



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH**

**Escola d'Enginyeria Agroalimentària
i de Biosistemes de Barcelona**

EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO Y CONTENIDO DE CLOROFILAS, CARBOHIDRATOS Y LÍPIDOS EN CULTIVO DE INVIERNO DE *LACTUCA SATIVA* L. FERTILIZADO CON ABONOS ORGÁNICOS

Trabajo final de grado

Ingeniería de Sistemas Biológicos

Autora: **Carmen Grech Hernández**

Tutoras: Dra. Nuria Cañameras Riba

Dra. Silvia Sans Molins

Noviembre 2020

Resumen

La fertilización afecta al desarrollo, rendimiento y calidad del cultivo. El uso excesivo de abonos de síntesis provoca un deterioro en la calidad del suelo. Como consecuencia se aconseja desarrollar modelos de agricultura alternativos que sean sostenibles. Uno de ellos es la valorización de residuos orgánicos como fuente de nutrientes de los cultivos de modo que se posibilite su reaprovechamiento y utilización como fertilizante alternativo a los de síntesis.

El objetivo principal de este trabajo es evaluar los efectos de la utilización de diferentes tipos de fertilización orgánica frente a una fertilización mineral en el crecimiento y desarrollo vegetal, contenido de clorofilas, carbohidratos y lípidos en un cultivo de lechuga variedad maravilla.

Para el ensayo se han utilizado fertilizantes minerales y fertilizantes orgánicos (fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FO-RSU), purines de cerdo y fangos de depuradora digeridos) y se han aplicado en una parcela de lechugas situada en la finca "Parc – UPC Agròpolis". Durante el tiempo de cultivo se evaluó la evolución del número de hojas y la longitud de la hoja más larga. Después de la cosecha del cultivo se cuantificó la biomasa y su contenido clorofílico y se determinó mediante tecnología del infrarrojo cercano las absorbancias del material vegetal. En los laboratorios del centro de investigación IDAEA-CISC, se determinó el contenido de carbohidratos y lípidos.

No se han observado diferencias significativas en el desarrollo y crecimiento de las plantas abonadas con el tratamiento mineral y los tratamientos orgánicos; en cambio sí que se apreciaron diferencias en el contenido de clorofilas de las lechugas abonadas con la FO-RSU y el fertilizante mineral, siendo éstas últimas las que presentaron un mayor contenido clorofílico. En el caso del contenido de carbohidratos y lípidos sí que presentaron diferencias significativas según el tratamiento aplicado, siendo la fertilización con FO-RSU la que produce un mayor porcentaje de estas macromoléculas. El uso de la espectroscopía del infrarrojo cercano ha permitido observar la creación de grupos según el tratamiento aplicado.

Palabras clave: Lechuga, fertilización, residuos orgánicos, espectroscopía NIR.

Resum

La fertilització afecta al desenvolupament, rendiment i qualitat del cultiu. L'ús excessiu d'abonaments de síntesis provoca una deterioració en la qualitat del sòl. Com a conseqüència s'aconsella desenvolupar models d'agricultura alternatius que siguin sostenibles. Un d'ells és la valorització de residus orgànics com a font de nutrients dels cultius de manera que es possibiliti el seu reaprofitament i utilització com a fertilitzant alternatiu als de síntesis.

L'objectiu principal d'aquest treball és avaluar els efectes de la utilització de diferents tipus de fertilització orgànica enfront d'una fertilització mineral en el creixement i desenvolupament vegetal, contingut de clorofil·les, carbohidrats i lípids en un cultiu d'enciam meravella.

Per a l'assaig s'han utilitzat fertilitzants minerals i fertilitzants orgànics (fracció orgànica dels residus sòlids urbans, purins de porc i fangs de depuradora digerits) i s'han aplicat en una parcel·la d'enciams situada en la finca "Parc – UPC Agròpolis". Durant el temps de cultiu es va avaluar l'evolució del nombre de fulles i la longitud de la fulla més llarga. Després de la collita del cultiu es va quantificar la biomassa i el seu contingut clorofil·lic i es va determinar mitjançant tecnologia de l'infraroig pròxim les absorbàncies del material vegetal. En els laboratoris del centre de recerca IDAEA-CISC, es va determinar el contingut de carbohidrats i lípids.

No s'han observat diferències significatives en el desenvolupament i creixement de les plantes adobades amb el tractament mineral i els tractaments orgànics; en canvi sí que es van apreciar diferències en el contingut de clorofil·les dels enciams abonats amb la FO-RSU i el fertilitzant mineral, sent aquestes últimes les que van presentar un major contingut clorofil·lic. En el cas del contingut de carbohidrats i lípids sí que van presentar diferències significatives segons el tractament aplicat, sent la fertilització amb FO-RSU la que produeix un major percentatge d'aquestes macromolècules. L'ús de l'espectroscòpia de l'infraroig pròxim ha permès observar la creació de grups segons el tractament aplicat.

Paraules clau: Enciam, fertilització, residus orgànics, espectroscòpia NIR.

Abstract

Fertilization affects the development, yield and quality of the crop. The excessive use of synthetic fertilisers causes a deterioration in the quality of the soil. As a result, it is advisable to develop alternative models of agriculture that are sustainable. One of these involves the use of organic waste as a source of nutrients for the crops. This may foster the reuse of such waste as it is being used as an alternative fertiliser to synthetic ones.

The principal aim of this work is to evaluate the effects of the use of different types of organic fertilization in contrast to mineral fertilization on plant growth and development, chlorophyll, carbohydrate and lipid content in a wonder lettuce crop.

Mineral and organic fertilizers (organic fraction of urban solid waste, pig manure and digested sewage sludge) were used for the trial and applied to a lettuce plot located on the "Parc - UPC Agròpolis" farm. During the cultivation time, the evolution of the number of leaves and the length of the longest leaf were evaluated. After the crop was harvested, the biomass and its chlorophyll content were quantified, and the absorbances in the plant material were determined using near-infrared technology. In the laboratories of the IDAEA-CISC research centre, the content of carbohydrates and lipids was measured.

No significant differences were observed in the development and growth of the plants fertilized with the mineral treatment and the organic treatments. Nevertheless, differences were observed in the chlorophyll content of the lettuces fertilized with the FO-RSU and the mineral fertilizer: the latter being the ones with the highest chlorophyll content. Regarding the content of carbohydrates and lipids, the results showed significant differences according to the treatment applied, with FO-RSU fertilization producing greater percentages of these macromolecules. The use of near-infrared spectroscopy has allowed us to observe the creation of groups corresponding to which treatment was applied.

Keywords: Lettuce, fertilization, organic waste, NIR spectroscopy.

Sumario

AGRADECIMIENTOS	12
1. INTRODUCCIÓN	14
1.1. Interés de una fertilización sostenible	14
1.2. Beneficios y riesgos de la fertilización.....	14
1.2.1. Beneficios y riesgos de la fertilización mineral	14
1.2.2. Beneficios y riesgos de la fertilización orgánica.....	15
1.2.3. Fertilizantes orgánicos utilizados en este estudio	16
1.3. <i>Lactuca sativa</i> L.	20
1.4. Antecedentes y motivaciones del trabajo	20
2. OBJETIVOS	23
2.1. Objetivo general	23
2.2. Objetivos específicos.....	23
3. MATERIAL Y MÉTODOS	25
3.1. Localización del experimento.....	25
3.1.1. Parcela experimental de cultivo.....	25
3.1.2. Laboratorios	26
3.2. Material vegetal	26
3.3. Fertilizantes	26
3.4. Tratamientos y diseño del experimento.....	29
3.4.1. Tratamientos	29
3.4.2. Dosificación de fertilizantes	29
3.4.3. Distribución de los tratamientos y repeticiones.....	30
3.5. Características del suelo.....	31
3.6. Características del agua de riego	33
3.7. Gestión del experimento.....	33
3.8. Evolución del desarrollo del cultivo	36
3.8.1. Número de hojas.....	37
3.8.2. Longitudes	37
3.9. Biomasa	38
3.9.1. Peso fresco	38
3.9.2. Peso seco	38

