T. Paradelo, R. Moldes, A.B. Dominguez, M. Díaz-Fierros, F. Utilization of MSW compost for organic matter conservation in agricultural soils of NW Spain. *Resource, Conservation and recycling*, 2009.
- 6) Bastida, F. Kandeler, E. Moreno, J.L. Ros, M. García, C. Hernández, T. Application of fresh and composted organic wastes modifies structure, size and activity of soil microbial community under semiarid climate. *Applied Soil Ecology*, 2008.
- 7) Bernal, M.P. Paredes, C. Sánchez-monedero, M.P. Cegarra, J. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresource technology*, 1998.
- 8) Bhattarai, R. Kalita, P. Yatsu, S. Howard, H. Svendsen, N.G. Evaluation of compost blankets for erosion control from disturbed lands. *Journal of Environmental Management*, 2011.

- 9) Blum, W. y Santelices, A. A concept of sustainability and resilience based on soil functions, In DJ. Greenland and I. Szabolcs. Soil Resilience and Sustainable Land Use. England, 1994.
- 10) Caravaca, F. Lax, A. Albaladejo, J. Organic matter, nutrient contents and cation exchange capacity in fine fractions from semiarid calcareous soils. Geoderma, 1999.
- 11) Carbonell, G. Miralles de Imperial, R. Torrijos, M. Delgado, M. and Rodriguez, J.A. Effects of municipal solid waste compost and mineral fertilizer amendments on soil properties and heavy metals distribution in maize plants (*Zea mays* L.) Chemosphere, 2011.
- 12) Carter, M.R. Gregorich, E.G., Anderson, D.W., Doran, J.W., Janzen, H.H. y Pierce, F.J. Soil Quality for Crop Production and Ecosystem Health . Elsevier science publishers, Netherlands. 1997
- 13) Cesco, S. Römheld, V. Varanini, Z. Pinton, R. Solubilization of iron by water-extractable humic substances. J. Plant Nutr. Soil Sci. 2000.
- 14) Chanyasak, V. Kubota, H. Carbon/organic nitrogen ratio in water extract as measure of compost degradation, J. Ferment. Technology, 1981.
- 15) Chen, Y. Reactions Involving Micronutrients in Soils and Their Effect on Plants, Humic Substances in Terrestrial Ecosystems, 1996.
- 16) Cherif, H. Ayari, F. Ouzari, H. Marzorati, M. Brusetti, L. Jedidi, N. hassen, A. Daffonchio, D. Effects of municipal solid waste compost, farmyard manure and chemical fertilizers on wheat growth, soil composition and soil bacterial characteristics under Tunisian arid climate. European Journal of Soil Biology, 2009.
- 17) C.A. Black (ed.). Methods of soil analysis. Part 2, Agronomy 9. American Society of Agronomy. 1982.

- 18) Deportes, I. Benoit-Guyod, J.L. and Zimoru, D. Hazard to man and the environment posed by the use of urban waste compost, Science of the Total Environment, 1995.
- 19) Epstein, E. Chaney, R.L. Henry, C. and Logan, T.J. Trace elements in municipal solid waste compost, Biomass and Bioenergy, 1992.
- 20) Fao. A framework for land evaluation, Fao soil bulletin 52, Roma, 1976.
- 21) Fao. Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra, Roma, 2002. <http://www.fao.org/docrep/005/y2779s/y2779s05.htm>
- 22) Farrell, M. and Jones, D.L. Heavy metal contamination of a mixed waste compost: Metal speciation and fate. Bioresource technology, 2009.
- 23) Fernández Martínez, A. Planta de incineración de residuos sólidos urbanos con tecnología de parrilla y recuperación energética. Universidad Pontificia Comillas. Proyecto fin de carrera, 2007.
- 24) Giménez, A. Gea, V. Huerta, O. López, M. Soliva, M. Aproximación a la situación actual en Cataluña del mercado del compost elaborado a partir de la fracción orgánica de residuos municipales recogida selectivamente, 2005.
- 25) Goykovic Cortés, V. y Saavedra del Real, G. Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y practicas agronómicas de su manejo, Idesia, Chile, 2007.
- 26) Guitián, F., Carballas, T. Técnicas de análisis de suelos. Ed. Pico Sacro. Santiago de Compostela. 1976
- 27) Gutiérrez, A. 'promoció del compost: aplicacions i comercialització' en: "la gestió municipal de residus sòlids urbans" estudis i monografies del servei de medi ambient de la diputació de Barcelona, 1992.

- 28) Hargreaves, J.C. Adl, M.S. and Warman, P.R. A review of the use of composted municipal solid waste in agricultura, *Agricultures, Ecosystems & Environments*, 2008.
- 29) Hicklenton, P.R. Rodd, V. and Warman, P.R. The effectiveness and consistency of source-separated municipal solid waste and bark compost as componentes of container growing media, *Scientia Horticulturae*, 2001.
- 30) Huerta, O. López, M. Soliva, M. y Zaloña, M. Compostaje de residuos municipales: control del proceso, rendimiento y calidad del producto. Escuela superior de agricultura de Barcelona, 2008.
- 31) Jastrow, J.D. Bailey, V.I. and Amonette, J.E. Mechanisms controlling soil carbón turnover and their potential application for enhancing carbón sequestration, 2006.
- 32) Jenkinson, D.S. The determination of microbial biomass carbon and nitrogen in soil. *Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems*. CAB International, United Kingdom, 1988.
- 33) Kaschl, A. Römheld, V. Chen, Y. The influence of soluble organic matter from municipal solid waste compost on trace metal leaching in calcareous soils. *Science of the Total Environment*, 2002.
- 34) Kimble, J.M. Rice, C.R. Reed, D. Mooney, S. Follett, R.F. and Lal, R. Soil carbon management: Economic, environmental and societal benefits. CRC Press, Boca Raton, FL. 2007.
- 35) Khalid Iqbal, M. Shafiq, T. Hussain, A. Ahmed, K. Effect of enrichment on chemical properties of MSW compost *Bioresource Technology*, 2010.
- 36) Kowaljow, E. Mazzarino, M.J. Soil restoration in semiarid Patagonia: Chemical and biological response to different compost quality. *Soil Biology and Biochemistry*, 2007.

- 37) Lal, R.J. Kimble, J.M. and Stewart, B.A. Toward soil management for mitigating the greenhouse effect. Soil management and greenhouse effect. *Advances in Soil Science*, CRC Press, Boca Raton, FL. 1995.
- 38) Lax, A. and Diaz, E. and Castillo, V. and Albaladejo, J. Reclamation of Physical and Chemical Properties of a Salinized Soil by Organic Amendment. *Arid Soil Rehabilitation*. 1994.
- 39) Madrid, F. López, and R. Cabrera, F. Metal accumulation in soil after application of municipal solid waste compost under intensive farming conditions, *Agriculture, ecosystems & Environment*, 2007.
- 40) Marqués, M.J. y Bienes, R. Perspectivas de la degradación del suelo. I simposio nacional Instituto Madrileño de Investigación Agraria y Alimentaria.CEDS. Madrid, 2003.
- 41) Mason, I.G. Oberender, A. Brooking, A.K. Source separation and potential re-use of resource residuals at a university campus *Resources, Conservation and recycling*, 2004.
- 42) Ministerio de Agricultura, España. Orden ministerial del 5 de diciembre de 1975
- 43) Moldes, A. Cendón, Y. y Barral, M.T. Evaluation of municipal solid waste compost as a plant growing media component, by applying mixture design. *Scimedirect*, 2007.
- 44) Mylavarapu, R.S. and Zinati, G.M. Improvement of soil properties using compost for optimum parsley production in sandy soils. *Scientia Horticulturae*, 2009.

