

**Gestión integral de aguas y lodos hacia una economía circular: valorización de lodos de depuradoras****José Jaime Sadhwani Alonso<sup>1\*</sup>, Noemi Melián Martel<sup>1</sup>, Manuel Redondo Zaera<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Departamento de Ingeniería de Procesos, Campus Tafira Baja, 35017, Las Palmas de Gran Canaria, España.

<sup>2</sup>Organización agraria COAG-Canarias

\*Corresponding author: Tel.: +34 928451963

E-mail address: [jimmy.sadhwani@ulpgc.es](mailto:jimmy.sadhwani@ulpgc.es)

**Abstract**

La economía circular o modelo de gestión sostenible se basa en una sociedad de la reutilización y el reciclado cuyo objetivo principal es el de reducir la generación de residuos al convertirlos en recursos.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales se encuentran con la problemática del principal residuo que genera, los lodos, para cerrar este círculo.

Con el objetivo de contribuir a cerrar el círculo y aportar soluciones derivadas de la gestión de estos lodos, en este trabajo se presentan los principales resultados procedentes del desarrollo de un proyecto de investigación basado en una experiencia piloto a escala real en el marco del convenio de colaboración entre el Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria, la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC) y la Coordinadora de Organizaciones de Agricultores y Ganaderos de canarias (COAG-Canarias) hacia la valorización agrícola.

La aplicación de lodos procedentes de plantas depuradoras al suelo agrícola aporta beneficios agronómicos, económicos y medioambientales ya que representan un fertilizante orgánico de calidad que favorece la mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo receptor, sin olvidar que como todo residuo, su aplicación ha de estar sujeta a garantías y a adecuados procesamientos para que su aplicación en la agricultura no suponga un peligro para los cultivos, el suelo, el medio ambiente y los consumidores de los productos agrícolas.

Tras un año de funcionamiento de esta experiencia piloto, los resultados preliminares ponen de manifiesto la validez del compostaje, los rendimientos en diferentes tipos de cultivo, el valor nutricional y el comportamiento de la poscosecha en rangos habituales y la influencia positiva en el control de enfermedades y retención de agua.

## 1. Introducción

El principal residuo generado en las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR), como consecuencia del tratamiento de estas aguas, son los lodos. Estos lodos tienen consideración de residuo y, por tanto, le es de aplicación la ley 22/2011 de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados [1].

La importancia creciente de la producción de este residuo está planteando series problemas en cuanto a su gestión, almacenamiento, eliminación y valorización. Por ello, resulta necesario profundizar en el conocimiento de la caracterización de estos lodos de depuración y su utilización agraria mediante una protección eficaz de los factores físicos, químicos y microbiológicos afectados por el proceso de producción agraria y que se encuentra regulado por una normativa específica, el RD 1310/1990 de 29 de octubre, por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario [2] y que incorpora la Directiva 86/278 relativa a la protección del medio ambiente y, en particular de los suelos, en la utilización de los lodos de depuradora en la agricultura [3].

Atendiendo a la economía circular o modelo de gestión sostenible de las plantas de tratamientos de aguas residuales, en este trabajo se presentan los principales resultados procedentes del desarrollo de un proyecto de investigación basado en una experiencia piloto a escala real en el marco del convenio de colaboración entre el Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria, la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (ULPGC) y la Coordinadora de Organizaciones de Agricultores y Ganaderos de canarias (COAG-Canarias) hacia la **valorización agrícola de los lodos de depuración**.

La aplicación de lodos procedentes de plantas depuradoras al suelo agrícola aporta beneficios agronómicos, económicos y medioambientales ya que representan un fertilizante orgánico de calidad que favorece la mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo receptor, sin olvidar que como todo residuo, su aplicación ha de estar sujeta a garantías y a adecuados procesamientos para que su aplicación en la agricultura no suponga un peligro para los cultivos, el suelo, el medio ambiente y los consumidores de los productos agrícolas.

## 2. Metodología

### 2.1. Selección de los lodos

Se ha trabajado con los lodos procedentes de 3 depuradoras de aguas residuales con un perfil diferenciado, de ámbito urbano/residencial (Firgas), rural (Teror) y urbano Guía Gáldar, todas ubicadas en la isla de Gran Canaria, España.

### 2.2. Selección de una finca para los cultivos

Para llevar a cabo los ensayos en cultivo se ha seleccionado la Finca Salvago ubicada en Tafira Baja (polígono 4, parcela 314, recinto 3, Las Palmas). Dicha finca cumple con los requisitos necesarios para dichos ensayos:

- Dispone de un suelo con calidad suficiente y representativo de la zona. Además, lleva sin cultivar 3 años, y previamente sólo había sido cultivado en ecológico. Por todo ello, se trata de un terreno idóneo para los ensayos.
- Dispone de agua de riego de buena calidad e independiente de la red general de riego de la finca, pudiendo así estar protegido de eventuales tratamientos dados a través de fertirrigación.

En previsión de la posibilidad de que haya robos en los ensayos, se ha montado un ensayo espejo en otra zona de la Isla (Gáldar), en una finca de Marmolejos, no cultivada desde el año anterior. La totalidad del ensayo se ha llevado a cabo con los mismos criterios (superficie, variedades, riego independiente aplicación de compost).

### **2.3. Selección de los cultivos, desarrollo y seguimiento**

Para medir el impacto del compost elaborado a partir de lodos en calidad de fertilizante, los ensayos se llevaron a cabo con 3 cultivos: calabacín y 2 tipos de lechuga (romana y hoja de roble). Esta elección responde a varios criterios: por una parte, se trata de cultivos de ciclo corto y por otra la lechuga, al tener una semilla sensible, permite confirmar la ausencia de ecotoxicidad del compost.

Cada ensayo, consiste en el cultivo de una especie junto con el compost de una de las depuradoras en un área de 5m<sup>2</sup>.

En la finca de Marmolejos, el experimento sigue las mismas pautas, siendo la única diferencia la menor superficie útil por cultivo.

Se aplicó unos 15 litros/m<sup>2</sup> de compost en el terreno de ambos cultivos, basando esta cantidad en volúmenes medios que se aplican en agricultura ecológica. Para controlar la homogeneidad de la aplicación de compost, se midió con un balde, para asegurarse los volúmenes utilizados. Luego se ha mezclado al suelo con laboreo.

Se usaron plántulas en vez de semillas, para acelerar unos 8/10 días el cultivo. Las plántulas se adquirieron en viveros autorizados. La densidad de siembra ha sido establecida con los valores que menciona la bibliografía.

Para cada cultivo se monta un cultivo testigo con las mismas características, en el que no se añade ningún tipo de fertilizante. Por lo tanto, se estudia el efecto del compost sobre los cultivos en 12 parcelas en finca Salvago y 12 parcelas en finca Marmolejos, es decir, 3 cultivos por tipo de compost, más los cultivos testigo.

El riego se ha realizado a manta en ambas fincas, según las necesidades de los cultivos, unas 3 veces en semana. No se ha añadido más elementos fertilizantes a lo largo del cultivo. Tampoco se ha utilizado ningún tipo de otro producto químico o natural para controlar las plagas y enfermedades.

El seguimiento de los cultivos se ha realizado con visitas regulares, unas 3 veces en semana. En cada visita se ha tomado la temperatura exterior, anotado las lluvias, se ha regado a medida de las necesidades del cultivo, y se ha realizado un seguimiento visual de las plagas y enfermedades.