3.9.3.	Contenido en agua	39
3.10.	Clorofilas	40
3.10.1.	Medida de la cantidad de clorofilas con el CCM.....	40
3.11.	Determinación de carbohidratos y lípidos.....	41
3.11.1.	Preparación de las muestras.....	41
3.11.2.	Extracción de los carbohidratos y lípidos.....	42
3.11.3.	Cuantificación del contenido de carbohidratos y lípidos	43
3.12.	Espectroscopía del infrarrojo cercano (NIR)	44
3.13.	Incidencias meteorológicas y epidemiológicas.....	46
3.14.	Tratamiento estadístico	49
4.	RESULTADOS	51
4.1.	Número total de hojas y longitud de hoja más larga.....	51
4.2.	Biomasa	54
4.2.1.	Peso fresco	54
4.2.2.	Peso seco	54
4.2.3.	Contenido hídrico.....	55
4.3.	Efecto de la distribución de los tratamientos y repeticiones	56
4.4.	Contenido clorofílico	59
4.4.1.	Determinación del contenido total en clorofilas según el tratamiento.....	59
4.4.2.	Determinación del contenido en clorofilas según la posición de la hoja.....	61
4.4.3.	Determinación del contenido en clorofilas según la posición de la hoja entre tratamientos.....	63
4.5.	Contenido de carbohidratos y lípidos	66
4.6.	Registro de las absorbancias con la espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR)	69
4.7.	Análisis de los componentes principales de las características morfológicas, bioquímicas y espectroscópicas	70
5.	DISCUSIÓN	73
5.1.	Biomasa	73
5.2.	Clorofilas.....	75
5.3.	Carbohidratos y lípidos.....	75
5.4.	Espectroscopía del infrarrojo cercano	77
6.	CONCLUSIONES	79

BIBLIOGRAFÍA	81
ANEXOS	98
ANEXO A. CÁLCULO DE LAS DOSIS DE LOS FERTILIZANTES MINERAL Y ORGÁNICOS	102
ANEXO B. CROQUIS DEL ENSAYO DE CAMPO	105
ANEXO C. RESULTADOS DE LA ANOVA DEL TRATAMIENTO ESTADÍSTICO	110



Índice de figuras

Figura 3-1. Parcela experimental de cultivo. _____	25
Figura 3-2. Pila de FO-RSU de la planta de compostaje de Torrelles de Llobregat. _____	27
Figura 3-3. Balsa de purines de cerdo. _____	27
Figura 3-4. Fangos digeridos y deshidratados de la EDAR del Prat de Llobregat. _____	28
Figura 3-5. Distribución de los fertilizantes en cada subparcela experimental de cultivo. _____	30
Figura 3-6. Distribución de las plantas en cada subparcela. _____	31
Figura 3-7. Sistema de riego por goteo por cinta exudante. _____	33
Figura 3-8. Localización de las plantas seleccionadas para evaluar la evolución del cultivo (rectángulo rojo). _____	37
Figura 3-9. Biomasa al final del cultivo. _____	38
Figura 3-10. Determinación del peso seco con la balanza Sartorius BP 310 S de 0,001 g de resolución. _____	39
Figura 3-11. Disposición en bandejas de las lechugas para su secado. _____	39
Figura 3-12. Determinación de clorofilas mediante el OPTI-SCIENCES CCM - 200 plus. _____	40
Figura 3-13. Muestras en el baño de ultrasonidos después de añadir el disolvente. _____	42
Figura 3-14. Sistema empleado para la evaporación de los tubos y los filtros mediante flujo de nitrógeno y placa de calor. _____	42
Figura 3-15. Pesaje final después de la evaporación del contenido en carbohidratos (A) y de los lípidos (B). _____	43
Figura 3-16. Muestras de puré de lechuga dispuesto en tubos Falcon. _____	44

- Figura 3-17.** Disposición de las muestras de material vegetal triturado en bolsas herméticas. __ 45
- Figura 3-18.** Espectrofotómetro ANTARIS II FT-NIR Analyzer (A) y disposición de la muestra entre el lector y el reflector, con un paso de luz de dos milímetros (B). _____ 45
- Figura 3-19.** Gráfico de las precipitaciones acumuladas diarias y las temperaturas medias diarias de la estación meteorológica de Viladecans durante el periodo de cultivo. _____ 47
- Figura 3-20.** Parcela de cultivo tras el paso del temporal Gloria. _____ 48
- Figura 3-21.** Parcela de cultivo tras bombear la lámina de agua. _____ 48
- Figura 4-1.** Evolución del número total de hojas (A) y la longitud de la hoja más larga (B) en cultivo de lechuga, según el tratamiento aplicado. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados). _____ 52
- Figura 4-2.** Diagrama de valores individuales del número total de hojas (A) y la longitud de la hoja más larga (B) en cultivo de lechuga, según el tratamiento aplicado. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados). _____ 53
- Figura 4-3.** Diagrama de caja del peso fresco (A), del peso seco (B) y del contenido hídrico (C) en lechuga, según el tratamiento aplicado, con un nivel de significancia del 5%. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados). _____ 56
- Figura 4-4.** Efecto de la distribución de los tratamientos en los diferentes bloques. (LC1: Subparcela 1 de lechuga fertilizada con FO-RSU, LC2: Subparcela 2 de lechuga fertilizada con FO-RSU, LC3: Subparcela 3 de lechuga fertilizada con FO-RSU, LC4: Subparcela 4 de lechuga fertilizada con FO-RSU). (FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos). _____ 57
- Figura 4-5.** Diagrama de intervalos del peso fresco (A), peso seco (B) y el contenido hídrico (C) en lechuga, según el bloque, con un nivel de significancia del 5 %. (I: Bloque I, II: Bloque II, III: Bloque III, IV: Bloque IV). _____ 58

Figura 4-6. Diagrama de caja del contenido de clorofila *a*, *b* y total en lechuga, según el tratamiento aplicado, con un nivel de significancia del 5 %. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados). _____ 60

Figura 4-7. Diagrama de caja del contenido de clorofila *a* (A), clorofila *b* (B) y clorofila total (C), según la posición de hoja de lechuga y el tratamiento aplicado, con un nivel de significancia del 5 %. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados). _____ 63

Figura 4-8. Diagrama de caja del contenido de clorofila *a* (A), clorofila *b* (B) y clorofila total (C), según posición de hoja de lechuga entre tratamientos aplicados, con un nivel de significancia del 5 %. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados). _____ 66

Figura 4-9. Diagrama de intervalos del porcentaje de contenido en carbohidratos (A) y lípidos (B) en lechuga, según tratamiento aplicado, con un nivel de significancia del 5 %. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados). _____ 68

Figura 4-10. Espectros de las muestras por tratamientos. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados). _____ 69

Figura 4-11. Diagrama del análisis de componentes principales (PCA) para los dos primeros componentes principales de los datos medidos con metodología analítica estándar, explicando el 80,9 % de los datos. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados). ____ 71

Figura 4-12. Diagrama del análisis de componentes principales (PCA) para los dos primeros componentes principales de las absorbancias, explicando el 97,98 % de los datos. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados). _____ 71

Índice de tablas

Tabla 3-1. Caracterización de los fertilizantes orgánicos utilizados en el ensayo. (FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados).	28
Tabla 3-2. Dosis de los fertilizantes usados en el experimento.	30
Tabla 3-3. Características principales del suelo de las subparcelas de cultivo. Fuente: Eurofins Agroambiental, S.A. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados, s.m.s: sobre materia seca).	32
Tabla 3-4. Cronología de las actividades realizadas durante el experimento.	34
Tabla 4-1. Número total de hojas y longitud de la hoja más larga en cultivo de lechuga, según el tratamiento aplicado. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados).	52
Tabla 4-2. Biomasa final y contenido hídrico en lechuga, según el tratamiento aplicado. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados).	55
Tabla 4-3. Biomasa final y el contenido hídrico en lechuga para el tratamiento fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos en los diferentes bloques.	58
Tabla 4-4. Contenido total de clorofilas en lechuga, según el tratamiento aplicado. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados).	60
Tabla 4-5. Contenido de clorofila <i>a</i> , según la posición de la hoja de lechuga y el tratamiento aplicado. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados).	61

Tabla 4-6. Contenido de clorofila *b*, según la posición de la hoja de lechuga y el tratamiento aplicado. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados). _____ 62

Tabla 4-7. Contenido de clorofila total, según la posición de la hoja de lechuga y el tratamiento el aplicado. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados). _____ 62

Tabla 4-8. Contenido de clorofila *a* según la posición de la hoja de lechuga entre los tratamientos aplicados. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados). _____ 64

Tabla 4-9. Contenido de clorofila *b* según posición de la hoja de lechuga entre los tratamientos aplicados. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados). _____ 65

Tabla 4-10. Contenido de clorofila total según posición de la hoja de lechuga entre los tratamientos aplicados. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados). _____ 65

Tabla 4-11. Contenido de carbohidratos y lípidos en lechuga, según tratamiento aplicado. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados). _____ 67

Agradecimientos

Este Trabajo de Final de Grado ha contado con la inestimable colaboración de algunas personas a las que debo agradecer sinceramente su aportación.