- 45) Nuñez Fernández, O. Aplicación de un procedimiento experimental basado en la calorimetría y el análisis térmico para el estudio de la productividad y sostenibilidad en suelos. Tesis Doctoral. España, 2011.
- 46) Ohsowski, B.M. Klironomos, J. N. Dunfield, K.E. Hart, M.M. The potential of soil amendments for restoring severely disturbed grasslands. *Applied Soil Ecology*, 2012.
- 47) Pinamonti, F. Stringari, G. Gasperi, F. Zorzi, G. The use of compost: its effects on heavy metal levels in soil and plants *Resources, Conservation and Recycling*, 1997.
- 48) Ponce-Hernandez, R. Assessing the carbon stock and carbon sequestration potential of current and potential land use systems and the economic rationality of land use conversions. Prevention of land degradation, enhancement of carbon sequestration and conservation of biodiversity through land use change and sustainable land management with a focus on Latin America and the Caribbean. *World Soil Resources Report*. FAO, Rome. 1999.
- 49) Raja, D. Antil, R.S. Evaluation of maturity and stability parameters of composts prepared from agro-industrial wastes. *Bioresource Technology*, 2011.
- 50) Richard, T.L. *Municipal solid waste composting: Physical and biological processing*, Biomass and Bioenergy, 1992.
- 51) Ros, M. Hernandez, M.T. and Garcia, C. Soil microbial activity after restoration of a semiarid soil by organic amendments. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003.
- 52) Scheyer, J.M., and Hipple, K.W. *Urban Soil Primer*. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, 2005 (<http://soils.usda.gov/use>).

53) Shiralipour, A, Mcconnell D.B and Smith W.H. Physical and chemical properties of soil as affected by municipal solid waste compost application, Biomass and Bioenergy, 1992.

54) Smith, S.R. A critical review of the bioavailability and impacts of heavy metals in municipal solid waste composts compared to sewage sludge. Environment International, January 2009.

55) Soil Conservation Service U.S.D.A. Investigación de Suelos. Métodos de Laboratorio y Procedimientos para Recoger Muestras. Ed. Trillas. México. (1973).

56) Soliva, M. y López, M. Calidad del compost: influencia del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso. Formación de técnicos para el tratamiento y gestión de lodos de depuradora, 2004.

57) Stocking, M and Albadalejo, J. Refuse isn't rubbish, Ambio, 1994.

58) Tudela, M.L. Montaner, E. y Montaner, C. Murcia, una región al borde del mediterráneo, Univ. de Murcia, 2002.

59) Victoria Jumilla, F. El cambio climático en la región de Murcia. Evidencias, impactos e iniciativas para la adaptación. [http://www.rsco2.es/pdfs/orcc/seminarios/conferencia\\_paco\\_victoria.pdf](http://www.rsco2.es/pdfs/orcc/seminarios/conferencia_paco_victoria.pdf)

60) Warman, P.R. Burnham, J.C. and Eaton, L.J. Effects of repeated applications of municipal solid waste compost and fertilizers to three lowbush blueberry fields, Scientia Horticulturae, 2009.

61) Warman, P.R. Rodd, A.V. and Hicklenton, P. The effect of MSW compost and fertilizer on extractable soil elements and the growth of winter squash in Nova Scotia. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2009.

62) Yu-Yang Long, Dong-Sheng Shen, Hong-Tao Wang, Wen-Jing Lu, Yan Zhao. Heavy metal source analysis in municipal solid waste (MSW): Case study on Cu and Zn. Journal of Hazardous Materials, 2011.

63) Zucconi, F. De bertoldi, M. Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste. Compost: production, quality and use. Elsevier applied science publishers, 1987.

64) <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/wsrr96s.pdf>

65) <http://cdigital.udem.edu.co/tesis/cd-rom21172006/08.capitulo4.pdf>

66) <http://climaticocambio.com/la-peninsula-iberica-sera-una-de-las-regiones-mas-afectadas-por-el-cambio-climatico>

67) [http://es.wikipedia.org/wiki/erosi%C3%B3n\\_h%C3%A1drica](http://es.wikipedia.org/wiki/erosi%C3%B3n_h%C3%A1drica)

68)

<http://europa.eu/rapid/pressreleasesaction.do?reference=stat/11/37&format=html>

69) <http://www.asufrar.com.ar/pdf/hierro.pdf>

70) <http://www.boe.es/boe/dias/1998/04/22/pdfs/a13372-13384.pdf>

71) <http://www.boe.es/boe/dias/2011/07/29/pdfs/boe-a-2011-13046.pdf>

72) <http://www.ciclodelcarbono.com/>

73) <http://www.eea.europa.eu/es/publications/92-828-3351-8/7es.pdf>

74) <http://www.gipuzkoa.net/incineradora/incineradorasaustralia.pdf>

75) <http://www.greenpeace.org/raw/content/espana/reports/la-situacion-de-las-basuras-en-2.pdf>

76) <http://www.infoagro.com/abonos/compostaje.htm>

77) [http://www.isel.org/cuadernos\\_e/articulos/y\\_alarcon.htm](http://www.isel.org/cuadernos_e/articulos/y_alarcon.htm)

78) [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr\\_sp.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf)

79)

[http://www.magrama.gob.es/es/ministerio/servicios/publicaciones/II.D.\\_Gesti%C3%B3n\\_de\\_residuos\\_tcm7-213208.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/ministerio/servicios/publicaciones/II.D._Gesti%C3%B3n_de_residuos_tcm7-213208.pdf)

80) <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/04/02/62776>

81) <http://www.portalplanetasedna.com.ar/seveso.htm>

82) <http://www.tecnun.es/asignaturas/ecologia/hipertexto/04ecosis/131cicc.htm>



## **7. ANEXOS**

---



## 7.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

### Subconjuntos homogéneos

#### EA

HSD de Tukey

Muestras	N	Subconjunto para alfa = .05	
		2	1
1,00	6	27,8783	
2,00	6	31,4933	
4,00	6		46,6133
5,00	6		47,0400
3,00	6		47,9667
Sig.		,657	,986

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 6,000.

#### CN

HSD de Tukey

Muestras	N	Subconjunto para alfa = .05	
		2	1
5,00	6	7,7600	
4,00	6	8,1733	8,1733
3,00	6	8,2233	8,2233
2,00	6	8,8933	8,8933
1,00	6		9,8850
Sig.		,325	,051

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 6,000.

#### pFtercio

HSD de Tukey

Muestras	N	Subconjunto para alfa = .05		
		2	3	1
1,00	6	20,8350		
2,00	6		23,0233	
4,00	6		23,2000	
5,00	6		24,4883	24,4883
3,00	6			25,3133
Sig.		1,000	,115	,617

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 6,000.

**pFquince**

HSD de Tukey

Muestras	N	Subconjunto para alfa = .05			
		2	3	4	1
1,00	6	10,0400			
2,00	6	11,6667	11,6667		
3,00	6		13,1200	13,1200	
4,00	6			13,7767	13,7767
5,00	6				15,6317
Sig.		,146	,231	,865	,075

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 6,000.

**Conduc**

HSD de Tukey

Muestras	N	Subconjunto para alfa = .05	
		2	1
1,00	6	,7172	
4,00	6	,8738	,8738
2,00	6	,9028	,9028
3,00	6		1,0628
5,00	6		1,1092
Sig.		,288	,110

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 6,000.

**Fosforo**

HSD de Tukey

Muestras	N	Subconjunto para alfa = .05		
		2	3	1
1,00	6	,0300		
2,00	6	,0633		
3,00	6		,1100	
4,00	6		,1217	
5,00	6			,1767
Sig.		,101	,891	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 6,000.

**Na**

HSD de Tukey

Muestras	N	Subconjunto para alfa = .05	
		1	
4,00	6	,1750	
3,00	6	,2183	
5,00	6	,2833	
2,00	6	,3033	
1,00	6	,3100	
Sig.		,174	

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 6,000.