### **2.4. Muestreos y análisis efectuados**

A lo largo del proyecto, se han definido una serie de analíticas en consonancia con el objetivo final de valorar los cultivos llevados a cabo con compost de lodos. Concretamente se ha estudiado los siguientes elementos lo que conlleva, en cada caso, la realización de un conjunto de analíticas, resumidas en la tabla 1:

- Lodo fresco de cada depuradora estudiada
- Material vegetal para el compost
- Suelo de los cultivos
- Agua de riego de los cultivos
- Compost resultante
- Tiempo de desarrollo vegetativo de los cultivos
- Análisis foliares

- Aspectos nutricionales
- Análisis microbiológicos

**Tabla 1. Síntesis de los muestreos y analíticas realizados**

Material	Objetivo	Características	Muestreo	Analíticas	Interpretación
<b>Material vegetal</b>	Caracterización foliar	Muestras de material vegetal triturado	x	x	x
<b>Lodos</b>	Caracterización química y orgánica según RD 1310/1990 más otros agronómicos según experiencia de COAG. Real Decreto 506/2013	2kg/depuradora, en 4 puntos del depósito para asegurar la homogeneidad. (A través de un gestor autorizado y supervisión de COAG)	x	x	x
<b>Agua</b>	Caracterización hídrica		x	x	x
<b>Purín</b>	Caracterización agronómica		x	x	x
<b>Suelo inicial</b>	Caracterización agronómica, metales pesados y patógenos según RD 1310/1990	Recogida de material en varios puntos de la parcela a 10 cm de profundidad y mezclándolos para obtener una mezcla homogénea.	x	x	x
<b>Compost</b>	Caracterización agronómica, metales pesados, patógenos	Muestras de material en al menos 4 puntos de cada pila, cavando previamente para extraerlo en el interior de las pilas.	x	x	x
<b>Suelo final</b>	Caracterización agronómica, metales pesados y patógenos		x		
<b>Hojas</b>	Caracterización agronómica	Hoja joven completamente formada	x	x	x
<b>Alimentos</b>	Caracterización agronómica, nutricional, metales pesados y patógenos Reglamentos 1881/2006 (y sus modificaciones) y 2015/1005.		x	x	x

Los parámetros de calidad estudiados para el compost y los alimentos producidos son lo que se resumen a continuación:

- Higienización del compost
- Micro y macronutrientes contenidos en el compost
- Metales pesados tanto en el compost como en alimentos

- Valores nutricionales (comparado con valores en producción convencional y ecológica),
- Rendimientos de los cultivos
- Comportamiento en postcosecha (conservación de los productos)

Los parámetros de calidad analizados atienden a la normativa vigente en materia de uso de los lodos (RD 1310/1990) y al 4º borrador de la Directiva sobre aplicación agrícola de los lodos [2,4]. Se estudia también la adecuación del compost a la normativa de fertilizantes (Real Decreto 506/2013) [5]. Así mismo, se han añadido otros parámetros en parámetros de ámbito agronómico (en base a la amplia experiencia de COAG en el manejo de materia orgánica en suelos), y otros que, posiblemente, se incorporen a la nueva normativa relativa a los lodos en caso de ser adoptada

Los parámetros de rendimientos y el comportamiento postcosecha se estudiaron en base a las metodologías habituales en este campo

Todas las analíticas han sido llevadas a cabo por el laboratorio del grupo de trabajo CAFMA (Control Analítico de Fuentes Medioambientales del Departamento de Ingeniería de Procesos de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria), la Granja Experimental del Cabildo de Gran Canaria y el laboratorio Sanz-Blanco.

## 2.5 Compostaje

El compostaje se llevó a cabo en la granja escuela de la ULPGC en Tafira Baja (Las Palmas de Gran Canaria) para la que se ha obtenido el permiso de llevar a cabo la experiencia de compostaje.

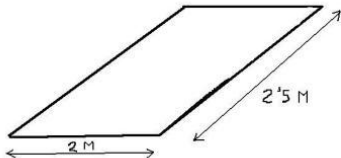
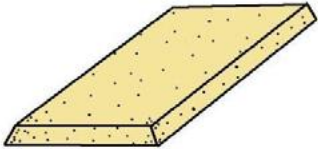
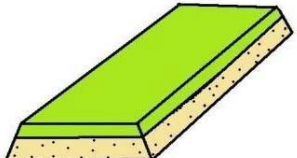
La sala que se utilizó para el compostaje es un espacio impermeabilizado y techado, con un sistema de ventilación y de recogida de lixiviados, es decir que cumple con las necesidades técnicas y exigencias legales en vigor.

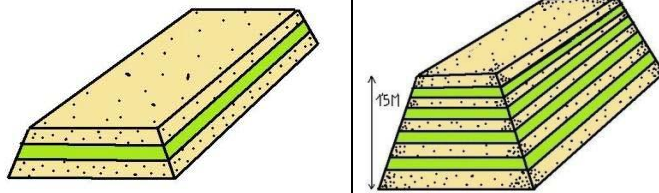
Para los ensayos de compostaje se emplearon un total de 12 Hm<sup>3</sup> material vegetal triturado, procedente de podas de jardines, del Complejo ambiental de Juan Grande.

La recogida de los lodos, se llevó a cabo por un gestor autorizado en las 3 plantas depuradoras y controlada directamente por el técnico de COAG. El material descargado ha sido directamente recogido con una pala, pudiendo así trasladar directamente el material dentro de la sala en donde se montaron un total de 3 pilas.

Las pilas fueron montadas con el sistema de capas (alternando lodos y material vegetal), conservando las mismas proporciones de cada material en todas. Para permitir la fermentación aeróbica, es necesario añadir material picado esencialmente para favorecer la aireación, proceso que evita la fermentación anaerobia. En la Figura 1 se esquematiza la elaboración de la pila para su compostaje.

**Figura 1.** Elaboración de una pila para su compostaje

Base pila de fermentación	1ª capa, material rico en carbono	2ª Capa, rica en nitrógeno
		
3ª Capa, rica en carbono	Finalización proceso	



El tamaño de las pilas era de un volumen aproximado de 1.5 m<sup>3</sup>.

Durante el compostaje se llevó a cabo el seguimiento de las temperaturas, el agua aportada y la humedad presente en el compost, los volteos y los olores.

La recogida de los datos de las temperaturas ha sido diaria durante las 5 primeras semanas, espaciándose luego a medida que se producía la maduración de las pilas.

El seguimiento de las temperaturas se ha hecho con un termómetro digital, colocado en una sonda larga de 1.30m. Para garantizar la representatividad de las tomas, se ha establecido tomar la temperatura en varios puntos, colocando la sonda hacia la zona central de cada pila, y realizando una media.

Los volteos de las pilas permiten remover los materiales, favoreciendo ante todo la oxigenación de los mismos. Además, al voltear, los materiales situados hacia fuera de la pila se colocan hacia el interior de la misma, proceso imprescindible para la homogeneización del material a través de la fermentación.

La decisión de voltear se toma en base a la temperatura alcanzada, el contenido de humedad y el tiempo transcurrido desde el último volteo, a fin de evitar el agotamiento del oxígeno del interior de la pila, con lo que las pilas no se suelen voltear los mismos días.

Voltear las pilas conlleva una pérdida de calor, haciendo que tarden un poco más en recuperar las temperaturas anteriores, pero no influye significativamente en el proceso de compostaje, ya que los microorganismos que llevan la fermentación (que trabajan entre 16° y 32°) lo hacen principalmente en el interior del montón. El número de volteos realizados para cada pila es de 8.

### 3. Resultados

#### 3.1. Caracterización de los lodos

Los resultados de la caracterización de los lodos se sintetizan en la tabla 2.