Un especial agradecimiento merece el trabajo de la Dra. Nuria Cañameras. Su incansable dedicación, continuo estímulo y confianza son un ejemplo a seguir. Debo agradecer también a la Dra. Silvia Sans su inestimable colaboración y ayuda en el uso de la espectroscopía del infrarrojo cercano.

También debo expresar mi gratitud a la Dra. Nuria Carazo por su apoyo en la realización de la parte experimental en campo, así como a la compañera Paula Mullón. Agradecer a todo el equipo del Instituto de Diagnostico Ambiental y Estudios del Agua (CSIC), en especial al Dr. Víctor Matamoros y a la Técnica Yolanda Rodríguez por su colaboración en la extracción de carbohidratos y lípidos y la atención prestada.

A las profesoras Dra. Mònica Blanco y Dra. Marta Ginovart, les agradezco su supervisión y comentarios relativos al análisis estadístico de los resultados.

A los Sres. Miquel Massip y Daniel Fenero, les agradezco sus esfuerzos y dedicación en el mantenimiento de la parcela experimental situada en la finca de "Agròpolis" (UPC). Su inmediata actuación tras el paso del temporal Gloria fue decisiva para salvar el cultivo y permitir que el trabajo pudiese continuar.

Por último, debo tener un recuerdo, a mis padres, hermano y en especial a mi abuelo por su paciencia y aliento durante el tiempo invertido en este trabajo.

INTRODUCCIÓN

1. Introducción

1.1. Interés de una fertilización sostenible

La fertilización afecta de manera directa al desarrollo, rendimiento y calidad del cultivo. No obstante, el uso excesivo de estos abonos provoca un deterioro en la calidad del suelo e incluso podría provocar una disminución en el rendimiento del cultivo.

Por ello y la creciente preocupación sobre el calentamiento global, debida a la emisión de gases de efecto invernadero hacia la atmosfera, llevan a implementar un modelo de agricultura sostenible, basada, entre otros, en la valorización de residuos orgánicos y el reaprovechamiento de ellos como fertilizantes, reemplazando los fertilizantes de síntesis por los mencionados anteriormente como fuente de nutrientes para los cultivos.

La agricultura sostenible implica la producción agrícola con el mínimo impacto ambiental y la mínima utilización de recursos como, por ejemplo, el agua, los nutrientes, los pesticidas y la maquinaria entre otros muchos.

1.2. Beneficios y riesgos de la fertilización

1.2.1. Beneficios y riesgos de la fertilización mineral

Según el *Real Decreto 506/2013*, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes, un fertilizante o abono mineral o inorgánico se define como aquel que ha sido obtenido mediante la extracción o procedimientos industriales de carácter físico o químico, y cuyos nutrientes declarados se presentan en forma mineral (BOE, 2013).

La fertilización química, especialmente los abonos nitrogenados sintéticos, ha contribuido en la mejora de los rendimientos de los cultivos desde la de década del año 1950 (Robertson y Vitousek, 2009). Estos fertilizantes inorgánicos son solubles en agua, por ello pueden liberar de forma eficaz el nitrógeno para que sea fácilmente asimilable por la planta, lo que mejora el crecimiento del cultivo. No obstante, el uso excesivo de abonos nitrogenados provoca una disminución en la eficiencia del uso de los nutrientes (Gai et al., 2016), un deterioro en la calidad del suelo y un

incremento en la emisión de gases de efecto invernadero y también una disminución en el rendimiento del cultivo (Savci, 2012). La producción de dichos fertilizantes tiene un elevado coste de producción y un alto coste energético, también acarrea riesgos como la pérdida de fertilidad de los suelos, la contaminación de los recursos naturales y el medio ambiente.

1.2.2. Beneficios y riesgos de la fertilización orgánica

Según el *Real Decreto 506/2013*, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes, un fertilizante orgánico se define como un producto cuya función principal es aportar nutrientes a las plantas, los cuales proceden de materiales carbonados de origen animal o vegetal (BOE, 2013).

Diferentes estudios demuestran que los abonos orgánicos aportan los macronutrientes necesarios para el crecimiento vegetal, manteniendo de la misma manera los rendimientos potenciales de las cosechas (Blatt, 1991; Lee, 2010; Margenat et al., 2020), a la vez que permiten aumentar el contenido de materia orgánica de los suelos (Herencia et al., 2007).

La mayoría los nutrientes contenidos en los fertilizantes orgánicos no se encuentran disponibles de forma inmediata para el cultivo, ya que están en forma orgánica (Herencia et al., 2007), y serán así asimilados por las plantas de forma más paulatina y gradual que los fertilizantes minerales. Por ejemplo, en el caso del nitrógeno debe transformarse a formas inorgánicas, como el nitrógeno amoniacal y el nitrógeno nítrico, que pueden ser absorbidas por el sistema radicular (Saña et al., 1996).

La materia orgánica forma complejos con los minerales presentes en los suelos y mejora sus características físicas (porosidad, retención de agua, permeabilidad...), promueve el desarrollo radicular y estimula la flora microbiana que a la vez facilita la transformación de los compuestos del suelo en nutrientes disponibles para los cultivos (Snyman et al., 1998; Shaheen et al., 2007; Carbonell et al., 2011). Además, se evitan pérdidas por lixiviación.

La aportación de biosólidos como fertilizantes puede favorecer la adición de algunos micronutrientes al suelo, que con una fertilización mineral no serían aportados (Seleiman et al., 2012, 2013a, 2013b).

Sin embargo, la fertilización orgánica conlleva la presencia de contaminantes orgánicos e inorgánicos, por ejemplo, la fertilización con fango de depuradora o deyecciones ganaderas

puede conllevar un aumento significativo de metales pesados en el suelo (Kim et al., 2011; An et al., 2015; Iglesias et al., 2018; McKinney et al., 2018) y una acumulación de antibióticos (Boxall et al., 2004; Cheng et al., 2014; Jechalke et al., 2014), ya que el 90 % de los antibióticos suministrados son excretados por los animales (Kim et al., 2011, Massé et al., 2014; Spielmeier, 2018). En consecuencia, los cultivos pueden asimilar elementos traza y antibióticos (Ahmed et al., 2015; Guoqing et al., 2019; Yu et al., 2009; Margenat et al., 2020; You et al., 2020; Tadić et al., 2021) y entrar en la cadena alimentaria (Boxall et al., 2004; Jechalke et al., 2014). Además, los contaminantes bioactivos, pueden causar efectos perjudiciales en la microbiota del suelo (Cerqueira et al., 2019a, 2019b); Hammesfahr et al., 2011; Cycoń et al., 2019). Diferentes autores han encontrado también que los suelos que son fertilizados con estiércol o lodos de depuradora incrementan significativamente la abundancia de genes de resistencia a los antibióticos en organismos vivos presentes (Zhao et al., 2016; Pan y Chu et al., 2017; McKinney et al., 2018; Ngigi et al., 2020).

Los fertilizantes biosólidos pueden aportar también al suelo otros contaminantes orgánicos como productos de cuidado personal, bisfenoles, disruptores endocrinos, benzotriazolas, triclosán, pesticidas o productos veterinarios (Jelic et al., 2011; Martín et al., 2012; Rigby et al., 2020).

A pesar de los posibles efectos adversos que puedan tener estos fertilizantes orgánicos, su uso es muy recomendable en los cultivos que no están destinados a la alimentación, como por ejemplo los cultivos bioenergéticos para la producción de biocombustibles.

1.2.3. Fertilizantes orgánicos utilizados en este estudio

Fración orgánica de residuos sólidos urbanos

La ley de residuos en el estado español (*Ley 22/2011*, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados), vigente actualmente, recoge la definición de residuos domésticos o bien residuos sólidos urbanos (RSU) como aquellos residuos generados en los hogares como consecuencia de las actividades domésticas. Incluyéndose también en esta categoría los residuos procedentes de la

industria y servicios, similares a los mencionados anteriormente. Así como los producidos por la limpieza de vías públicas, zonas verdes, áreas recreativas y playas (BOE, 2011).