**K**

HSD de Tukey

Muestras	N	Subconjunto para alfa = .05	
		1	
1,00	6	,8967	
3,00	6	,9083	
4,00	6	,9183	
5,00	6	,9267	
2,00	6	,9267	
Sig.		,772	

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 6,000.

**Ca**

HSD de Tukey

Muestras	N	Subconjunto para alfa = .05	
		2	1
4,00	6	8,9350	
1,00	6	9,0833	
5,00	6	9,9183	
2,00	6	10,5583	
3,00	6		14,5017
Sig.		,064	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 6,000.

**Mg**

HSD de Tukey

Muestras	N	Subconjunto para alfa = .05	
		2	1
5,00	6	2,3717	
4,00	6	2,7617	
1,00	6	3,0400	3,0400
2,00	6	3,1133	3,1133
3,00	6		3,7133
Sig.		,076	,126

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 6,000.

**Cd**

HSD de Tukey

Muestras	N	Subconjunto para alfa = .05	
		2	1
1,00	6	,0000	
2,00	6	,0000	
3,00	6	,0000	
4,00	6	,0000	
5,00	6		,3417
Sig.		1,000	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 6,000.

**Pb**

HSD de Tukey

Muestras	N	Subconjunto para alfa = .05			
		2	3	4	1
1,00	6	7,8233			
2,00	6	8,7167	8,7167		
3,00	6		10,8433	10,8433	
4,00	6			13,3300	
5,00	6				16,7033
Sig.		,834	,128	,054	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 6,000.

**Zn**

HSD de Tukey

Muestras	N	Subconjunto para alfa = .05			
		2	3	4	1
1,00	6	15,9617			
2,00	6	24,7167	24,7167		
3,00	6		44,7283		
4,00	6			76,4817	
5,00	6				115,6900
Sig.		,856	,188	1,000	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
 a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 6,000.

**Ni**

HSD de Tukey

Muestras	N	Subconjunto para alfa = .05	
		2	1
1,00	6	16,1850	
2,00	6	16,7167	
3,00	6	16,9967	
4,00	6		19,8383
5,00	6		21,5367
Sig.		,671	,067

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
 a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 6,000.

**Cr**

HSD de Tukey

Muestras	N	Subconjunto para alfa = .05		
		2	3	1
3,00	6	30,2533		
1,00	6	30,3100		
2,00	6	30,7367		
4,00	6		37,2300	
5,00	6			41,1833
Sig.		,995	1,000	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
 a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 6,000.

**N**

HSD de Tukey

Muestras	N	Subconjunto para alfa = .05		
		2	3	1
1,00	6	,1117		
4,00	6		,2450	
2,00	6		,2717	
5,00	6		,3617	
3,00	6			,5350
Sig.		1,000	,075	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 6,000.

**C**

HSD de Tukey

Muestras	N	Subconjunto para alfa = .05		
		2	3	1
1,00	6	7,1750		
4,00	6		8,2167	
2,00	6		8,3800	
5,00	6		8,6967	
3,00	6			10,1300
Sig.		1,000	,613	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 6,000.

**Corg**

HSD de Tukey

Muestras	N	Subconjunto para alfa = .05		
		2	3	1
1,00	6	1,0967		
4,00	6	1,9250	1,9250	
2,00	6		2,4033	
5,00	6		2,8033	
3,00	6			4,3283
Sig.		,081	,057	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 6,000.

**RelaCN**

HSD de Tukey

Muestras	N	Subconjunto para alfa = .05	
		2	1
5,00	6	7,7600	
4,00	6	8,1733	8,1733
3,00	6	8,2233	8,2233
2,00	6	8,8933	8,8933
1,00	6		9,8850
Sig.		,325	,051

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 6,000.

**pH**

HSD de Tukey

Muestras	N	Subconjunto para alfa = .05	
		2	1
4,00	6	8,4450	
5,00	6	8,4833	
2,00	6	8,5850	8,5850
1,00	6	8,6367	8,6367
3,00	6		8,7250
Sig.		,109	,358

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 6,000.

**B**

HSD de Tukey

Muestras	N	Subconjunto para alfa = .05	
		2	1
3,00	6	,0917	
2,00	6	,0967	
1,00	6	,0983	,0983
4,00	6	,1000	,1000
5,00	6		,1067
Sig.		,123	,123

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 6,000.

**S**

HSD de Tukey

Muestras	N	Subconjunto para alfa = .05		
		2	3	1
1,00	6	1,5767		
4,00	6	1,6467		
2,00	6	1,7867	1,7867	
5,00	6		2,0283	
3,00	6			2,4633
Sig.		,338	,213	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 6,000.

**Cu**

HSD de Tukey

Muestras	N	Subconjunto para alfa = .05	
		2	1
3,00	6	,0000	
2,00	6	,0017	
1,00	6	,0067	
4,00	6		,0200
5,00	6		,0267
Sig.		,132	,132

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 6,000.

**Fe**

HSD de Tukey

Muestras	N	Subconjunto para alfa = .05		
		2	3	1
1,00	6	,0583		
2,00	6	,1283		
3,00	6		,2367	
4,00	6		,2550	
5,00	6			,3933
Sig.		,058	,942	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 6,000.

**Mn**

HSD de Tukey

Muestras	N	Subconjunto para alfa = .05	
		2	1
1,00	6	,0667	
5,00	6	,0667	
4,00	6	,0717	
2,00	6	,0733	,0733
3,00	6		,0917
Sig.		,841	,064

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
a Usa el tamaño muestral de la media armónica = 6,000.

## 7.2 NUTRIENTES Y C ORGÁNICO

### 7.2.1 C orgánico y Nitrógeno

MUESTRA	N (g/100g)	C (g/100g)	Corg (g/100g)
CONTROL	0,12	7,19	1,30
CONTROL	0,13	7,37	1,05
CONTROL	0,12	7,17	1,13
CONTROL	0,10	7,32	1,00
CONTROL	0,09	6,93	0,94
CONTROL	0,11	7,07	1,16
CCB	0,27	8,43	2,19
CCB	0,23	7,94	2,03
CCB	0,25	8,33	2,37
CCB	0,34	8,96	3,14
CCB	0,14	7,29	1,23
CCB	0,40	9,33	3,46
CCA	0,54	10,40	4,53
CCA	0,53	10,00	4,41
CCA	0,47	9,51	3,85
CCA	0,56	10,50	4,85
CCA	0,71	11,30	4,84
CCA	0,40	9,07	3,49
CMB	0,19	7,85	1,77
CMB	0,19	7,92	1,71
CMB	0,22	7,84	1,75
CMB	0,21	8,30	1,89
CMB	0,33	8,58	1,68
CMB	0,33	8,81	2,75
CMA	0,34	9,08	3,12
CMA	0,30	8,16	2,48
CMA	0,44	9,59	3,60
CMA	0,42	8,86	2,91
CMA	0,30	8,11	2,13
CMA	0,37	8,38	2,58