**Tabla 2.** Resumen interpretativo de las analíticas de los lodos

Parámetros	Depuradora de Fargas	Depuradora de Teror	Depuradora de Gáldar
Agronómicos	cumple	cumple	cumple
Metales pesados	cumple	cumple	cumple
Patógenos	usos según RD*	usos según RD*	usos según RD*
Contaminantes orgánicos	cumple	cumple	cumple
Ecotoxicidad	No ecotóxico	No ecotóxico	No ecotóxico

\* Real Decreto 1310/1990.



En cuanto a los parámetros agronómicos, las aportaciones no son homogéneas, debido a los diferentes orígenes de los mismos, pero todos los lodos son válidos como fertilizantes. No obstante, es necesario destacar que los valores para este muestreo en particular se han mostrado excepcionalmente bajos para el nitrógeno (<1%), especialmente en Firgas. Este bajo contenido se ha debido a las copiosas lluvias de este invierno que también se recogen en las depuradoras, rebajando el contenido general de todos los nutrientes.

Los valores bajos de nitrógeno han perturbado el proceso de compostaje, que ha requerido un añadido rico en nitrógeno, para permitir alcanzar la fermentación aerobia necesaria para obtener una correcta higienización de los materiales.

En cuanto a los niveles de patógenos, se observa la presencia de cada uno de los estudiados. El proceso posterior de compostaje permite higienizar estos materiales, contrarrestando así los posibles efectos negativos.

Los metales pesados presentes son muy inferiores a los máximos establecidos por la normativa por la normativa en vigor de uso de lodos, al igual que en las analíticas anteriores. Subrayar que, inclusive, se encuentran por debajo de los valores establecidos por el último borrador de la Directiva de valorización agrícola de lodos, más restrictivos.

Los contaminantes orgánicos, también presentes en cantidades ínfimas, estando por debajo de los topes establecidos por la normativa europea en preparación.

En conclusión, los lodos de las depuradoras estudiadas son buenos como mejorantes agronómicos de los suelos agrarios, aunque en ciertas ocasiones el contenido en nitrógeno pueda ser insuficiente, y requiera un añadido específico para compensarlo. En caso de optar por compostar regularmente estos lodos, sería imprescindible llevar un seguimiento del contenido en nitrógeno previamente a las operaciones de compostaje con el objeto de adecuar, si fuese necesario, un añadido nitrogenado.

El manejo de los lodos durante los ensayos ha mostrado dificultades que, para el futuro, necesitarán profundización específica. La plasticidad de los lodos (textura pastosa) dificulta su manejo, impidiendo en ciertas ocasiones una buena mezcla de los materiales. Esta cuestión es de primera importancia, ya que, al no mezclarse bien, los lodos se pueden apelmazar, limitando la fermentación aerobia de los mismos, es decir frenando la higienización. Este fenómeno se ha dado en la pila de Gáldar, a pesar de un volteo manual, que se conoce por ser más fino que un volteo mecánico.

La presencia de fuertes olores debida a la presencia de lodos frescos al inicio del proceso de compostaje, pero a corta distancia de donde se realiza el proceso. Esta cuestión deberá ser objeto de investigaciones específicas para limitar el rechazo de la vecindad en caso de realizarse cerca de zonas habitadas. Otros trabajos realizados por COAG Canarias en las Islas ya pusieron de relieve la importancia de esta cuestión para la aplicación de estiércoles.

### 3.2. Caracterización del material vegetal

El material vegetal procedente del complejo ambiental de Juan Grande y utilizado para el compostaje ha sido analizado según las pautas propias de las analíticas de sustrato. Los resultados obtenidos se resumen en la tabla 3.

**Tabla 3.** Resultados de las analíticas del material vegetal

Parámetros	Resultados
Humedad	44.1%

Materia orgánica	66.1%
Nitrógeno total	7.3 g/kg
Fósforo	3.2 g/kg
Potasio	19.1 g/kg
Calcio	29.2 g/kg
Magnesio	12 g/kg
Sodio	0.56%
Boro	49 mg/kg
Cobre	14 mg/kg
Hierro	6.738 mg/kg
Manganeso	189 mg/kg
Zinc	20 mg/kg

Este material, una vez descompuesto, aportaría al suelo una cantidad nada despreciable de calcio y potasio. Por otro lado, entre los micronutrientes destaca el hierro, con cantidades elevadas respecto a los demás, no pudiendo determinarse el origen del mismo. Por lo demás, el contenido de diferentes nutrientes es el esperado en un material vegetal leñoso de indeterminada vejez.

Los resultados confirman que se trata de un material ideal para mezclar con los lodos, equilibrar la relación C/N, y garantizar así un buen proceso de fermentación para el compostaje.

### 3.3. Caracterización del agua de riesgo del compost

La caracterización del agua de riego empleada en las pilas de compost, así como en el riesgo de los cultivos se resumen en la tabla 4.

**Tabla 4.** Resultados de las analíticas del agua

Parámetros	Rangos ideales [6]	Resultados
pH	6- 7.5	7.8
Conductividad	<3000 mS/cm	930 mS/cm
Carbonatos	- mg/l	< 20 mg/l
Alcalinidad	< 17 mg/l	110 mg/l
Bicarbonatos	<8.5 mg/l	140 mg/l
Sodio	<3 mg/l	160 mg/l
Potasio	- mg/l	7.4 mg/l
Calcio	- mg/l	15 mg/l
Magnesio	- mg/l	8.6 mg/l
Cloruros	<10 mg/l	180 mg/l
Nitratos	<30 mg/l	< 5 mg/l
Sulfatos	-mg/l	41 mg/l
Boro	3 mg/l	0,855 mg/l
Cobre	-mg/l	< 0.015 mg/l
Hierro	-mg/l	0.087 mg/l
Cinc	-mg/l	0.018 mg/l
Manganeso	-mg/l	< 0.005 mg/L
Sales disueltas	-mg/l	551 mg/l
Relación de absorción	0-12 meq/l	8.09 meq/l



de sodio (SAR)		
Carbonato sódico residual (CSR)	-meq/l	0.75 meq/l
Dureza	-mg/l	74 mg/l

Los resultados muestran un pH ligeramente alcalino. El grado de restricción de uso por salinidad y relación de absorción de sodio es de ligero a moderado; el boro, sodio y los cloruros afectarían ligeramente sólo a cultivos sensibles; el contenido en bicarbonatos no representa un problema de cara al compostaje. El contenido de carbonato cálcico (para medir la alcalinidad), la enmarca en un agua moderadamente dura, lo que implica que haya que añadirle algo de ácido corrigiendo el pH en cada riego para evitar precipitaciones en el sistema de riego o periódicamente lavar con ácido para lavar las conducciones de riego. En Gran Canaria es corriente disponer de agua con estas características, se usa en agricultura aguas de peor calidad, pero hay metodologías para corregir la calidad.

En relación al compostaje, el riego con esta agua no ha afectado negativamente al desarrollo del mismo, entendiéndose referente a la calidad de la misma, pues un exceso de aplicación de agua, sin importar la calidad, sí que afectaría negativamente al proceso durante la fermentación.

En cuanto a sus características para ser usada en el riego de las parcelas del ensayo, es adecuada para el cultivo de hortalizas

En resumidas cuentas, la calidad del agua es buena, por lo que no ha podido modificar de forma significativa los resultados en compost ni tampoco en cultivos.

### 3.4. Caracterización del puerín de cerdo

Se ha analizado el purín de cerdo que se ha añadido a la pila de Gáldar (con el objetivo de elevar el nivel de nitrógeno). Se ha seleccionado este subproducto por tener habitualmente un contenido elevado de nitrógeno cuando es fresco, y al representar un subproducto problemático en la Isla.