La principal salida que se les da a estos residuos es el vertido, una opción muy poco sostenible desde el punto de vista medioambiental (Grau y Farré, 2011), ya que pueden suponer un problema de anaerobiosis y generación de lixiviados, efectos que pueden agravar la contaminación de aguas subterráneas y la emisión de gases de efecto invernadero (Lee et al., 2004; Lastra, 2013). Por ello en los últimos años se están impulsando medidas contra esta salida, gracias a las Directivas Europeas sobre residuos 2008/98/CE y 1999/31/CE (DOCE, 1999; DOUE, 2008).

Una solución para la reducción de dichos residuos y revalorizar su fracción orgánica se obtiene mediante el compostaje, ya que, debido a su contenido en microorganismos, frecuentemente patógenos, su uso directamente como abono directo, es decir, sin compostar, es limitada y requiere normalmente su compostaje. Este proceso es una tecnología de bajo coste que permite transformar residuos y subproductos orgánicos en materiales estables mediante un proceso biológico controlado de oxidación, obteniéndose un fertilizante con una composición rica en nutrientes como el nitrógeno, el fósforo y el potasio. Además, varios estudios han demostrado que este material produce mejoras considerables en el suelo tanto en sus propiedades fisicoquímicas como en las estructurales (López et al., 2010).

Usar la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos (FO-RSU) o compost como fertilizante es especialmente útil en el mantenimiento de la fertilidad del suelo, debido a su alto contenido de materia orgánica estable y nutrientes. Además, usar este tipo de compost como abono mejora la captación de nutrientes por parte de las plantas (Gil-Sostres et al., 1992; Pascual et al., 1999).

Según la Agencia de Residuos de Cataluña en el año 2019 cada habitante de Cataluña generó una media de 1,44 kg de residuos municipales diarios, lo que supuso una generación total de 4.037.309 toneladas de este tipo de residuos en todo el territorio catalán. La recogida selectiva bruta supuso un 44,80 % del total de RSU. Del total de la recogida selectiva el 24,34 % corresponde a la fracción orgánica de residuos municipales (FORM) (439.968 toneladas). No obstante, sólo supone un 10,90 % del total de residuos municipales recogidos (ARC, 2020).

Purines de cerdo

El purín de cerdo es un residuo líquido procedente de las granjas de ganado porcino, y está compuesto por heces y orines de los animales, aguas de lavado, restos de comida y de abrevaderos.

El reciclaje de los purines de cerdo como fertilizante en agricultura viene promovido, principalmente, por su contenido en materia orgánica, macronutrientes (N, P y K) y micronutrientes (Cu, Zn, Fe y Mn) disponibles para las plantas y limitado por su elevada conductividad eléctrica, contaminantes orgánicos emergentes, elementos traza y microorganismos fecales y patógenos (Christensen y Johnston 1997; Bernal et al., 1992; Boxall et al., 2006; Margenat et al., 2020), transformándose así un residuo en recurso (Schröder et al., 2005; Westerman y Bicudo, 2005). Fertilizar el suelo con dosis adecuadas con este abono orgánico permite a los cultivos alcanzar un rendimiento óptimo, pudiendo así, reemplazar a los fertilizantes minerales (Brechtin y McDonald, 1994; Petersen, 1996; Daudén y Quílez, 2004).

A diferencia del compost, el purín a menudo es aplicado directamente a las parcelas de cultivo, sin tratamiento previo (Daudén et al. 2004; Ros et al., 2007). No obstante, desde el año 2018 se exige, a nivel comunitario, que para su aplicación sea necesario el uso de equipos que permiten una aplicación cerca del suelo (BOE, 2018).

El aumento en la explotación de la industria porcina ha provocado un aumento en la cantidad de residuos sólidos y líquidos producidos por estos animales. Las deyecciones ganaderas generadas, mayoritariamente en forma de purines, se usan como fertilizante para la producción de grano y forraje, siendo la aplicación directa en campo la más común por ser la opción más económica y para evitar la acumulación de estos residuos (Valdez-Ibañez et al., 2019). No obstante, debido a su elevada concentración en nitrógeno su uso como fertilizante puede generar problemas para las masas de agua subterráneas, especialmente en zonas vulnerables.

España, siendo Cataluña la autonomía con mayor número de unidades porcinas, se sitúa en segunda posición detrás de Alemania como principal productor porcino de la unión europea y en cuarto lugar a nivel mundial (Sabrià, 2018; MAPA, 2020). En Cataluña la cabaña porcina se mantiene estos últimos años en torno a los 7,8 millones de cabezas (DARP, 2020). Estas unidades generan anualmente en torno a los 60 millones de kilogramos de purín (valor estimado por la autora de este Trabajo Final de Grado (TFG) a partir de Serrano (2001) y DARP (2020).

Fangos de depuradora

Los fangos o lodos de depuradora son una mezcla de agua y sólidos separada del agua residual a través de un proceso natural o artificial, que se generan a partir de las distintas etapas de depuración de dichas aguas residuales. A pesar de que son parcialmente deshidratados se caracterizan por ser un producto que posee un alto contenido hídrico (> 70 %). Su composición varía según los tratamientos realizados para la depuración del agua. Poseen un elevado valor agronómico (materia orgánica, macro y micronutrientes), pero a su vez contienen metales pesados, patógenos y contaminantes orgánicos. Estos fangos, se tratan en la estación depuradora de aguas residuales con la finalidad de disminuir su contenido hídrico, la presencia de patógenos y estabilizar la materia orgánica. Se someten a un proceso de digestión, siendo la más utilizada la digestión anaerobia que produce biogás y fango digerido estable.

Los fangos son gestionados por gestores autorizados de acuerdo con la *Ley 22/2011*, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados (BOE, 2011). Uno de los tratamientos más frecuentes es la digestión anaerobia.

Los fangos que se obtienen de las estaciones de depuradoras de aguas residuales son ricos en nitrógeno, fósforo y potasio (Sims y Pierzynski, 2000; Martinez et al., 2003; Shober et al., 2003; Walter et al., 2006), y se utilizan principalmente como recurso para fertilizar suelos agrícolas. Este producto, debido a su procedencia, tal y como se ha descrito anteriormente, presenta en su contenido elementos potencialmente tóxicos (elementos traza y contaminantes orgánicos emergentes). Por esta razón, es importante no aplicar este material en dosis excesivas como fertilizantes en el suelo, ya que estos podrían contaminar las aguas superficiales y subterráneas y afectar además al rendimiento y calidad del cultivo, pudiendo representar también un peligro para la salud humana y animal. Consecuentemente, previo a su utilización como abono orgánico debería ser analizado para evaluar su aptitud antes de ser incorporado al suelo.

Según la Agencia Catalana del Agua, se estima que a nivel autonómico la producción de fangos se sitúa en una media de 43 g de materia seca por persona y día, resultando una producción anual entorno a las 110.000 toneladas de materia seca que representan 500.000 toneladas de fangos digeridos y deshidratados (ACA, 2019).

1.3. *Lactuca sativa* L.

La lechuga (*Lactuca sativa* L.) es una hortaliza que pertenece a la familia de las asteráceas (compuestas). Se cultiva en todos los continentes, pero especialmente en las regiones templadas y subtropicales. Esta hortaliza es uno de los vegetales más consumidos en la dieta del ser humano y esto es debido a su valor nutricional. Sin embargo, este contenido nutricional puede variar según la variedad, las condiciones ambientales del cultivo y también por su morfología, ya que, la síntesis o absorción de muchos nutrientes depende de la luz, y esta planta se caracteriza por el encerramiento de sus hojas en la estructura de un cogollo (Mou, 2012).

La aplicación de fertilizantes convencionales es el método más utilizado en agricultura para aumentar su rendimiento (Stamford et al., 2019). Este cultivo tiene altas exigencias en la absorción de nutrientes, concretamente el nitrógeno, potasio y fósforo (Mello, 2006). Los fertilizantes orgánicos aplicados a este tipo de cultivos pueden producir rendimientos similares a los cultivados con abonos minerales siempre y cuando se ajusten a unas mismas unidades fertilizantes (Herencia et al., 2007; Lopedota et al., 2013). No obstante, como se ha mencionado anteriormente, algunos de los abonos orgánicos presentan en su composición elementos traza y contaminantes orgánicos emergentes. Para su correcta y segura aplicación, evitando así el máximo riesgo de contaminación de suelos y freáticos y preservar la salud de la población es necesario evaluar su acumulación e interacción con la microbiota del suelo y a la vez estudiar la metabolómica de dichos contaminantes en el material vegetal.