### 7.2.2 Cationes asimilables

MUESTRA	Al (mg/L)	As (mg/L)	Be (mg/L)	Bi (mg/L)	B (mg/L)	Ca (mg/L)	Cd (mg/L)	Co (mg/L)	Cr (mg/L)	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	K (mg/L)	Li (mg/L)
Blanco-CC	<0,01	0,01	<0,01	0,98	0,09	0,03	<0,01	<0,01	0,01	0,01	0,12	0,57	<0,01
CONTROL	0,07	0,01	<0,01	0,90	0,10	92,26	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,06	32,92	0,01
CONTROL	0,08	0,01	<0,01	0,89	0,10	87,16	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,06	28,78	0,01
CONTROL	0,06	0,01	<0,01	0,88	0,10	90,03	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,05	28,27	0,01
CONTROL	0,07	0,01	<0,01	0,87	0,09	91,70	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,05	30,06	0,01
CONTROL	0,08	0,01	<0,01	0,87	0,10	87,57	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,06	26,05	0,01
CONTROL	0,09	0,01	<0,01	0,86	0,10	96,22	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,07	29,12	0,01
CCB	0,09	0,01	<0,01	0,85	0,10	121,50	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,15	30,23	0,01
CCB	0,04	0,01	<0,01	0,85	0,10	97,40	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,10	57,42	0,01
CCB	0,06	0,01	<0,01	0,84	0,09	114,70	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,14	28,80	0,01
CCB	0,07	0,01	<0,01	0,86	0,10	103,80	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,12	42,82	0,01
CCB	0,10	0,01	<0,01	0,85	0,09	98,10	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,13	21,57	0,01
CCB	0,12	0,01	<0,01	0,86	0,10	97,96	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,13	43,77	0,01
CCA	0,06	0,01	<0,01	0,84	0,09	126,20	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,18	39,67	0,01
CCA	0,07	0,01	<0,01	0,82	0,09	138,70	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,21	47,50	0,01
CCA	0,08	<0,01	<0,01	0,81	0,09	166,40	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,27	34,65	0,01
CCA	0,07	<0,01	<0,01	0,83	0,10	127,20	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,17	51,80	0,01
CCA	0,10	0,01	<0,01	0,83	0,10	148,70	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,25	44,18	0,01
CCA	0,13	0,01	<0,01	0,82	0,08	162,90	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,34	18,09	0,01
CMB	0,11	<0,01	<0,01	0,85	0,09	99,65	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,23	26,85	0,01
CMB	0,11	0,01	<0,01	0,84	0,10	91,19	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,28	41,98	0,01
CMB	0,10	0,01	<0,01	0,85	0,11	88,03	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,22	41,12	0,01
CMB	0,13	<0,01	<0,01	0,85	0,10	89,51	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,35	40,14	0,01
CMB	0,12	0,01	<0,01	0,84	0,10	83,80	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,22	33,50	0,01
CMB	0,13	0,01	<0,01	0,85	0,10	83,92	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,23	34,07	0,01
CMA	0,18	0,01	<0,01	0,84	0,11	108,80	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	0,43	54,86	0,01
CMA	0,16	0,01	<0,01	0,84	0,11	105,70	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	0,43	53,22	0,01
CMA	0,14	0,01	<0,01	0,84	0,11	99,76	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,38	37,72	0,02
CMA	0,12	0,01	<0,01	0,85	0,10	94,75	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,32	41,00	0,01
CMA	0,12	0,01	<0,01	0,87	0,10	92,10	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,38	35,38	0,01
CMA	0,17	0,01	<0,01	0,85	0,11	93,94	<0,01	<0,01	<0,01	0,04	0,42	37,26	0,01

Mg (mg/L)	Mn (mg/L)	Mo (mg/L)	Na (mg/L)	Ni (mg/L)	Pb (mg/L)	P (mg/L)	Sb (mg/L)	Se (mg/L)	S (mg/L)	Sr (mg/L)	Ti (mg/L)	TI (mg/L)	V (mg/L)	Zn (mg/L)
<0,1	<0,01	<0,01	0,86	<0,01	0,02	1,42	<0,01	0,01	0,20	0,72	<0,01	0,39	<0,01	<0,01
19,67	0,07	<0,01	3,77	<0,01	0,01	1,26	<0,01	0,01	1,70	1,92	<0,01	0,41	0,03	<0,01
19,80	0,07	<0,01	3,41	<0,01	0,01	1,23	<0,01	0,01	1,57	1,95	<0,01	0,39	0,03	<0,01
17,34	0,06	<0,01	3,52	<0,01	0,01	1,19	<0,01	0,01	1,69	1,90	<0,01	0,38	0,02	<0,01
15,90	0,06	<0,01	3,34	<0,01	0,01	1,18	<0,01	0,01	1,53	1,86	<0,01	0,38	0,02	<0,01
19,26	0,07	<0,01	2,98	<0,01	0,01	1,20	<0,01	0,01	1,36	1,97	<0,01	0,39	0,03	<0,01
17,45	0,07	<0,01	4,29	<0,01	0,01	1,19	<0,01	0,01	1,61	1,87	<0,01	0,38	0,02	<0,01
24,42	0,09	<0,01	3,29	<0,01	0,01	1,24	<0,01	0,01	1,93	2,19	<0,01	0,39	0,04	<0,01
18,33	0,07	<0,01	5,36	<0,01	0,01	1,23	<0,01	0,01	1,94	1,77	<0,01	0,38	0,03	<0,01
21,69	0,09	<0,01	2,15	<0,01	0,01	1,17	<0,01	0,01	1,65	2,07	<0,01	0,39	0,03	<0,01
19,48	0,08	<0,01	2,85	<0,01	0,01	1,19	<0,01	0,01	1,88	1,88	<0,01	0,39	0,03	<0,01
15,16	0,06	<0,01	2,35	<0,01	0,01	1,17	<0,01	0,01	1,56	1,86	<0,01	0,37	0,03	<0,01
12,88	0,05	<0,01	4,79	<0,01	0,01	1,19	<0,01	0,01	1,76	1,73	<0,01	0,36	0,02	<0,01
18,69	0,08	<0,01	2,02	<0,01	0,01	1,20	<0,01	0,01	2,08	1,90	<0,01	0,38	0,04	<0,01
23,00	0,09	<0,01	3,33	<0,01	0,01	1,20	<0,01	0,01	2,61	2,11	<0,01	0,38	0,04	<0,01
24,96	0,10	<0,01	2,34	<0,01	0,01	1,17	<0,01	0,01	2,74	2,35	<0,01	0,39	0,04	<0,01
17,34	0,07	<0,01	1,94	<0,01	0,01	1,22	<0,01	0,01	2,10	1,89	<0,01	0,37	0,03	<0,01
24,03	0,10	<0,01	3,71	<0,01	0,01	1,18	<0,01	0,01	2,73	2,23	<0,01	0,39	0,04	<0,01
25,63	0,11	<0,01	1,78	<0,01	0,01	1,14	<0,01	0,01	2,52	2,36	<0,01	0,40	0,04	<0,01
16,51	0,07	<0,01	1,86	<0,01	0,01	1,33	<0,01	0,01	1,78	2,04	<0,01	0,38	0,03	<0,01
17,04	0,07	<0,01	1,95	<0,01	0,01	1,37	<0,01	0,01	1,73	1,91	<0,01	0,37	0,03	<0,01
15,70	0,07	<0,01	2,70	<0,01	0,01	1,35	<0,01	0,01	1,67	1,81	<0,01	0,37	0,03	<0,01
19,31	0,08	<0,01	2,03	<0,01	0,01	1,37	<0,01	0,01	1,54	2,00	<0,01	0,39	0,03	<0,01
15,56	0,07	<0,01	1,72	<0,01	0,01	1,29	<0,01	0,01	1,52	1,81	<0,01	0,37	0,02	<0,01
15,31	0,07	<0,01	1,80	<0,01	0,01	1,34	<0,01	0,01	1,64	1,75	<0,01	0,37	0,02	<0,01
12,58	0,06	<0,01	7,21	<0,01	0,01	1,32	<0,01	0,01	2,26	1,89	<0,01	0,35	0,02	<0,01
14,88	0,07	<0,01	2,24	<0,01	0,01	1,37	<0,01	0,01	2,30	1,98	<0,01	0,37	0,02	<0,01
10,62	0,05	<0,01	2,11	<0,01	0,01	1,32	<0,01	0,01	1,92	1,78	<0,01	0,36	0,02	<0,01
17,26	0,08	<0,01	2,19	<0,01	0,01	1,36	<0,01	0,01	1,97	1,97	<0,01	0,38	0,03	<0,01
14,94	0,07	<0,01	2,50	<0,01	0,01	1,40	<0,01	0,01	1,85	1,91	<0,01	0,38	0,02	<0,01
15,07	0,07	<0,01	3,29	<0,01	0,01	1,31	<0,01	0,01	1,87	1,83	<0,01	0,37	0,02	<0,01