Los resultados de las analíticas muestran, de forma resumida, lo siguiente:

- Los macroelementos se encuentran en cantidades elevadas: el contenido en potasio representa 0.27 g/100 ml y el fósforo 0.18 g/100 ml. El nitrógeno llega a 0.08 g/100 ml, lo cual no es un valor muy elevado para un purín. En los depósitos de recogida de las granjas, no es posible separar el fresco del más viejo, por disponer de entrada continua, por lo que el producto se corresponde con una mezcla no estabilizada, siendo un buen activador de la fermentación.

- Los microelementos muestran niveles interesantes como nutrientes.

- Se observa un buen nivel de materia orgánica, con 1.25g/100ml.

### 3.5. Caracterización del suelo

Se realizó un muestreo del suelo en el que luego que se llevaron a cabo los cultivos. Se trata por lo tanto del suelo testigo, con el que se puede comparar los parámetros obtenidos después de la aplicación del compost en suelo.

**Tabla 5.** Resultados de los parámetros agronómicos del suelo testigo de la finca Salvago

Parámetros	Rango	Suelo testigo
pH	6 - 7.5	8.75

Conductividad 1:5	< 0.65	0.23
Materia orgánica	> 3%	5.15%
Relación C/N	8 - 14	8.8
Nitrógeno	0.1 – 0.4 %	0.34
Nitratos*	93-247 mg/kg	26 mg/kg
Fósforo asimilable	10 - 40 mg/kg	99 mg/kg
Potasio*	1 - 12% C.I.C.	8.23%
Calcio*	40 - 70% C.I.C.	63.1 %
Magnesio*	10 - 30% C.I.C.	22.7 %
Sodio*	10 - 15% C.I.C.	5.1 %
Boro	0.2 – 0.4 mg/kg	5.3 mg/kg
Hierro	25 – 50 mg/kg	5.2 mg/kg
Manganeso	5.0 – 10 mg/kg	6.34 mg/kg

Los resultados expuestos en la tabla 5 muestran que los parámetros agronómicos están dentro de los límites aceptables para los cultivos, aunque el pH y la caliza son altos y alejados de los rangos ideales. El pH, con un nivel de 8.75, es decir por encima de lo recomendado, es representativo de la zona. Estos dos elevados parámetros sí pueden limitar el desarrollo del cultivo, especialmente en lechugas. El contenido en nitrógeno y fósforo es también elevado. El contenido de materia orgánica es alto comparado con suelos agrícolas en funcionamiento, pero ideal. Todos los demás nutrientes están presentes en niveles adecuados. Es decir, que se trata de un suelo de buena calidad, apto para su uso agrícola.

Aunque dicho suelo nunca haya recibido lodos de depuradora, presenta metales pesados en cantidades ínfimas, tal y como se refleja en la tabla 6, en donde se ha comparado con los máximos legales permitidos por el RD 1310/1990 [2]. En esta dosis, el zinc y el cobre constituyen micronutrientes de los cultivos.

En otros términos, el suelo con un pH superior a 7, cumple con los requisitos legales. Inclusive cumpliría de sobra con los parámetros máximos establecidos para un suelo con un pH inferior a 7, en donde cada elemento solo está permitido en cantidades significativamente inferiores.

En cuanto a los patógenos (tabla 7), la presencia es casi nula, cosa normal considerando que no se ha fertilizado de forma orgánica dicho terreno durante los 3 últimos años.

**Tabla 6.** Resultados de metales pesados del suelo testigo

Parámetros	Máximo legal para suelos con pH inferior a 7*	Máximo legal para suelos con pH superior a 7*	Suelo testigo (pH 8,75)
Cadmio	1 mg/kg	3 mg/kg	<0.1 mg/kg
Cobre	50 mg/kg	210 mg/kg	4.6 mg/kg
Cromo	100 mg/kg	150 mg/kg	10.2 mg/kg
Mercurio	1 mg/kg	1.5 mg/kg	<0.1 mg/kg
Níquel	30 mg/kg	112 mg/kg	5.3 mg/kg
Plomo	50 mg/kg	300 mg/kg	1.5 mg/kg
Zinc	150 mg/kg	450 mg/kg	6.34 mg/kg

\* Establecidos según el anexo IA del RD 1310/1990 [2].

**Tabla 7.** Resultados de patógenos del suelo testigo

Parámetros	Máximo legal	Suelo testigo
Salmonella*	ausencia en 25 g	ausencia
Escherichia coli*	<1000 nmp/g	<10 nmp/g

En conclusión, las analíticas indican que se trata de un suelo apto para los cultivos en general, lo que permitirá comparar los parámetros obtenidos después de la aplicación de los compost en suelo.

### 3.6. Caracterización del compost

Las analíticas realizadas confirmaron la higienización, concretamente en salmonella (ausente en las 3 muestras) y escherichia coli (con presencia muy inferior a lo que marca la normativa de fertilizantes posibilitando su uso como fertilizante en cultivos:

- En cuanto a los parámetros agronómicos, las aportaciones no son homogéneas, pero todos los compost son válidos como fertilizantes. En caso de aplicación repetida, sin embargo, sería necesario instaurar medidas correctoras por el exceso de sodio.
  - En cuanto a los niveles de patógenos, los compost obtenidos se pueden usar como fertilizantes, siguiendo lo establecido por la normativa de fertilizantes.
  - Los metales pesados presentes permiten una clasificación del compost como Clase B por la normativa de fertilizantes (siendo estos considerablemente inferiores a los establecidos por la normativa en vigor de uso de lodos, e inclusive de los del último borrador de la Directiva de valorización agrícola de lodos). Pero no cumplen con la Clase A, de mayor calidad.
- En cualquier caso, se pone en evidencia que la aplicación de compost al suelo conlleva introducir en el mismo, metales pesados. Por ello, cualquier uso posterior de este tipo de compost debería estar acompañado de analíticas de seguimiento del suelo, tal y como marca el RD 1310/1990 [2]. Tampoco se podrá aplicar más cantidades que las descritas en el anexo I C del mismo Real Decreto. Resalta también la necesidad de analizar con más detalle los metales pesados contenidos en el material vegetal.
- Los **contaminantes orgánicos** presentes no deberían suponer un peligro, siguiendo para ello los topes establecidos por la normativa europea en preparación y en ausencia de referencias en la normativa de fertilizantes.

**Tabla 8.** Resumen interpretativo de las analíticas de los compost

Parámetros	Depuradora de Fargas	Depuradora de Teror	Depuradora de Gáldar
Agronómicos	adecuados requiere seguimiento de sodio	adecuados requiere seguimiento de sodio	adecuados requiere seguimiento de sodio
Metales pesados	clase B requiere seguimiento en suelo	clase B requiere seguimiento en suelo	clase B requiere seguimiento en suelo
Patógenos	cumple	cumple	cumple
Contaminantes	no hay requisitos	no hay requisitos	no hay requisitos

orgánicos			
Ecotoxicidad	No ecotóxico	No ecotóxico	No ecotóxico

Los elementos analizados para la caracterización de los lodos muestran, por una parte, el indudable interés agronómico de los lodos y, por otra parte, la necesidad de un conocimiento previo del contenido en nitrógeno y humedad. Dichos resultados sólo aportan información sobre los lodos resultantes de las 3 depuradoras estudiadas. En ningún caso los resultados pueden considerarse extensibles a las demás depuradoras de la Isla.

En conclusión, si bien los compost elaborados en base a los lodos de las 3 depuradoras son buenos como mejorantes agronómicos de los suelos agrarios (a pesar de un bajo contenido en nitrógeno), es necesario repetir el proceso para asegurarse que los metales pesados no estén presentes en cantidades superiores a las permitidas para la Clase B de compost. Por otra parte, se observa claramente cómo los pesticidas disminuyen notablemente durante el compostaje, y cómo, al contrario, se concentran los metales pesados.