1.4. Antecedentes y motivaciones del trabajo

Este trabajo forma parte de un proyecto RETOS, financiado por el Ministerio Ciencia, Innovación y Universidades. El proyecto está liderado por el Dr. Josep M. Bayona y el Dr. Víctor Matamoros y lleva por título “Dinámica de la acumulación de antibióticos, metales y genes de resistencia bacteriana en cultivos agrícolas por fertilización orgánica. Implicaciones en la producción vegetal y seguridad alimentaria”. El código de referencia del proyecto es: AGL2017-899518-R, y el acrónimo a emplear es DAMA. Esta investigación se está llevando a cabo entre el laboratorio IDAEA-CSIC y la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).

Varios son los años de investigación donde el equipo liderado por el Dr. Bayona ha estudiado el impacto de contaminantes orgánicos y elementos traza en cultivos hortícolas, con singular interés a la fertilización orgánica y al riego con aguas que contienen dicho tipo de xenobióticos (Calderón-Preciado et al., 2011a, 2011b, 2013; Hurtado et al., 2016, 2017; Margenat et al., 2017 2018,2019, 2020).

También se han vinculado a este proyecto RETOS Trabajos de final de Grado anteriores, donde se han estudiado el efecto del uso de fertilizantes orgánicos en cultivo de *Lactuca sativa* L. en invernadero (Jaray, 2019; Perdomo, 2020) y en una parcela de cultivo (Alvarado, 2020). Este último TFG se llevó a cabo en la primera campaña de cultivo (primavera), y el presente trabajo pertenece a la segunda campaña de cultivo (otoño – invierno).

En nuestro trabajo se plantea el interés de la fertilización orgánica, como sustituto de la fertilización convencional mineral, mediante el reaprovechamiento y valorización de los diferentes residuos orgánicos producidos por los núcleos urbanos y la industria agroalimentaria. Por esa razón se analizará y valorará el efecto de la incorporación de diferentes tipos de abonos orgánicos frente a la aplicación de abono mineral en cultivo de lechuga para diferentes parámetros de calidad agronómico, como son la biomasa producida, el contenido en clorofilas, carbohidratos y lípidos.

OBJETIVOS



2. Objetivos

2.1. Objetivo general

El objetivo general de este trabajo de final de grado es evaluar diferentes tipos de fertilización orgánica (fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, purines de cerdo y fangos de depuradora), frente a una fertilización mineral en el crecimiento y desarrollo vegetal, contenido de clorofilas, carbohidratos y lípidos en un cultivo de lechuga maravilla (*Lactuca sativa* L.).

2.2. Objetivos específicos

Para poder alcanzar el objetivo general, se definieron los siguientes objetivos específicos:

- Cuantificar la evolución del crecimiento (número de hojas y longitud de la hoja más larga) del cultivo.
- Evaluar la biomasa producida (peso fresco, peso seco) por el cultivo.
- Determinar el contenido de clorofilas *a*, *b* y total por tratamiento y posición foliar.
- Valorar el contenido total de carbohidratos y lípidos.
- Determinar diferencias en el material vegetal por tecnología de espectroscopía del infrarrojo cercano.

MATERIAL Y MÉTODOS



3. Material y métodos

3.1. Localización del experimento

La parte experimental de campo de este trabajo de final de grado fue realizada en una de las parcelas de cultivo (Fig. 3-1) ubicada en “Parc UPC - Agròpolis”, situado en Camí de les Filipines 110 (longitud 2°03_E, latitud 41°17_N), en el municipio de Viladecans, comarca del Baix Llobregat. Las determinaciones analíticas fueron realizadas en laboratorios de la Escola d’Enginyeria Agroalimentària i de Biosistemes de Barcelona (EEABB) y del Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua (IDAEA-CSIC).



Figura 3-1. Parcela experimental de cultivo.

3.1.1. Parcela experimental de cultivo

Tal y como se ha indicado en el apartado 3.4.1. el experimento corresponde a una segunda campaña de cultivo de lechuga. Por este motivo la parcela experimental fue la misma que la usada en la anterior campaña (Fig. 3-1.). Por eso se respetó la disposición de los bloques y de las repeticiones (apartado 3.4.3.).

La parcela destinada para el cultivo de lechugas tiene unas dimensiones de 93 x 25 m, especificado en el apartado 3.4.1.

3.1.2. Laboratorios

Producción vegetal

En el laboratorio de producción vegetal de la EEABB (laboratorio 307 del edificio D4), se realizaron gran parte de las determinaciones gravimétricas y clorofílicas cuantificadas en este trabajo.

Microbiología

En el laboratorio de microbiología de la EEABB (laboratorio 013 del edificio D4) se encuentra el espectrofotómetro ANTARIS II FT-NIR Analyzer (TermoFisher Scientific) y es donde se realizó la lectura y registro de las muestras en puré proporcionadas por los laboratorios de IDAEA-CSIC.

IDAEA-CSIC

En los laboratorios del centro de investigación IDAEA-CSIC se realizó la extracción de los carbohidratos y los lípidos.

3.2. Material vegetal

Para la realización de este experimento se empleó como material vegetal *Lactuca sativa* L. variedad Maravilla. El plantel fue adquirido en la empresa Jordi Planters de Viladecans. Se adquirieron tres bandejas de 200 plántulas cada una. De acuerdo con la distribución de los tratamientos y repeticiones realizados en el experimento (apartado 3.4.3.) del total de plántulas adquiridas se trasplantaron, inicialmente, 504.

3.3. Fertilizantes

Los fertilizantes empleados en el experimento fueron de dos tipos: minerales y orgánicos. Las dosis empleadas y la distribución de los fertilizantes en las subparcelas se encuentran detalladas en el apartado 3.4.2.

Los fertilizantes aplicados en el ensayo fueron los siguientes:

- **Fertilizantes minerales:**

- Nitrato amónico (34% N)
- Superfosfato (43,6 % P₂O₅)
- Sulfato potásico (54 % K₂O)

- **Fertilizantes orgánicos:**

- Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos (FO-RSU), de la planta de compostaje de Torrelles de Llobregat. La materia prima que forma este compost es una mezcla de restos de poda procedentes de zonas cercanas al municipio, restos vegetales de la cocina del “Hospital Universitari Vall d’Hebrón” y restos vegetales de Mercabarna (Fig. 3-2.).



Figura 3-2. Pila de FO-RSU de la planta de compostaje de Torrelles de Llobregat.

- Purines de cerdo de lechones de 6 a 20 kg de peso, obtenidos en una granja de cerdos de engorde. Esta recogida fue facilitada por técnicos del “Departament d’Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació.” La granja y la correspondiente balsa que contenía los purines (Fig. 3-3.) estaba ubicada en el término municipal de Gurb (Osona) (Fig. 3-3.).



Figura 3-3. Balsa de purines de cerdo.

- Fangos digeridos y deshidratados de la EDAR (Estación depuradora de aguas residuales) del Prat de Llobregat, aptos para ser empleados en agricultura (cultivos extensivos). Estos fangos fueron facilitados por la empresa gestora Edafo Gm S.A. y recogidos en una finca agrícola ubicada (41°12' N – 1°37'E) en el municipio de Cunit (Fig. 3-4.).



Figura 3-4. Fangos digeridos y deshidratados de la EDAR del Prat de Llobregat.

Tabla 3-1. Caracterización de los fertilizantes orgánicos utilizados en el ensayo. (FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados).

Fertilizante	N	N amoniacal	P ₂ O ₅	K ₂ O	Materia seca
FO-RSU	1,74 % s.m.s	0,29 % s.m.s	2,5 % s.m.s	5,8 % s.m.s	80 %
P	4,89 % s.m.s	3,40 % s.m.s	3,71 % s.m.s	2,43 % s.m.s	7 %
F	5,4 % s.m.s	1,74 % s.m.s	5.5 % s.m.s	0,4 % s.m.s	20 %

La caracterización de los abonos orgánicos (FO-RSU y fangos digeridos y deshidratados) empleados en este ensayo fue realizada por la empresa Eurofins Agroambiental S.A. Sin embargo, la determinación de la materia seca fue realizada previamente a la incorporación de los abonos al suelo, a partir de muestras previamente secadas. El contenido mineral de los purines fue estimado a partir de datos publicados por la “oficina de fertilització i tractament de dejeccions ramaderes” (Tabla 3-1.).