IDENTIFICACIÓN MUESTRA	meq/100g de suelo			
	Na	K	Ca	Mg
CONTROL	0,33	1,69	9,23	3,28
CONTROL	0,30	1,48	8,72	3,30
CONTROL	0,31	1,45	9,00	2,89
CONTROL	0,29	1,54	9,17	2,65
CONTROL	0,26	1,34	8,76	3,21
CONTROL	0,37	1,49	9,62	2,91
CCB	0,29	1,55	12,15	4,07
CCB	0,47	2,94	9,74	3,06
CCB	0,19	1,48	11,47	3,62
CCB	0,25	2,20	10,38	3,25
CCB	0,20	1,11	9,81	2,53
CCB	0,42	2,24	9,80	2,15
CCA	0,18	2,03	12,62	3,12
CCA	0,29	2,44	13,87	3,83
CCA	0,20	1,78	16,64	4,16
CCA	0,17	2,66	12,72	2,89
CCA	0,32	2,27	14,87	4,01
CCA	0,15	0,93	16,29	4,27
CMB	0,16	1,38	9,97	2,75
CMB	0,17	2,15	9,12	2,84
CMB	0,23	2,11	8,80	2,62
CMB	0,18	2,06	8,95	3,22
CMB	0,15	1,72	8,38	2,59
CMB	0,16	1,75	8,39	2,55
CMA	0,63	2,81	10,88	2,10
CMA	0,19	2,73	10,57	2,48
CMA	0,18	1,93	9,98	1,77
CMA	0,19	2,10	9,48	2,88
CMA	0,22	1,81	9,21	2,49
CMA	0,29	1,91	9,39	2,51

### 7.2.3 P asimilable

MUESTRA	Al (mg/L)	As (mg/L)	Be (mg/L)	Bi (mg/L)	B (mg/L)	Ca (mg/L)	Cd (mg/L)	Co (mg/L)	Cr (mg/L)	Cu (mg/L)	Fe (mg/L)	K (mg/L)	Li (mg/L)
P-Blanco1	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,06	0,32	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	<0,01	5,45	0,01
CONTROL	0,02	0,01	<0,01	<0,01	0,06	3,99	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,03	33,35	0,02
CONTROL	0,03	0,01	<0,01	<0,01	0,08	3,71	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	0,04	31,81	0,03
CONTROL	0,02	0,01	<0,01	<0,01	0,07	3,78	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,01	29,09	0,02
CONTROL	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,07	4,00	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,01	31,73	0,01
CONTROL	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,07	4,73	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,01	27,82	0,01
CONTROL	0,02	0,01	<0,01	<0,01	0,08	6,22	<0,01	<0,01	<0,01	0,04	0,34	44,83	0,02
CCB	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	0,07	6,29	<0,01	<0,01	<0,01	0,04	0,29	31,28	0,01
CCB	0,05	0,01	<0,01	<0,01	0,08	6,57	<0,01	<0,01	<0,01	0,04	0,36	59,13	0,01
CCB	0,03	0,01	<0,01	<0,01	0,07	7,43	<0,01	<0,01	<0,01	0,05	0,48	31,60	0,01
CCB	0,03	0,01	<0,01	<0,01	0,08	3,43	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,03	31,72	0,01
CCB	0,00	0,01	<0,01	<0,01	0,06	4,34	<0,01	<0,01	<0,01	0,04	0,14	23,27	0,01
CCB	0,04	0,01	<0,01	<0,01	0,08	5,09	<0,01	<0,01	<0,01	0,04	0,33	43,64	0,01
CCA	0,04	0,01	<0,01	<0,01	0,07	7,04	<0,01	<0,01	<0,01	0,05	0,57	39,88	0,01
CCA	0,07	0,01	<0,01	<0,01	0,08	7,12	<0,01	<0,01	<0,01	0,06	0,93	47,58	0,01
CCA	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,07	6,14	<0,01	<0,01	<0,01	0,05	0,47	34,80	0,01
CCA	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,07	5,42	<0,01	<0,01	<0,01	0,07	0,17	42,28	0,01
CCA	0,02	0,01	<0,01	<0,01	0,07	5,21	<0,01	<0,01	<0,01	0,05	0,13	28,84	0,01
CCA	0,11	0,01	<0,01	<0,01	0,08	7,82	<0,01	<0,01	<0,01	0,17	2,40	21,20	0,01
CMB	0,05	0,01	<0,01	<0,01	0,08	6,62	<0,01	<0,01	<0,01	0,07	1,18	40,45	0,01
CMB	0,07	0,01	<0,01	<0,01	0,08	6,35	<0,01	<0,01	<0,01	0,05	0,65	51,16	0,01
CMB	0,02	0,01	<0,01	<0,01	0,08	5,20	<0,01	<0,01	<0,01	0,06	0,17	42,42	0,01
CMB	0,01	0,01	<0,01	<0,01	0,07	4,64	<0,01	<0,01	<0,01	0,06	0,13	40,87	0,01
CMB	0,03	0,01	<0,01	<0,01	0,07	4,83	<0,01	<0,01	<0,01	0,05	0,14	34,46	0,01
CMB	0,02	0,01	<0,01	<0,01	0,07	5,10	<0,01	<0,01	<0,01	0,05	0,10	34,13	0,01
CMA	0,06	0,01	<0,01	<0,01	0,09	5,07	<0,01	<0,01	<0,01	0,11	0,32	50,72	0,01
CMA	0,03	0,01	<0,01	<0,01	0,08	4,98	<0,01	<0,01	<0,01	0,09	0,26	37,47	0,01
CMA	0,03	0,01	<0,01	<0,01	0,08	4,90	<0,01	<0,01	<0,01	0,08	0,22	35,43	0,01
CMA	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,08	4,97	<0,01	<0,01	<0,01	0,07	0,20	39,82	0,01
CMA	0,03	<0,01	<0,01	<0,01	0,09	4,45	<0,01	<0,01	<0,01	0,08	0,19	38,76	0,01
CMA	0,03	0,01	<0,01	<0,01	0,09	4,72	<0,01	<0,01	<0,01	0,11	0,27	52,72	0,01