Se trató de comprobar, así mismo, el comportamiento de la fermentación de lodos de las tres depuradoras seleccionadas mezclados con material vegetal picado. Como conclusión de este ensayo, señalar que el proceso de fermentación se ha desarrollado de forma satisfactoria, mostrando una descomposición de toda la materia orgánica, acompañada, como es normal, de una reducción significativa de volumen y peso, constatándose una mayor pérdida de volumen para la pila de Teror. Es probable que esta diferencia se deba a la mayor presencia de nitrógeno en los lodos de la zona de Teror.

Al finalizar el ensayo, se comprueba visualmente que los lodos se presentan de forma similar, aunque la pila de Gáldar presenta más grumos.

**Figura 2.** Resultado del compost a los 100 días



Los olores han disminuido con el paso del tiempo, y al finalizar han desaparecido. El proceso de compostaje ha durado 14 semanas.

### 3.7. Caracterización de los alimentos

Se observan grandes diferencias en los cultivos, a favor de Fargas y Gáldar, quedando atrás Teror y el cultivo testigo. En cuanto a crecimiento, los ensayos muestran grandes similitudes entre las dos fincas, lo cual confirma que el elemento determinante es el compost añadido al suelo.

La recolección ha seguido las pautas de una finca normal, es decir que al llegar a madurez los calabacines o lechugas, se han cortado y pesado.

Otra diferencia de interés radica en el suelo del testigo, que presenta menor retención de agua, por contener menos materia orgánica. La mayor retención de humedad en un suelo abonado por compost es un fenómeno hoy día conocido, aunque de momento no se han identificado referencias bibliográficas al respecto.



**Figura 3.** A la derecha el testigo. Al extremo izquierdo, Fargas

Dos semanas antes de la finalización de los cultivos, se procedió al muestreo de los alimentos procedentes de la finca Salvago para conocer su valor nutricional, la presencia de metales pesados y de patógenos. En la tabla 9 se resumen las analíticas en alimentos efectuadas.

**Tabla 9.** Síntesis de analíticas en alimentos

Producto	Tipo analítica	Síntesis resultados
9 productos (todos menos testigo)	microbiología	negativo
4 analíticas en calabacín y lechugas	metales pesados	cumple
4 calabacín (todos los cultivos de calabacín, incluido testigo)	nutricional	dentro de los rangos habituales

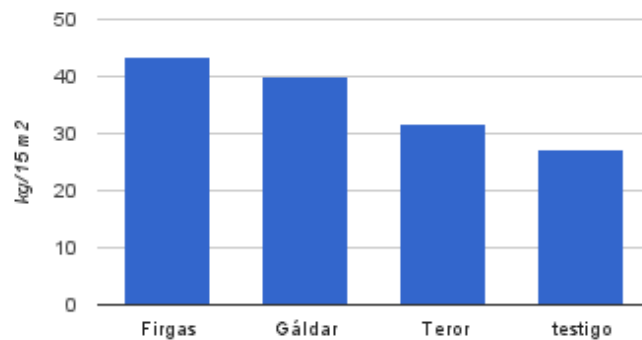
### 3.7.1. Rendimientos

Ante los robos efectuados en la finca de Salvago, no se ha podido calcular valores pertinentes de rendimiento en esta finca. Por ello, se ha calculado el rendimiento de cada ensayo de la finca de Marmolejos. El rendimiento se ha basado en la pesa continua de los alimentos cosechados, con una pesa digital de precisión.



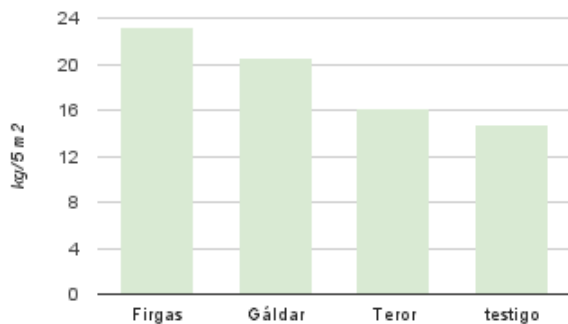
Los rendimientos presentan diferencias significativas entre los 3 cultivos, siempre a favor de Firgas y Gáldar, dejando atrás, en este orden, a Teror y el testigo. El gráfico adjunto refleja el total de los alimentos recolectados de los 3 cultivos en la finca de Marmolejos, mostrando claramente esos dos grupos. La figura 4 representa el total de kg cosechados en los 15m<sup>2</sup> del ensayo.

Los rendimientos presentan variaciones comparativas según las especies plantadas, tal y como se puede observar en las figuras 5-7.



**Figura 4.** Total de alimentos recolectados por tipo de compost

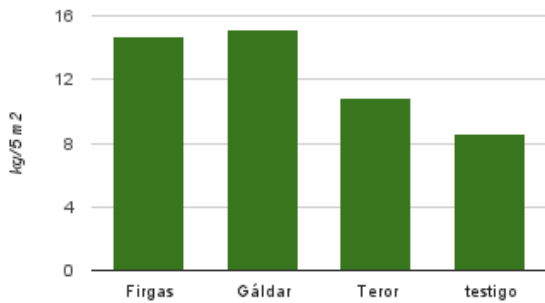
Los rendimientos obtenidos en calabacín, equivalentes al rango 23.19 y 46.38 tm/ha, se encuentran en los rangos superiores de una producción intensiva y de monocultivo, estimados entre 25000 - 30000 kg/ha en regadío en España. Llevados en condiciones más óptimas, al aire libre, podría el rendimiento elevarse a 45000 kg/ha [7].



**Figura 5.** Rendimiento calabacín

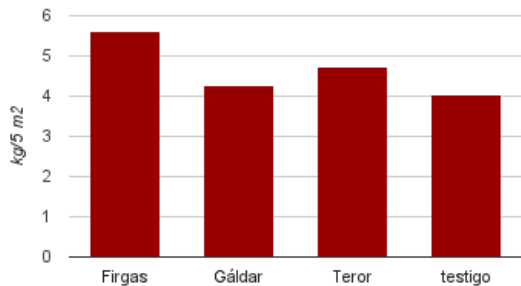
Los rendimientos obtenidos en lechuga romana se elevaron 30.2 tm/ha para Gáldar. Superan los rendimientos de una producción intensiva y de monocultivo, que varían notablemente de una variedad a la otra, entre 12000 y 25000 kg/ha [8]. El tamaño alcanzado por las lechugas ha sido notable, en algunos casos de más de 1 kg, aunque comercialmente no se les deje coger tanto peso.





**Figura 6.** Rendimiento lechuga romana

Para la lechuga hoja de roble, los rendimientos fueron netamente menores, de 8.08 a 11.22 tm/ ha, siendo de mayor desarrollo la variedad romana. Además, el pH y la caliza altos puede ser una de las causas por la que han muerto más lechugas en el testigo que en los otros cultivos, pues con añadir más materia orgánica a través del compost ayuda a equilibrar el suelo. Las necesidades de cultivo son muy parecidas a la romana, el menor peso obtenido se debe a que es una planta de menor peso final.



**Figura 7.** Rendimiento lechuga hoja de roble

Si se comparan los cultivos por tipo compost, es difícil identificar con exactitud los factores que expliquen las diferencias de rendimiento. En efecto, las variaciones entre cada compost del nitrógeno, carbono y calcio, así como de los nitratos no se corresponden con el desarrollo de los cultivos (tabla 10). Sin embargo, el fósforo y el potasio son los únicos nutrientes para los que se establece una correlación directa entre desarrollo del cultivo, rendimiento y nutriente, netamente superior en el de Firgas.