3.4. Tratamientos y diseño del experimento

3.4.1. Tratamientos

Como se explica en los apartados 3.2. y 3.3. la especie vegetal utilizada fue *Lactuca sativa* L. abonada con cuatro tipos de fertilizantes (tres orgánicos y uno mineral). Para cada uno de estos cuatro tratamientos, en la primera campaña de cultivo, se establecieron cuatro réplicas, repartidas al azar, entre las dieciséis subparcelas correspondientes. Tal y como se ha mencionado en el apartado 3.1.1. en esta segunda campaña se mantuvo la misma disposición.

Las dimensiones de las subparcelas experimentales fueron de 6 m² (1,20 m x 5 m). Debido a la baja disponibilidad del fertilizante purín de cerdo, la superficie de las subparcelas sometidas a este tratamiento tuvo que ajustarse a 3 m² (1,20 m x 2,5 m).

3.4.2. Dosificación de fertilizantes

Para cada uno de los cuatro tratamientos empleados, se realizaron cuatro repeticiones, lo que supone un total de dieciséis subparcelas de cultivo. La cantidad de abono a incorporar al suelo se determinó mediante el ajuste entre la necesidad de nitrógeno del cultivo y la riqueza en nitrógeno de cada uno de los fertilizantes (Anexo A.). En la tabla 3-2. se especifica la dosis incorporada para cada uno de los tratamientos.

Las unidades fertilizantes por utilizar se calcularon a partir de las extracciones descritas para lechuga por Pomares y Ramos (2010):

$$N = (80 - 100) \frac{kg}{ha}; \quad P_2O_5 = (30 - 50) \frac{kg}{ha}, \quad K_2O = (160 - 210) \frac{kg}{ha}$$

Por ello en este experimento se estableció que, para el cálculo de la dosis a aplicar de abono mineral, se ajustará a 10 $\frac{g}{m^2}$ de N, 4 $\frac{g}{m^2}$ de P₂O₅ y 18,5 $\frac{g}{m^2}$ de K₂O. En el caso de los abonos orgánicos las cantidades aplicadas se determinaron a partir de la necesidad nitrogenada y de los aportes nitrogenados de los fertilizantes (Tabla 3-2.).

Tabla 3-2. Dosis de los fertilizantes usados en el experimento.

Nitrato amónico	58,83 g/m ²
Superfosfato	9,16 g/ m ²
Sulfato potásico	34,33 g/ m ²
Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos	4333,33 g/ m ²
Purines de cerdo	4 L/ m ²
Fangos digeridos y deshidratados	3000 g/ m ²

3.4.3. Distribución de los tratamientos y repeticiones

La distribución de los tratamientos para esta segunda campaña de cultivo y para cada subparcela fue la misma que la establecida aleatoriamente en la primera campaña de cultivo (Alvarado, 2020), a excepción de la localización de las repeticiones LF4 y LC4 que, por error, en el momento de la aplicación de los fertilizantes, se intercambiaron los tratamientos entre sí. En la figura 3-5., se detalla la disposición las subparcelas en la zona de cultivo y cuáles de ellas fueron destinadas a cada tipo de tratamiento.

Para cada tratamiento identificado como LM (lechuga mineral), LC (lechuga FO-RSU), LP (lechuga purín), LF (lechuga fango), se realizaron 4 réplicas, identificadas con la numeración del 1 al 4.

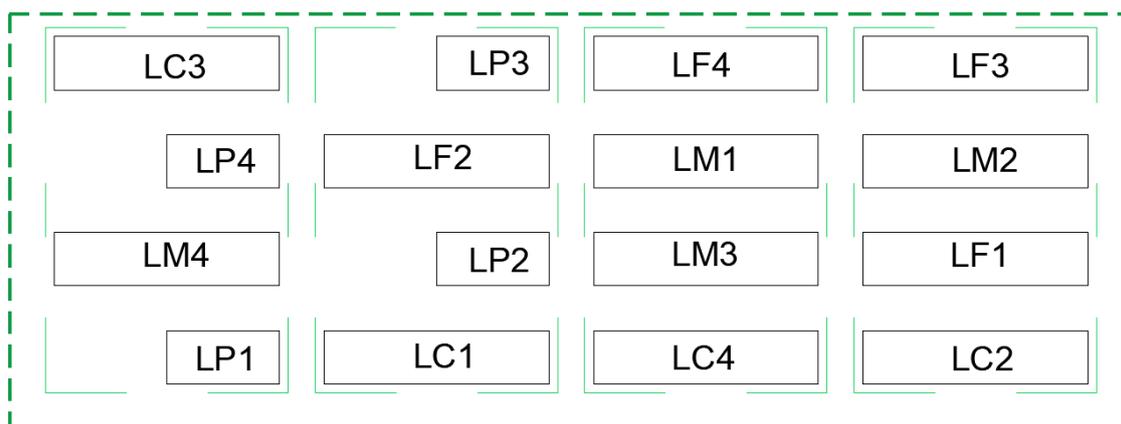


Figura 3-5. Distribución de los fertilizantes en cada subparcela experimental de cultivo. Fuente: Elaboración propia.

Referente al material vegetal, se plantaron 12 plántulas por cada línea de riego, lo que supone un total de 36 por subparcela (apartado 3.2.) tal y como se muestra en la figura 3-6., a excepción de la subparcela de purín en donde se plantaron 6 plántulas por cada línea de riego. El marco de plantación a tresbolillo establecido fue de 40 cm x 30 cm (Anexo B, Fig. B-3.).

Para el cultivo se utilizaron 504 plántulas de lechuga:

- 432 plántulas fueron destinadas a las subparcelas fertilizadas con mineral, FO-RSU y fangos digeridos y deshidratados (144 por tratamiento).
- 72 plántulas fueron plantadas en las subparcelas fertilizadas con purines de cerdo.

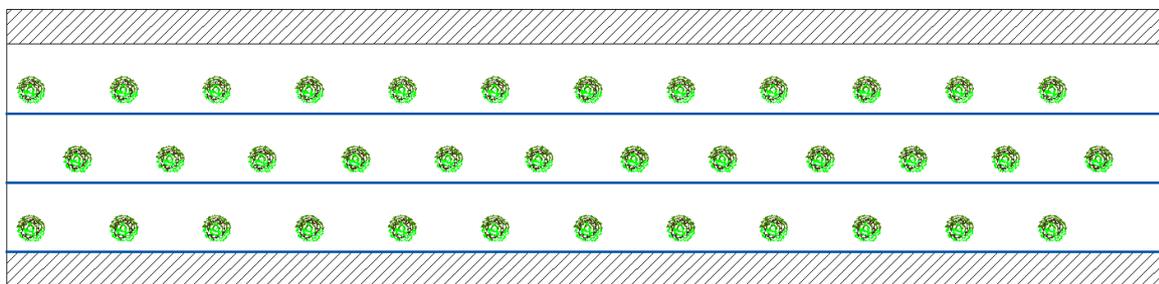


Figura 3-6. Distribución de las plantas en cada subparcela. Fuente: Elaboración propia.

3.5. Características del suelo

Previamente a la plantación de la segunda campaña de cultivo se recogieron cuatro muestras de suelo compuestas a partir de una agrupación de muestras simples de suelo procedentes de cada una de las cuatro subparcelas establecidas por tratamiento (Tabla 3-3.). Los resultados de estas analíticas nos indican que, al inicio de esta segunda campaña, en el suelo no hay deficiencia ni de fósforo ni de potasio y, en consecuencia, a pesar de que el fertilizante fango es deficitario en potasio y el FO-RSU y el purín son deficitarios en fósforo se decidió no aplicar ninguna aportación suplementaria de estos macroelementos.

Los análisis fueron realizados por la empresa Eurofins Agroambiental, S.A.

Tabla 3-3. Características principales del suelo de las subparcelas de cultivo. Fuente: Eurofins Agroambiental, S.A. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados, s.m.s: sobre materia seca).