Mg (mg/L)	Mn (mg/L)	Mo (mg/L)	Na (mg/L)	Ni (mg/L)	Pb (mg/L)	P (mg/L)	Sb (mg/L)	Se (mg/L)	S (mg/L)	Sr (mg/L)	Ti (mg/L)	TI (mg/L)	V (mg/L)	Zn (mg/L)
0,17	<0,01	<0,01	806,30	<0,01	<0,01	<0,1	<0,01	<0,01	0,23	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
8,90	0,06	<0,01	840,80	<0,01	<0,01	0,76	<0,01	<0,01	1,46	0,15	<0,01	<0,01	0,03	<0,01
8,84	0,07	<0,01	876,10	<0,01	<0,01	1,66	<0,01	0,01	1,77	0,14	<0,01	<0,01	0,05	<0,01
7,63	0,05	<0,01	857,90	<0,01	<0,01	0,65	<0,01	0,01	1,31	0,14	<0,01	<0,01	0,03	<0,01
7,37	0,04	<0,01	845,80	<0,01	<0,01	0,57	<0,01	0,01	1,43	0,15	<0,01	<0,01	0,03	<0,01
8,96	0,07	<0,01	856,70	<0,01	<0,01	1,04	<0,01	0,01	1,26	0,16	<0,01	<0,01	0,03	<0,01
9,33	0,06	<0,01	856,10	0,01	<0,01	1,41	<0,01	<0,01	3,05	0,15	0,01	<0,01	0,04	<0,01
9,53	0,06	<0,01	844,30	0,01	<0,01	1,28	<0,01	<0,01	1,72	0,16	0,01	<0,01	0,04	<0,01
9,02	0,07	<0,01	843,10	0,01	<0,01	1,95	<0,01	0,01	4,51	0,16	0,01	<0,01	0,04	0,01
10,91	0,07	<0,01	868,40	0,01	<0,01	2,13	<0,01	<0,01	3,05	0,17	0,01	<0,01	0,05	0,01
7,48	0,07	<0,01	861,70	<0,01	<0,01	1,89	<0,01	<0,01	3,08	0,14	<0,01	<0,01	0,04	<0,01
6,31	0,04	<0,01	881,90	0,01	<0,01	1,51	<0,01	0,01	1,71	0,12	<0,01	<0,01	0,03	<0,01
5,78	0,04	<0,01	846,30	0,01	<0,01	1,32	<0,01	<0,01	2,67	0,13	0,01	<0,01	0,04	<0,01
7,66	0,06	<0,01	866,30	0,01	<0,01	2,24	<0,01	<0,01	3,04	0,14	0,01	<0,01	0,05	0,02
9,79	0,07	<0,01	868,80	0,01	<0,01	3,03	<0,01	<0,01	4,72	0,15	0,01	<0,01	0,06	0,03
8,20	0,06	<0,01	880,60	0,01	<0,01	2,23	<0,01	0,01	3,07	0,13	0,01	<0,01	0,04	0,02
7,55	0,05	<0,01	889,60	0,01	<0,01	5,28	<0,01	<0,01	3,83	0,13	0,01	<0,01	0,03	<0,01
6,83	0,05	<0,01	841,30	0,01	<0,01	3,79	<0,01	<0,01	2,23	0,13	<0,01	<0,01	0,03	<0,01
9,72	0,23	<0,01	896,10	0,02	<0,01	5,85	<0,01	0,01	7,14	0,17	0,03	<0,01	0,09	0,13
9,11	0,08	<0,01	860,70	0,02	<0,01	2,49	<0,01	<0,01	4,68	0,14	0,01	<0,01	0,06	0,03
7,13	0,06	<0,01	842,70	0,01	<0,01	2,66	<0,01	0,01	3,39	0,13	0,01	<0,01	0,05	0,02
7,06	0,05	<0,01	839,40	0,01	<0,01	5,37	<0,01	0,01	3,11	0,13	0,01	<0,01	0,03	<0,01
8,47	0,06	<0,01	820,60	0,01	<0,01	4,68	<0,01	<0,01	2,63	0,12	<0,01	<0,01	0,03	<0,01
7,14	0,05	<0,01	828,50	0,01	<0,01	4,68	<0,01	0,01	2,82	0,13	0,01	<0,01	0,03	<0,01
6,78	0,05	<0,01	830,40	0,01	<0,01	4,21	<0,01	<0,01	3,10	0,12	<0,01	<0,01	0,02	<0,01
4,64	0,04	<0,01	820,50	0,01	<0,01	7,34	<0,01	<0,01	6,04	0,09	0,01	<0,01	0,02	<0,01
6,25	0,05	<0,01	855,00	0,01	<0,01	6,38	<0,01	0,01	5,33	0,10	0,01	<0,01	0,02	<0,01
6,34	0,05	<0,01	825,30	0,01	<0,01	5,97	<0,01	0,01	4,36	0,11	0,01	<0,01	0,02	<0,01
7,25	0,06	<0,01	827,60	0,01	<0,01	5,93	<0,01	0,01	4,67	0,12	0,01	<0,01	0,03	<0,01
4,28	0,03	<0,01	813,10	0,01	<0,01	5,15	<0,01	<0,01	4,64	0,09	0,01	<0,01	0,02	<0,01
5,97	0,04	<0,01	818,40	0,01	<0,01	7,05	<0,01	0,01	5,70	0,10	0,01	<0,01	0,02	<0,01

## 7.3 PARÁMETROS FÍSICOS Y FÍSICO-QUÍMICOS

### 7.3.1 pH y Conductividad Eléctrica

MUESTRAS	pH	CE	MUESTRAS	pH	CE	MUESTRAS	pH	CE
CONTROL	8,71	0,66	CCB	8,80	0,79	CMB	8,52	0,72
CONTROL	8,79	0,69	CCB	8,72	1,38	CMB	8,48	1,08
CONTROL	8,71	0,68	CCB	8,50	0,66	CMB	8,58	0,79
CONTROL	8,52	0,72	CCB	8,55	0,98	CMB	8,36	1,00
CONTROL	8,47	0,66	CCB	8,38	0,68	CMB	8,29	0,78
CONTROL	8,62	0,90	CCB	8,56	0,93	CMB	8,44	0,86
			CCA	8,85	0,97	CMA	8,41	1,19
			CCA	8,46	1,28	CMA	8,58	1,2
			CCA	8,89	0,98	CMA	8,58	0,95
			CCA	8,81	1,04	CMA	8,37	1,22
			CCA	8,70	1,08	CMA	8,42	0,95
			CCA	8,64	1,03	CMA	8,54	1,14

## 7.3.2 Estabilidad de Agregados

CONTROL	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Estabi. Agregados
6235	23.61	20.92	29.48	24.67 %
6236	32.43	32.50	24.51	29.81 %
6237	28.61	38.39	30.84	32.61 %
6238	22.03	29.26	34.08	28.46 %
6239	32.36	23.51	18.70	24.86 %
6240	28.46	29.07	23.04	26.86 %
				27.88 %

CCB	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Estabi. Agregados
6241	36.18	23.30	24.14	27.87 %
6242	49.10	30.45	34.63	38.06 %
6243	33.55	40.12	24.93	32.87 %
6244	24.01	31.66	22.12	25.93 %
6245	25.56	35.80	22.70	28.02 %
6246	36.37	33.97	38.29	36.21 %
				31.49 %

CCA	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Estabi. Agregados
6247	42.28	49.56	57.89	49.91 %
6248	43.84	50.15	48.36	47.45 %
6249	48.18	49.53	47.32	48.34 %
6250	43.52	48.94	41.76	44.74 %
6251	50.45	40.98	50.43	47.29 %
6252	48.89	50.06	51.26	50.07 %
				47.96 %

CMB	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Estabi. Agregados
6253	49.11	55.87	57.86	54.28 %
6254	42.77	55.32	52.12	50.07 %
6255	53.29	54.97	39.18	49.15 %
6256	40.12	38.64	39.94	39.57 %
6257	34.93	38.33	46.20	39.82 %
6258	45.71	54.01	40.65	46.79 %
				46.61 %

CMA	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Estabi. Agregados
6259	43.45	44.95	48.23	45.54 %
6260	42.72	36.34	42.5	40.52 %
6261	60.76	51.17	51.00	54.31 %
6262	58.55	52.59	49.20	53.45 %
6263	41.99	43.28	54.42	46.56 %
6264	44.00	40.81	40.77	41.86 %
				47.04 %