**Tabla 10.** Presencia de los principales nutrientes de los cultivos aportados por el compost

Nitrógeno total (mg/kg)						Comentarios
Lodos			Compost			
F	G	T	F	G	T	
2.700	3.800	11.200	1.450	8.500	3.600	El N se pierde con la fermentación. Sin embargo, el valor final no parece reflejar el nitrógeno añadido. No se corresponde con la respuesta en cultivos.

Carbono (%)						
Lodos			Compost			Comentarios
F	G	T	F	G	T	
10	17	18	12	12	18	No se corresponde con la respuesta en cultivos. Se observa aumento, disminución y estagnación del carbono.

Nitratos (mg/kg)						
Lodos			Compost			Comentarios
F	G	T	F	G	T	
<2.2	120	105	8.7	<2.2	<2.2	No se corresponde con la respuesta en cultivos. El valor superior en el compost de Firgas puede ser debido a la urea añadida.

Calcio (mg/kg)						
Lodos			Compost			Comentarios
F	G	T	F	G	T	
3.2	640	400	46	44	73	Apoya el crecimiento como nutriente. Se observa aumento, disminución y estagnación del carbono.

Potasio (mg/kg)						
Lodos			Compost			Comentarios
F	G	T	F	G	T	
234	296	395	125	129	65	Contribuye para el llenado de las frutas y la fortaleza de la planta Posible causa de la respuesta en cultivos.

Fósforo (mg/kg)						
Lodos			Compost			Comentarios
F	G	T	F	G	T	
2.009	2.214	4.780	41	43	27	Ayuda al sistema radicular y floración. Posible causa de la respuesta en cultivos.

F: Firgas – G: Gáldar – T: Teror

Comparando el suelo inicial con los valores de los compost y los resultados de los cultivos obtenidos, se puede concluir que la adición de compost al suelo ha aumentado la calidad del mismo, mejorando, entre otras cosas, el valor de pH, permitiendo así solubilizar fósforo y aumentar la retención de agua, entre otros factores. El aporte de nutrientes ha sido importante, como se ve en el caso de la lechuga romana con el compost de Gáldar, que ha dado mayor rendimiento gracias a su mayor contenido de nitrógeno.

### 3.7.2. Calidad nutricional de los alimentos

Los alimentos han sido analizados bajo varias perspectivas: presencia de patógenos, contenido en metales pesados, y calidad nutricional. En total, se han analizado 10 muestras con varios de los parámetros antes mencionados

En cuanto a los patógenos, las analíticas muestran ausencia en todas las muestras de salmonella y E. coli (9 muestras, correspondientes a todos los cultivos,

exceptuando el testigo). No se han analizado los cultivos testigo que no recibieron compost.

Para los metales pesados, se ha analizado 2 muestras de calabacín y otras 2 de lechuga romana. De esta manera, se puede observar las diferencias de absorción entre verdura de hoja y de fruto, así como las posibles diferencias relacionadas con un compost u otro. Estas analíticas responden a la necesidad de estudiar su absorción en alimentos, aunque sólo sea exigible para el plomo y el cadmio. Los resultados muestran que la presencia de cadmio es mayor en los cultivos de hoja que de fruto, lo que se corresponde con las observaciones científicas [9].

**Tabla 14.** Presencia de metales pesados en alimentos de los ensayos

	Máximos* Calabacín mg/kg de peso fresco	Calabacín Gáldar	Calabacín Teror	Máximos* Romana mg/kg de peso fresco	Romana Gáldar	Romana Teror
Cadmio	0.05	<0.01	<0.01	0.20	<0.021	<0.014
Cobre	-	<0.20	<0.20	-	<0.20	<0.20
Cromo	-	<0.20	<0.20	-	<0.20	<0.20
Mercurio	-	<0.10	<0.10	-	<0.10	<0.10
Níquel	-	<0.20	<0.20	-	<0.20	<0.20
Plomo	0.10	<0.05	<0.05	0.30	<0.05	<0.05
Zinc	-	<2.0	<2.0	-	<2.0	<2.0

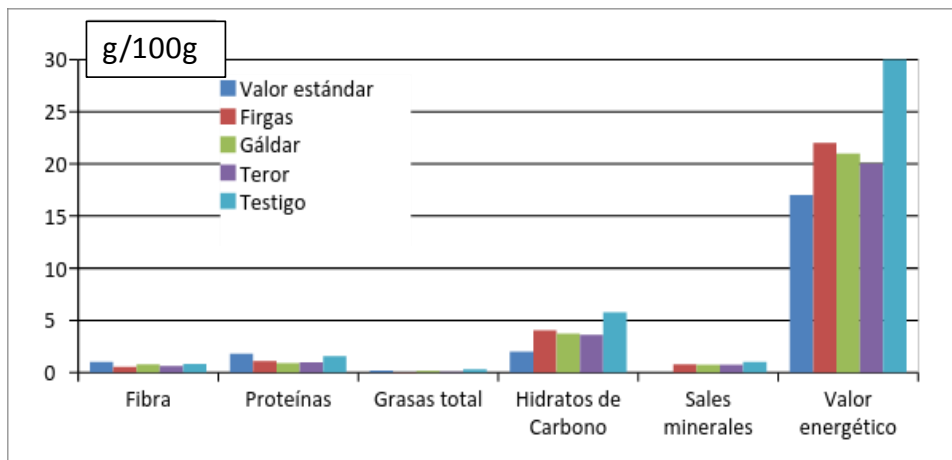
\* Reglamentos 1881/2006 (y sus modificaciones) y 2015/1005.

Sintetizando, los ensayos en cultivos han producido verduras cuyo contenido en metales pesados no superan los máximos legales en cadmio y plomo, no siendo definidos los demás niveles. Sin embargo, apuntar que sería necesario comprobar, en caso de profundizar esta vía de valorización agrícola de los lodos, que los alimentos cumplan con la normativa en materia de sustancias tóxicas, que incluye otros contaminantes orgánicos.

Para conocer la calidad nutricional, se ha procedido al análisis nutricional de 4 cultivos, los 3 del ensayo de calabacín con el del testigo, para permitir una comparación pertinente. Las muestras se han realizado con trozos de varios calabacines de cada cultivo. De esta forma, se obtienen datos representativos del conjunto, comparables entre sí.

Para situar los resultados, se ha comparado con los valores de la base de datos nacional de alimentos [10], con la limitación que ofrece una sola tabla relativa a los calabacines, sin distinguir por variedades (figura 8). Por lo tanto, la comparación solo es orientativa.

Los resultados muestran que la calidad nutricional se acerca a los valores habitualmente conocidos para esta fruta. Destaca el valor energético del calabacín del testigo, pudiéndose explicar por el menor contenido de humedad y por lo tanto mayor concentración de componentes energéticos.



**Figura 8.** Comparación del valor nutricional con valores estándares AESAN/BEDCA [10] en calabacín

El nivel de humedad es comparable entre todas las muestras, siendo más baja en el testigo (90.5 g/100 g) y más alta en los valores estándar (94.6).

### 3.7.3. Comportamiento post-cosecha

El comportamiento post-cosecha, se ha estudiado en 3 lotes de calabacín y lechuga que se almacenaron en un lugar aireado y a la sombra. Los parámetros evaluados son los siguientes: nº de días con buen aspecto, aparición de pudriciones, firmeza del calabacín, color y brillo en calabacín, pérdida de agua en lechuga.

Las hortalizas fueron recolectadas, clasificadas y embolsadas. Se escogieron lechugas sanas y en su punto óptimo de cosecha. Los calabacines eran sanos y de tamaño comercial (150-200 g).