Parámetros	Subparcela y tipo de fertilización aplicada				
	Suelo inicio segunda campaña				
	Suelo inicio primera campaña	FM	FO-RSU	P	F
Materia Orgánica	1,3 % s.m.s	-	-	-	-
Humedad 105 °C	1,33 %	1,44 %	1,48 %	1,47 %	1,48 %
pH	8,5	8,4	8,4	8,4	8,4
N. Nítrico (NO₃)	-	13,0 mg/Kg s.m.s	18,8 mg/Kg s.m.s	17,7 mg/Kg s.m.s	14,8 mg/Kg s.m.s
Fósforo (P) (Oslen)	33 mg/Kg s.m.s	22 mg/Kg s.m.s	28 mg/Kg s.m.s	23 mg/Kg s.m.s	35 mg/Kg s.m.s
Potasio (K)	344 mg/Kg s.m.s	366 mg/Kg s.m.s	476 mg/Kg s.m.s	384 mg/Kg s.m.s	295 mg/Kg s.m.s
Calcio (Ca)	7014 mg/Kg s.m.s	6130 mg/Kg s.m.s	6381 mg/Kg s.m.s	6267 mg/Kg s.m.s	6424 mg/Kg s.m.s
Magnesio (Mg)	362 mg/Kg s.m.s	426 mg/Kg s.m.s	445 mg/Kg s.m.s	440 mg/Kg s.m.s	416 mg/Kg s.m.s
Sodio (Na)	91 mg/Kg s.m.s	117 mg/Kg s.m.s	121 mg/Kg s.m.s	121 mg/Kg s.m.s	125 mg/Kg s.m.s
Nitrógeno (N)	0,089 % s.m.s	0,121 % s.m.s	0,156 % s.m.s	0,125 % s.m.s	0,108 % s.m.s

3.6. Características del agua de riego

Para regar se utilizó un sistema de riego por goteo por cinta exudante AQUA-TRAXX (TRO) (Fig. 3-7), de un caudal de 1,14 L/h y una separación entre goteros de 20 cm. El agua procedía, principalmente, de la lluvia (65%) almacenada en un depósito pluvial de la finca de “Agròpolis” situado debajo de uno de los invernaderos y agua de pozo (35%). La frecuencia de riego fue de tres días a la semana (lunes, miércoles y viernes) durante 30 minutos. Cabe destacar que esta pauta de riego dependió de la distribución y cuantía de las precipitaciones.



Figura 3-7. Sistema de riego por goteo por cinta exudante.

La conductividad eléctrica y el pH medio del agua de riego aplicada durante el estudio fue respectivamente de 0,9 dS/m y 7,5. Estos parámetros fueron medidos con un conductímetro y un pH-metro de la marca Crison. No obstante, hay que tener presente que durante el período que duró el ensayo de campo, se registraron veinte días de lluvia, dos de las cuales superaron los 50 mm (Fig. 3-19.).

Como se muestra en la figura 3-7. se instalaron tres cintas de riego separadas entre ellas 30 cm, dejando un margen en la primera de 15 cm desde el inicio de la subparcela (Anexo B., Fig. B-3).

3.7. Gestión del experimento

La gestión del experimento consta de dos partes. La primera hace referencia a todas las acciones que fueron necesarias para el inicio del cultivo y durante su desarrollo, y la segunda puede vincularse a todas las tareas que se realizaron después de la cosecha, las cuales incluían el análisis y la determinación de los parámetros establecidos (apartados 3.9., 3.10., 3.11.).

Primeramente, se hizo un trabajo de acondicionamiento de la parcela, donde se delimitaron sus márgenes exteriores y los de cada subparcela.

El segundo paso fue la adquisición de todo el material necesario para realizar el ensayo, como el material vegetal y los fertilizantes, su procedencia esta descrita en el apartado 3.2. y 3.3. respectivamente.

Una vez obtenidos todos los materiales para iniciar el cultivo, se llevó a cabo la incorporación de todos los fertilizantes a las subparcelas según tratamiento y repetición y la instalación de la cinta de riego. Días más tarde se realizó la plantación. Durante el proceso de crecimiento de las lechugas, se realizaron diversos controles, referentes al número de hojas y a la longitud de la hoja más larga de la planta.

En la tabla 3-4. se recoge la recopilación de las fechas ordenadas cronológicamente de todas las acciones descritas anteriormente.

Tabla 3-4. Cronología de las actividades realizadas durante el experimento.

25-10-2019	- Recogida del FO-RSU en la planta de compostaje de Torrelles de Llobregat.
30-10-2019	- Recogida de los fangos digeridos de l'EDAR del Prat de Llobregat, depositados en una parcela agrícola de Terrassa
08-11-2019	- Incorporación de los abonos mineral (fondo), compost, purines y fangos.
12-11-2019	- Plantación de las plántulas, adquiridas a la empresa Jordi Planters de Viladecans. - Primer control del número de hojas y longitud de una muestra de 7 plantas del plantel.
20-11-2019	- Debido a las fuertes rachas de viento registradas días anteriores a la fecha fueron arrancadas 30 unidades; por lo que fue necesaria la replantación de las parcelas más afectadas (LC3, LF3 y LF4).
26-11-2019	- Segundo control del número de hojas y longitud.
02-12-2019	- Se notificó la falta de 7 plantas de la parcela LF3, también arrancadas por las rachas de viento.

	- Se vuelve a realizar la plantación de las plántulas del mismo plantel.
08-11-2019 al 02-12-2019	- Tres sesiones de riego por semana (lunes, miércoles y viernes), de 30 minutos a las 18:00 pm.
09-12-2019	- Se intentó realizar el tercer control, pero no se pudo acceder a la parcela, ya que estaba por encima de la capacidad de campo (exceso de contenido de agua).
17-12-2019	- Tercer control del número de hojas y longitud. - Se trataron las subparcelas con el escarificador manual. Esta acción fue necesaria porque el suelo estaba muy compactado, debido a las lluvias que se produjeron en días anteriores.
27-12-2019	- Sesión de riego puntual durante 30 minutos.
09-01-2020	- Cuarto control del número de hojas y longitud.
08-01-2020 al 17-01-2020	- Tres sesiones de riego por semana (lunes, miércoles y viernes), de 30 minutos a las 18:00 pm.
20-01-2020	- Quinto control del número de hojas y longitud.
21-01-2020	- El campo se inunda a causa del temporal Gloria. - En la parcela se cuantifica una columna de agua cercana a los 10 cm.
22-01-2020	- Se procede a bombear la parcela, con el fin de intentar eliminar al máximo el exceso de agua.
24-01-2020	- El bombeo resultó exitoso y no se contempló ninguna baja en el material vegetal.
06-02-2020	- Sexto control del número de hojas y longitud.
19-02-2020 al 06-03-2020	- Tres sesiones de riego por semana (lunes, miércoles y viernes), de 30 minutos a las 18:00 pm.
09-03-2020	- Séptimo control del número de hojas y longitud.

	<ul style="list-style-type: none"> - Cosecha de las lechugas. - Con el fin de evitar una pérdida en el contenido de agua de la cosecha se procede a pesar el material vegetal en la propia parcela de cultivo, con el fin de obtener la biomasa fresca. - El material muestreado se trasladó al laboratorio de Fitotecnia de la EEABB donde fue introducido en la estufa de secado. - Determinación de las clorofilas.
12-03-2020	<ul style="list-style-type: none"> - En el laboratorio de fitotecnia de la EEABB, se procede a determinar el peso seco del material vegetal.
14-03-2020	<ul style="list-style-type: none"> - Declaración del estado de alarma a causa de la pandemia causada por el Covid-19. Lo que produjo una pausa en las tareas previstas. - En esta fecha queda pendiente la cuantificación de los carbohidratos y los lípidos por metodología química y registros de las muestras por el método espectroscópico.
30-06-2020	<ul style="list-style-type: none"> - Registros de las muestras mediante la espectroscopía NIR.
10-07-2020	<ul style="list-style-type: none"> - Estancia en los laboratorios del centro de investigación IDAEA-CSIC, con el objetivo de cuantificar el contenido de carbohidratos y lípidos en las muestras de lechuga.

3.8. Evolución del desarrollo del cultivo

La duración total del cultivo en la parcela fue de 118 días. En la tabla 3-4. se detallan las fechas de la plantación y la cosecha. A lo largo de todo el proceso se planteó supervisar semanalmente la parcela y se llevó a cabo un control quincenal del cultivo, consistente en la medición del número de hojas y de la longitud de la hoja más larga. Este control se vio interrumpido puntualmente por condiciones hídricas adversas provocadas por lluvias intensas y especialmente por la acción del temporal Gloria.

Para evaluar el desarrollo del cultivo, de las tres líneas de plantas establecidas por cada subparcela, se seleccionó la línea central y dentro de ella se seleccionaron 5 plantas consecutivas, desde el extremo norte del cultivo, descartando la primera planta de dicha hilera con el fin de evitar el efecto borde (Fig. 3-8.).