## 7.3.3 pF

Muestra	A	B	C	pF 1/3	Muestra	A	B	C	pF 15
CONTROL	46,40	61,09	58,51	21,30	CONTROL	31,57	40,94	40,11	9,72
CONTROL	34,95	48,00	45,74	20,95	CONTROL	36,58	44,14	43,46	9,88
CONTROL	40,88	52,13	50,13	21,62	CONTROL	32,80	45,14	43,94	10,77
CONTROL	40,66	54,86	52,38	21,16	CONTROL	35,75	43,92	43,15	10,41
CONTROL	42,35	56,71	54,27	20,47	CONTROL	34,35	44,25	43,37	9,76
CONTROL	37,70	51,00	48,65	21,46	CONTROL	33,31	45,87	44,75	9,79
CONTROL	41,69	53,16	51,19	20,74	CONTROL	33,50	45,61	44,50	10,09
CONTROL	36,20	49,32	47,12	20,15	CONTROL	35,09	45,68	44,71	10,08
CONTROL	40,16	52,32	50,37	19,10	CONTROL	32,78	42,33	41,45	10,15
CONTROL	40,20	56,38	53,55	21,20	CONTROL	34,27	46,64	45,49	10,25
CONTROL	30,62	45,09	42,57	21,09	CONTROL	35,60	47,43	46,38	9,74
CONTROL	31,30	45,43	43,00	20,77	CONTROL	33,43	45,94	44,82	9,83
CCB	34,62	45,98	43,72	24,84	CCB	62,47	72,36	71,32	11,75
CCB	35,78	49,54	46,85	24,30	CCB	51,68	63,72	62,43	12,00
CCB	33,69	45,51	43,16	24,82	CCB	44,84	57,12	55,86	11,43
CCB	39,86	53,36	50,80	23,40	CCB	48,35	57,41	56,53	10,76
CCB	47,47	59,86	57,50	23,53	CCB	52,81	62,48	61,48	11,53
CCB	43,78	57,05	54,54	23,33	CCB	48,57	60,22	59,10	10,64
CCB	33,74	45,08	42,95	23,13	CCB	51,54	61,76	60,66	12,06
CCB	36,18	49,00	46,58	23,27	CCB	52,29	64,05	62,70	12,97
CCB	45,62	58,70	56,44	20,89	CCB	47,58	59,72	58,48	11,38
CCB	39,98	56,43	53,59	20,87	CCB	50,69	60,71	59,69	11,33
CCB	40,28	55,87	53,06	21,99	CCB	53,62	65,13	63,89	12,07
CCB	37,00	52,19	49,46	21,91	CCB	52,87	60,58	59,75	12,06
CCA	38,03	51,76	49,07	24,37	CCA	55,18	67,22	65,85	12,84
CCA	35,49	51,27	48,13	24,84	CCA	58,11	67,34	66,24	13,53
CCA	42,69	54,65	52,18	26,03	CCA	52,87	63,94	62,66	13,07
CCA	35,40	51,02	47,79	26,07	CCA	50,67	60,51	59,30	14,02
CCA	41,19	55,47	52,58	25,37	CCA	48,32	59,28	57,98	13,46
CCA	42,92	55,18	52,65	26,00	CCA	29,75	39,11	37,98	13,73
CCA	39,72	55,57	52,54	23,63	CCA	65,12	74,10	73,04	13,38
CCA	36,78	48,23	46,08	23,12	CCA	50,88	61,50	60,30	12,74
CCA	45,25	57,26	54,75	26,42	CCA	43,19	55,91	54,38	13,67
CCA	37,15	46,97	44,95	25,90	CCA	54,48	63,98	62,85	13,50
CCA	33,46	46,83	44,07	26,01	CCA	31,46	41,55	40,43	12,49
CCA	38,21	51,40	48,68	25,98	CCA	31,38	43,57	42,36	11,02
CMB	41,24	55,28	52,70	22,51	CMB	32,86	41,87	41,00	10,69
CMB	48,82	61,96	59,54	22,57	CMB	34,05	44,26	43,26	10,86
CMB	35,34	47,90	45,54	23,14	CMB	33,05	44,21	43,04	11,71
CMB	33,16	40,62	39,20	23,51	CMB	33,45	47,95	46,42	11,80
CMB	46,40	61,04	58,28	23,23	CMB	31,57	41,41	40,14	14,82
CMB	34,95	50,52	47,59	23,18	CMB	36,58	51,62	49,78	13,94
CMB	40,88	55,15	52,42	23,66	CMB	32,80	48,66	46,63	14,68
CMB	40,66	55,86	52,93	23,88	CMB	35,75	46,66	45,11	16,56
CMB	42,35	60,59	57,25	22,42	CMB	34,35	50,36	48,33	14,52
CMB	37,70	51,77	49,14	22,99	CMB	33,31	51,22	48,93	14,66
CMB	41,69	54,91	52,38	23,67	CMB	33,50	46,75	45,03	14,92
CMB	36,20	48,59	46,22	23,65	CMB	35,09	46,29	44,73	16,18
CMA	40,16	52,57	50,15	24,22	CMA	32,78	45,60	43,83	16,02
CMA	40,20	53,22	50,71	23,88	CMA	34,27	46,91	45,22	15,43

CMA	30,62	43,63	40,94	26,07	CMA	35,60	51,00	48,97	15,18
CMA	31,30	43,55	40,94	27,07	CMA	33,43	44,95	43,33	16,36
CMA	34,62	49,19	46,43	23,37	CMA	62,47	80,40	78,02	15,31
CMA	35,78	50,90	48,07	23,03	CMA	51,68	65,57	63,55	17,02
CMA	33,69	46,56	44,03	24,47	CMA	44,84	56,37	54,73	16,58
CMA	39,86	52,57	50,01	25,22	CMA	48,35	56,93	57,30	-4,13
CMA	47,47	62,05	59,16	24,72	CMA	52,81	66,62	64,77	15,47
CMA	43,78	56,02	53,60	24,64	CMA	48,57	60,67	58,86	17,59
CMA	33,74	51,41	48,09	23,14	CMA	51,54	63,74	62,20	14,45
CMA	36,18	49,70	47,08	24,04	CMA	52,29	68,08	66,44	11,59