El seguimiento de la post-cosecha se llevó a cabo en una habitación de suelo de granito, con aireación natural, con luz del sol indirecta. No siendo un lugar donde se almacenen productos alimenticios, por lo tanto, libre de patógenos que puedan afectar al ensayo. Durante el proceso se tomó la temperatura diariamente, siendo la media durante el ensayo 23°C, y sólo durante ocasionalmente se alcanzaron los 25°C. Todas las muestras se depositaron sobre una capa de papel de periódico, para que éste actuara de secante en caso de pudrición.

#### Lechugas:

Lo ideal para que se mantengan el mayor número de días es refrigerarlas, se prefirió tenerlas a temperatura ambiente para compararlas con lechugas puestas en expositores destinados a venta al público.

A los 2 días todas presentaban pérdida de turgencia al disminuir su contenido en agua (la lechuga contiene un 96% de agua).

A los 4 días, comienzo de la ola de calor, en todas comenzaban las necrosis de tejidos.

A los 9 días, las zonas que estaban en contacto con el suelo ya presentaban pudriciones.

A los 17 días, proceso de destrucción generalizado de toda la hortaliza, se procede a retirarlas.

#### Calabacín:

Al igual que las lechugas, se mantuvieron éstos en condiciones similares de expositores destinados a venta al público. Esta hortaliza tiene un contenido de humedad de entre un 90-95%, que unido a la mayor consistencia de su carne, lo hace más duradero que la lechuga. Lo que se observa son el color y el brillo.

A los 6 días, el testigo empieza a amarillear.

A los 13 días se aprecia un leve amarillamiento en todas las piezas.

A los 22 días amarillamiento más marcado.

A los 29 días el amarillamiento de las piezas ya los hace inviable para ser vendidos.

A los 34 días se finaliza el ensayo. En el momento de retirarlos, aunque ya no tenían valor comercial por pérdida de brillo y por amarillear, no presentaban pudriciones y la pulpa mantenía su consistencia, algo menos en el testigo.

Durante todo el proceso han mantenido el brillo, aunque paulatinamente se ha ido perdiendo la intensidad del mismo.

En conclusión, del ensayo post-cosecha, respecto a las lechugas, bajo las condiciones en las que han sido mantenidas, la durabilidad del producto ha sido la misma que con cualquier otro sistema de cultivo. Respecto a los calabacines, han tenido una gran durabilidad gracias a que no se han presentado pudriciones en postcosecha (que a veces se presentan con otros sistemas de cultivo), esto puede ser debido tanto a las condiciones ambientales bajo las que han estado como a la calidad del producto en sí.

### 3.8. Plagas y enfermedades

Plagas de oídio y mildiu han aparecido en ambas fincas, aunque de forma ligeramente diferenciada. Estas enfermedades son habituales en estos cultivos (oidio en calabacín y mildiu en lechuga). En cualquier caso, la incidencia del oidio ha sido menor en los calabacines con compost y el mildiu en lechuga sólo se presentó en una fase de cultivo en las que se dieron las condiciones ambientales apropiadas, pero luego se paró, lo que se puede explicar por la acción de los microorganismos que acompañan a la materia orgánica, los cuales ejercen un efecto regulador en el suelo y en la microbiología del mismo, ayudando a controlar a patógenos de los cultivos y aumentando la resistencia de las plantas frente al ataque de plagas y enfermedades [11].

**Tabla 13.** Plagas y enfermedades en el ensayo de las fincas Salvago y Marmolejos

Cultivo/ pila	Firgas	Gáldar	Teror
Calabacín	oídio	oídio	oídio
Romana	mildiu	mildiu	mildiu
Hoja de roble	-	-	-

En Salvago, el oídio ha aparecido en las fases finales del cultivo con baja intensidad. El mildiu apareció en fases tempranas, pero con daño limitado y se paró.

En Marmolejos, el oídio ha aparecido en las fases finales del cultivo con baja intensidad. En el momento de finalización del cultivo, el ataque de oídio ha sido más fuerte en todas las parcelas debido a que las condiciones ambientales fueron más

propicias, pero en la parcela testigo la incidencia ha sido más notable que en las otras. Esto demuestra que la aplicación de compost también juega un papel regulador para el control de plagas y enfermedades.

### 3.9. Caracterización de las plantas

Sólo el análisis foliar permite conocer el uso que hace la planta de los elementos nutritivos (tabla 14). La parte de la planta que generalmente se utiliza para el análisis foliar es la hoja. Esto se debe a que es muy activa metabólicamente y su composición es una buena guía de los cambios en el estado nutricional de la planta.

El análisis foliar sirve para:

- a) diagnosticar posibles estados carenciales o de toxicidad con síntomas visibles.
- b) predecir posibles estados carenciales sin síntoma visible en las hojas, pero con respuesta negativa en la producción.
- c) conocer la eficiencia de un análisis de suelo.
- d) determinar la efectividad de un plan de abonado y de esta manera conocer el estado nutricional de la planta. De esta forma se puede tratar de mejorar la producción y la calidad, esto es, para llegar al óptimo de producción.
- e) determinar los efectos medioambientales sobre los nutrientes disponibles y su absorción por la planta.

**Tabla 14.** Síntesis de analíticas en plantas

Producto	Tipo analítica	Síntesis resultados
12 productos (todos los cultivos)	Analítica foliar	Nutrición media adecuada

Los factores que influyen en la composición de los nutrientes son: la variedad o cultivar, la etapa de crecimiento, el tamaño, la longitud y estado sanitario del sistema radicular, el nivel de producción del cultivo, el clima, el nivel de riego, el manejo del suelo y del cultivo, las interacciones entre nutrientes, la elección de las plantas y la elección de la hoja de muestreo. Por lo tanto, es muy complejo el estudio de la composición foliar de una planta cuando se trata de realizar adecuadas recomendaciones en la fertilización. En cambio, la detección de problemas nutricionales en un cultivo es más simple. Por ello, es fundamental establecer una relación entre los nutrientes existentes en el suelo, su disponibilidad para ser absorbidos por la planta y los contenidos de éstos en la hoja de muestreo.

Debido a la reducida dimensión de las parcelas, se han muestreado todas las plantas que representan el estado general y medio de todas las plantas del cultivo, desestimando las enfermas. El criterio de muestreo en los cultivos hortícolas se centra siempre en la hoja joven completamente formada. Ésta, por lo general, equivale a la 4-6 hoja desde la parte superior de la planta hacia abajo. Las hojas se eligen a ambos lados de las líneas de cultivo. Se trata así de evitar posibles efectos sobre la orientación de las hojas. Cuando nos referimos a la hoja completa, incluimos el limbo o lámina y el peciolo. Para la interpretación de los valores foliares de los cultivos, se han utilizado las tablas de Casas y Casas [12] donde vienen especificadas para un cultivo en general, no para variedades específicas. Por lo tanto, en lechuga se usan los mismos parámetros para la “romana” y para “hoja de roble”.



De los resultados de las analíticas foliares resaltan los siguientes elementos:

En calabacín, de once parámetros analizados: ocho son iguales (cualitativamente) en todas las muestras, incluyendo testigo, dos parámetros coinciden en tres de cuatro muestras. Un parámetro coincide en dos de cuatro muestras. Es decir, a nivel foliar, no se aprecian grandes diferencias entre los diferentes compost aplicados ni entre cultivos con compost y testigo, lo que sí ocurre con la producción. Entre los parámetros más destacables, se observa: nitrógeno (poco en todas las muestras), fósforo (deficiente en Gáldar y Teror, poco en Firgas y testigo, posiblemente debido a las extracciones del cultivo), potasio (deficiente en todas las muestras, posiblemente debido a las extracciones del cultivo que tiene unas necesidades muy altas de éste elemento), calcio (alto en todas las muestras), magnesio (alto en todas las muestras) y sodio (bien en todas las muestras).

En la lechuga romana, de once parámetros: seis son iguales (cualitativamente) en todas las muestras, incluyendo testigo, cuatro parámetros coinciden en tres de cuatro muestras y un parámetro coincide en dos de cuatro muestras. Es decir, a nivel foliar no se aprecian grandes diferencias entre lodos ni entre lodos y testigo, salvo con el nitrógeno. Los parámetros más destacables son: nitrógeno (poco en los lodos y bien en el testigo, lo que se puede achacar a la alta producción de éstos con respecto al testigo), calcio (alto en todas las muestras) y sodio (alto en todas las muestras).

En hoja de roble, de once parámetros: ocho son iguales (cualitativamente) en todas las muestras, incluyendo testigo, dos parámetros coinciden en tres de cuatro muestras, un parámetro coincide en dos de cuatro muestras. Es decir, a nivel foliar no se aprecian grandes diferencias entre lodos ni entre lodos y testigo, lo que sí ocurre con la producción. Globalmente, no hay deficiencias, ni grandes diferencias, puede ser debido a la menor extracción de este cultivo.

En cuanto a las analíticas foliares el sodio se encuentra en niveles altos en lechugas y no en calabacín, lo cual puede deberse no a una menor presencia de sodio en suelo y agua del calabacín (son las mismas condiciones para todos los cultivos), sino posiblemente a que el cultivo del calabacín al tener un mayor desarrollo en biomasa haya generado que el sodio, que no es de utilidad para la planta, quede más repartido.

El sodio aparece tanto por los niveles del mismo en el agua de riego, como en el compost. En ambos casos se encuentran por encima de los niveles óptimos, lo cual a la larga causará problemas de desarrollo en cultivos sensibles, lo cual requiere el seguimiento del suelo y aportes periódicos de calcio, para contrarrestar este efecto.

El nivel de cloruros del agua puede producir ligeros problemas en cultivos sensibles como la lechuga.

El pH del suelo y agua (ambos alcalinos), no eran beneficiosos para un cultivo sensible como la lechuga. Donde se aportó compost, se ejerció por el mismo un efecto tampón en el suelo, regulando el pH y permitiendo un cultivo sano y productivo, al contrario que en el testigo, donde la mortalidad de plantas fue muy superior con respecto a los demás.

El calcio fue alto en todos los cultivos, por lo que es de suponer que con lo aportado por el compost sumado al contenido en suelo eran más que suficientes. Incluso en el testigo fue suficiente con el calcio del suelo.

A nivel foliar no se observan grandes diferencias entre compost y entre compost y testigo, aunque sí las haya en producción.

Entre cultivos sí hay diferencias entre algunos parámetros, pero debido a las características de los mismos, como son la mayor demanda de potasio del calabacín o la mayor concentración de sodio en lechugas.

Los niveles de sodio presentes en los compost y el agua de riego no son peligrosos, pero sí implica un control del nivel del mismo en el suelo, para contrarrestar sus efectos cuando se alcancen niveles no deseados.

A nivel foliar da igual aportar compost o no aportarlo, obviamente no es así a nivel de producción, conservación de la humedad y de estado sanitario.

#### **4. Conclusiones**

La aplicación de residuos de lodo al suelo agrícola aporta beneficios agronómicos, económicos y medioambientales gracias a la capacidad fertilizante de este compuesto como fuente de macronutrientes (nitrógeno y fósforo) y micronutrientes (hierro, zinc, cobre, etc.) y el alto porcentaje en materia orgánica, que favorece la mejora de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo receptor, sin olvidar que como todo residuo, su aplicación ha de estar sujeta a garantías y a adecuados procesamientos para que su aplicación en la agricultura no suponga un peligro para los cultivos, el suelo, el medio ambiente y los consumidores de los productos agrícolas.

A nivel metodológico, los resultados obtenidos solo aportan información sobre el experimento en sí realizado en base a lodos de las 3 depuradoras estudiadas. En ningún caso los resultados pueden considerarse representativos, ni extensibles a las demás depuradoras de la Isla. Sin embargo, la metodología establecida y validada en la implementación de este proyecto podrá ser utilizada en iniciativas o proyectos de carácter similar con el resto de las depuradoras. Igualmente, a partir de la caracterización otras depuradoras, se podrá alcanzar conclusiones sobre la extensión de los resultados obtenidos en este proyecto.

A nivel agronómico, el elevado contenido en sodio en los lodos iniciales se trasladan al suelo con la aplicación de compost, con lo que este elemento requerirá un seguimiento para evitar la sodificación del suelo. Igualmente, la aplicación de los compost supone la introducción de metales pesados en los suelos, que requiere un seguimiento exhaustivo con analíticas anuales. El coste de este seguimiento por parte del agricultor podría constituir un freno a la aplicación de compost de lodos por el elevado coste que supone.

A nivel legal, persiste una duda respecto de la posibilidad de usar el compost realizado con lodos en cultivos hortícolas que estén en contacto con el suelo. La normativa española RD 1310/1990 establece un periodo de 10 meses previo la recolección para este tipo de cultivo. Si se considera que el compost ha sido totalmente higienizado, no se justifica este plazo, ni a nivel sanitario, ni a nivel agronómico. Esta normativa, con más de 25 años de vigencia, no menciona explícitamente el compostaje entre los métodos de tratamiento, menos conocido en aquel entonces, sobre todo las virtudes de higienización y de impacto positivo sobre los contaminantes orgánicos. En otros términos, el concepto de "lodo tratado" no está bien acotado por la normativa vigente. En definitiva, siendo el objetivo del ensayo conocer los efectos del compost como

fertilizante, no constituye un factor limitante el uso de cultivos hortícolas. Sin embargo, apunta que, en caso de desarrollarse esta línea de trabajo, será necesaria una consulta jurídica específica para aclarar la cuestión.

Por lo tanto, los resultados se pueden considerar válidos para seguir profundizando en esta línea de valorización agrícola de los lodos. Sin embargo, parece más oportuno seguir los ensayos en frutales y hortalizas de fruto, dejando de lado las hortalizas de raíz y de hoja.

## 5. Agradecimientos

Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria, promotor y colaborador del proyecto de investigación.

## 6. Referencias

- [1] Ley 22/2011 de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados
- [2] Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre, por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario.
- [3] Directiva 86/278/CEE del Consejo de 12 de junio de 1986 relativa a la protección del medio ambiente y, en particular, de los suelos, en la utilización de los lodos de depuradora en agricultura
- [4] Orden AAA/1072/2013, de 7 de junio, sobre utilización de lodos de depuración en el sector agrario.
- [5] Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes
- [6] Universidad de California, Comité de Consultores, 1974. Para ciertos parámetros, no existen valores orientativos.
- [7] Mármol, J. R. (2000). Cultivo intensivo del calabacín. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Secretaría General Técnica.
- [8] Ríos Mesa, Domingo J., Ensayos de variedades de lechuga, campaña 2001-2002, Cabildo de Tenerife, 2002.
- [9] Comunicación personal Lola Raigón, Universidad politécnica de Valencia.
- [10] AECOSAN (Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición), AESAN/BEDCA Base de Datos Española de Composición de Alimentos v1.0 (2010), Disponible on line. <http://www.bedca.net/>
- [11] COAG-Canarias, Herramientas prácticas para el manejo microbiológico de los cultivos, 2011, CD, no publicado. [www.coagcanarias.com](http://www.coagcanarias.com)
- [12] Casas Castro, Antonio y Casas Barba, Elena, Análisis de Suelo-Agua-Planta y su aplicación en la nutrición de cultivos hortícolas en la zona peninsular. Caja Rural de Almería, 1999.