## 7.4 METALES PESADOS

MUESTRA	Al (g/100g)	As (mg/Kg)	Be (mg/Kg)	Bi (mg/Kg)	B (mg/Kg)	Ca (g/100g)	Cd (mg/Kg)	Co (mg/Kg)	Cr (mg/Kg)	Cu (mg/Kg)	Fe (mg/Kg)	K (g/100g)	Li (mg/Kg)
CONTROL	2,62	1,87	0,70	10,53	18,93	17,34	<0,5	<0,5	27,73	15,42	13773,36	0,82	25,04
CONTROL	2,84	2,61	0,80	12,39	21,67	19,71	<0,5	<0,5	30,44	17,42	15515,36	0,92	28,26
CONTROL	2,65	1,94	0,72	11,28	20,74	19,36	<0,5	<0,5	31,52	19,07	15252,66	0,90	27,74
CONTROL	2,72	2,91	0,81	13,45	21,32	20,08	<0,5	<0,5	30,25	17,33	16373,31	0,89	27,67
CONTROL	2,63	1,72	0,71	10,16	19,40	18,08	<0,5	<0,5	30,69	16,35	14395,73	0,92	26,93
CONTROL	2,67	2,44	0,72	10,59	20,78	18,40	<0,5	<0,5	31,23	17,68	15031,57	0,93	27,55
CCB	2,61	2,06	0,70	11,55	21,01	17,86	<0,5	<0,5	31,08	19,67	15206,32	0,91	26,71
CCB	2,69	2,34	0,73	11,97	20,79	18,15	<0,5	<0,5	29,38	17,81	14731,03	0,91	26,27
CCB	3,11	2,28	0,78	13,09	23,53	19,68	<0,5	<0,5	32,99	21,08	16668,35	1,04	29,12
CCB	2,47	2,30	0,68	11,48	20,50	16,88	<0,5	<0,5	28,45	18,30	14125,00	0,89	25,41
CCB	2,70	2,12	0,73	12,44	20,12	17,82	<0,5	<0,5	29,94	19,95	14890,84	0,86	26,37
CCB	2,71	2,58	0,71	11,35	22,70	17,58	<0,5	<0,5	32,58	23,27	14778,66	0,95	27,84
CCA	2,49	2,48	0,79	13,35	23,01	18,26	<0,5	<0,5	31,91	25,28	16422,76	0,96	27,93
CCA	2,85	2,62	0,91	12,27	24,81	17,44	<0,5	<0,5	30,70	24,47	14874,88	0,93	27,62
CCA	2,77	2,41	0,73	11,49	22,43	16,23	<0,5	<0,5	30,26	21,04	14641,51	0,94	25,90
CCA	2,40	2,24	0,73	11,86	22,55	16,65	<0,5	<0,5	30,34	22,55	14604,52	0,93	26,55
CCA	2,43	2,20	0,67	11,08	21,18	15,89	<0,5	<0,5	29,09	32,76	14291,42	0,82	25,57
CCA	2,44	2,50	0,65	11,36	20,86	15,58	<0,5	<0,5	29,22	20,71	14166,67	0,87	24,71
CMB	2,67	2,02	0,68	12,86	21,92	17,77	<0,5	<0,5	37,12	38,85	16687,57	0,90	27,54
CMB	2,81	2,24	0,69	13,16	21,73	17,49	<0,5	<0,5	34,65	35,04	16119,59	0,91	26,25
CMB	2,74	2,36	0,70	13,17	21,89	17,41	<0,5	<0,5	36,06	36,93	16714,71	0,92	27,14
CMB	3,00	2,38	0,77	14,49	22,54	18,69	<0,5	<0,5	36,78	35,05	17650,13	0,94	28,38
CMB	2,57	1,90	0,67	13,45	21,43	17,65	<0,5	<0,5	37,15	53,74	17120,76	0,88	26,15
CMB	2,99	2,73	0,77	15,01	23,64	18,14	<0,5	<0,5	41,62	50,34	18702,11	0,96	27,78
CMA	2,59	2,03	0,63	12,63	22,51	16,96	<0,5	<0,5	38,51	47,09	17317,14	0,91	26,37
CMA	3,00	2,29	0,73	13,76	22,91	17,13	0,33	-12,60	38,91	49,75	17105,13	0,94	27,06
CMA	2,74	1,99	0,70	13,72	23,95	16,90	0,46	-12,76	46,64	61,11	17890,20	0,97	26,78
CMA	2,77	2,31	0,74	15,34	24,35	17,17	0,51	-11,93	41,52	62,29	20450,34	0,94	26,79
CMA	2,85	2,31	0,72	14,17	23,67	17,49	0,30	-11,81	38,12	47,55	17243,71	0,91	27,42
CMA	2,83	2,37	0,73	14,47	23,19	16,88	0,45	-12,47	43,40	57,02	19130,93	0,89	26,43

Mg (g/100g)	Mn (mg/Kg)	Mo (mg/Kg)	Na (g/100g)	Ni (mg/Kg)	Pb (mg/Kg)	P (g/100g)	Sb (mg/Kg)	Se (mg/Kg)	S (g/100g)	Sr (mg/Kg)	Ti (mg/Kg)	Tl (mg/Kg)	V (mg/Kg)	Zn (mg/Kg)
0,86	251,17	<0,5	0,04	15,03	8,02	0,03	<0,5	<0,5	0,22	438,86	194,90	47,98	42,56	14,39
0,94	253,41	<0,5	0,04	15,65	7,35	0,03	<0,5	<0,5	0,23	462,80	215,02	56,09	46,95	18,12
0,96	279,52	<0,5	0,04	16,84	7,87	0,03	<0,5	<0,5	0,25	490,96	268,35	55,00	48,27	20,43
0,96	280,24	<0,5	0,04	16,40	7,65	0,03	<0,5	<0,5	0,24	489,70	217,40	57,72	47,45	17,67
0,91	263,03	<0,5	0,04	16,05	7,35	0,03	<0,5	<0,5	0,24	459,72	283,15	51,72	47,72	9,72
0,95	287,00	<0,5	0,04	17,14	8,70	0,03	<0,5	<0,5	0,24	471,87	293,63	54,48	49,08	15,44
0,95	264,76	<0,5	0,04	17,28	8,92	0,06	<0,5	<0,5	0,26	453,11	286,17	55,23	50,56	22,32
0,91	283,78	<0,5	0,04	15,87	7,90	0,05	<0,5	<0,5	0,26	443,08	236,03	54,02	47,14	18,45
0,99	286,65	<0,5	0,04	17,80	9,43	0,06	<0,5	<0,5	0,28	523,26	298,53	57,31	52,60	24,49
0,90	250,23	<0,5	0,04	16,00	8,09	0,07	<0,5	<0,5	0,26	429,32	245,45	52,39	46,77	23,52
0,92	263,27	<0,5	0,04	16,18	7,77	0,05	<0,5	<0,5	0,25	452,27	238,01	54,15	47,24	23,59
0,96	266,63	<0,5	0,04	17,17	10,19	0,09	<0,5	<0,5	0,29	480,99	304,77	54,51	51,48	35,93
0,99	287,40	<0,5	0,04	18,43	10,49	0,12	<0,5	<0,5	0,31	470,53	267,48	58,43	52,76	41,57
0,95	284,17	2,21	0,04	17,61	11,53	0,11	<0,5	<0,5	0,30	470,89	272,62	52,86	50,14	44,73
0,89	255,19	<0,5	0,04	16,34	10,24	0,09	<0,5	<0,5	0,27	429,01	248,58	51,72	48,87	31,70
0,93	261,53	<0,5	0,04	16,81	11,49	0,13	<0,5	<0,5	0,30	442,09	271,42	53,77	49,88	42,02
0,90	270,96	<0,5	0,04	17,07	12,10	0,13	<0,5	<0,5	0,32	442,37	261,48	51,77	48,10	74,10
0,85	243,94	<0,5	0,04	15,72	9,21	0,08	<0,5	<0,5	0,26	410,13	240,48	50,63	47,04	34,25
0,95	294,47	<0,5	0,04	19,44	11,72	0,10	<0,5	<0,5	0,29	477,48	272,86	55,56	48,52	60,32
0,95	269,69	<0,5	0,04	18,63	12,16	0,10	<0,5	<0,5	0,29	470,72	253,69	56,72	47,83	60,16
0,97	267,64	<0,5	0,04	20,40	12,05	0,11	<0,5	<0,5	0,29	460,24	253,23	56,76	48,21	66,13
0,93	287,32	<0,5	0,04	19,08	12,39	0,10	<0,5	<0,5	0,29	486,86	246,46	58,09	49,19	65,95
0,93	267,71	<0,5	0,04	19,64	15,47	0,15	<0,5	<0,5	0,32	486,53	252,50	56,74	46,86	103,77
0,97	307,95	0,62	0,05	21,84	16,19	0,17	<0,5	<0,5	0,34	502,87	268,68	59,96	50,69	102,56
0,95	271,49	0,54	0,04	20,06	15,23	0,16	<0,5	<0,5	0,33	477,14	267,77	55,46	48,14	102,20
0,97	255,28	0,58	0,04	20,10	14,76	0,16	-13,18	-1,79	0,32	489,69	253,27	58,22	49,22	102,34
0,95	268,25	0,70	0,04	23,17	19,78	0,22	-13,78	-1,99	0,36	483,58	269,91	57,08	48,92	132,59
0,96	284,09	1,05	0,05	21,99	18,14	0,20	-11,81	-1,62	0,36	488,85	251,26	59,81	48,38	146,57
0,96	273,53	0,70	0,04	20,76	14,38	0,14	-12,72	-1,79	0,32	480,20	243,48	58,64	48,88	90,54
0,93	263,54	0,81	0,04	23,14	17,93	0,18	-10,72	-2,05	0,33	479,68	229,31	58,63	47,03	119,90