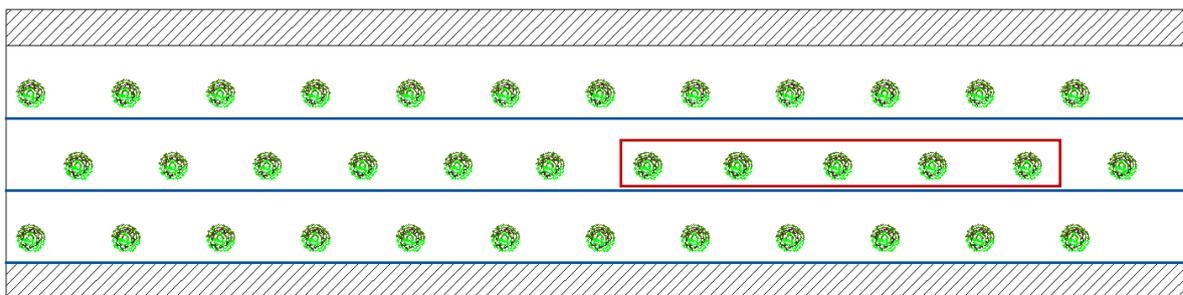


Figura 3-8. Localización de las plantas seleccionadas para evaluar la evolución del cultivo (rectángulo rojo). Fuente: Elaboración propia.

3.8.1. Número de hojas

Para determinar el número de hojas se realizó el conteo de las hojas desarrolladas y abiertas. En ninguna ocasión se contabilizaron las que formaban parte del cogollo de la lechuga.

3.8.2. Longitudes

Para estimar la longitud de las hojas, se decidió medir siempre la hoja más larga la que se encontraba localizada en el perímetro más exterior de la planta, hecho que facilitó su medida.

Para proceder a la determinación de dicha longitud, se utilizó una cinta métrica, cuya resolución era de 1 mm y la exactitud de $\pm 0,1$ cm. La hoja más larga se seleccionó de manera visual, y su medida se cuantificó desde la superficie del suelo hasta el extremo de la hoja.

3.9. Biomasa



Figura 3-9. Biomasa al final del cultivo.

3.9.1. Peso fresco

Para la determinación del peso fresco se optó por las mismas cinco plantas descritas en el apartado 3.8. La cuantificación se realizó en el momento de la cosecha, en la propia finca, para evitar la pérdida de agua de la lechuga (Fig. 3-9.).

Anterior a la determinación del peso fresco, se identificaron todas las plantas. Una vez hecha esta tarea se procedió a su pesaje con una balanza GX-30K de 2 g de resolución. Se hicieron dos pesajes, uno de la planta entera, y otro de un cuarto de la planta, con el fin de tener dos muestras de cada unidad para poder realizar su análisis con mayor rapidez y eficacia.

3.9.2. Peso seco

El peso seco se determinó, en el laboratorio de producción vegetal de la EEABB, a partir del material vegetal que previamente se había cuantificado el peso fresco. El material anteriormente identificado se dispuso en bandejas perforadas (Fig. 3-11.) y se introdujo en la estufa de secado (Selecta, modelo DRY-BIG) a 80 °C hasta peso constante. Pasado este tiempo el peso del material vegetal se estabilizó y es cuando se pudo proceder a la determinación del peso seco. Para esta determinación se usó una balanza Sartorius BP 310 S de 0,001 g de resolución (Fig. 3-10. y 3.11.)

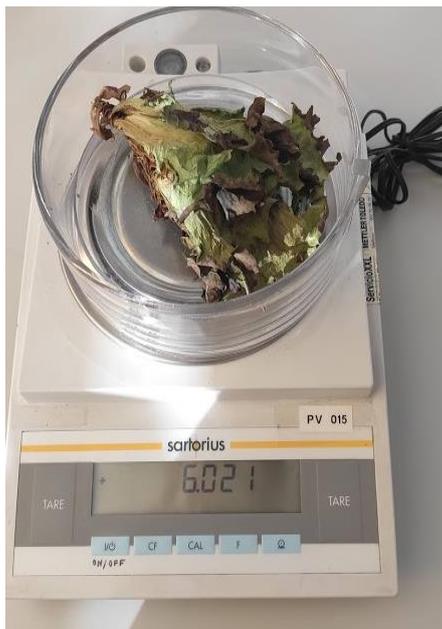


Figura 3-10. Determinación del peso seco con la balanza Sartorius BP 310 S de 0,001 g de resolución.



Figura 3-11. Disposición en bandejas de las lechugas para su secado.

3.9.3. Contenido en agua

Para evaluar el contenido en agua de cada planta, se relacionaron las determinaciones del peso fresco y seco. La diferencia de estas medidas dio el contenido hídrico absoluto. El porcentaje hídrico se calculó a partir de la ecuación [1].

$$\% \text{ Contenido hídrico} = \frac{\text{Peso fresco (g)} - \text{Peso seco (g)}}{\text{Peso fresco (g)}} * 100 \quad [1]$$

3.10. Clorofilas

3.10.1. Medida de la cantidad de clorofilas con el CCM

Para proceder a la determinación de la cantidad de clorofilas, se hizo uso del aparato OPTI-SCIENCES CCM-200 plus, cuya exactitud es de $\pm 0,05$ unidades y su resolución de 0,1 unidad. Este aparato calcula el CCI (índice de contenido de clorofila) dando como resultado una medida adimensional.

Este aparato (Fig. 3-12.) es un instrumento óptico que permite realizar una cuantificación no destructiva de la muestra. Mide la relación entre la transmitancia en el rojo 653 nm y el infrarrojo 931 nm. La medida es casi instantánea con una frecuencia inferior a los tres segundos. El área de medida es la de un círculo de 9,52 mm de diámetro, es decir, una superficie de 71 mm².



Figura 3-12. Determinación de clorofilas mediante el OPTI-SCIENCES CCM - 200 plus.

Para esta determinación se utilizó material recién cosechado. La estimación del CCI se realizó en tres posiciones distintas de hojas (exterior, medio e interior) con relación a la planta. En cada posición se realizaron tres repeticiones, es decir, en total se obtuvieron 9 medidas por lechuga.

Con el fin de encontrar el valor del contenido real de clorofilas, la medida proporcionada por el CCM se transformó haciendo uso de las ecuaciones [2], [3] y [4] obtenidas por Nadal (2015), donde se relaciona la concentración de clorofilas con la lectura proporcionada por el aparato.

$$\text{Clorofilas } a \quad \rightarrow \quad y = 0,009 x \ln(x) - 0,0006 \quad [2]$$

$$\text{Clorofilas } b \quad \rightarrow \quad y = 0,0026 x \ln(x) - 0,0001 \quad [3]$$

$$\text{Clorofilas Totales} \quad \rightarrow \quad y = 0,0116 x \ln(x) - 0,0007 \quad [4]$$

y = concentración de clorofilas (mg/cm²)

x = índice de contenido de clorofilas

3.11. Determinación de carbohidratos y lípidos

3.11.1. Preparación de las muestras

En el momento de la cosecha de las lechugas, se identificaron las plantas seleccionadas de las subparcelas de cultivo y se trasladaron a los laboratorios IDAEA-CSIC para proceder a su posterior trituración y congelación. En el mes de julio de 2020 se procedió a la extracción de los carbohidratos y los lípidos.

Se obtuvieron 32 tubos Falcon, dos por cada subparcela, uno entre las lechugas numeradas 2 y 6 y otro entre las plantas numeradas entre 7 y 11. Estas muestras fueron, respectivamente, numeradas según la correspondiente localización de las plantas en la subparcela y el fertilizante empleado.

Para llevar a cabo la extracción era necesario que el material vegetal estuviera seco, para ello se descongeló el material vegetal y se pesó una cantidad de 3 mg de muestra por cada tubo Falcon, previamente enumerados y pesados con tapón. Estos pesajes se llevaron a cabo con una balanza RADWAG AS 220.R1 de 0,0001 g de resolución.

Seguidamente, se dispusieron las muestras en una estufa modelo HRGC-5300 a una temperatura de 120°C durante un periodo de 24 horas hasta peso constante. Durante el período de secado los tapones fueron sustituidos por papel de aluminio, con la finalidad de favorecer la evaporación.

3.11.2. Extracción de los carbohidratos y lípidos

El método descrito por Margenat et al. (2018) fue el empleado para realizar la extracción de los carbohidratos y los lípidos.

Una vez retiradas las muestras de la estufa se añadieron 15 mL de disolvente orgánico, en este caso fue etanol/hexano en proporción 1:1 (v/v). Seguidamente, se empleó el vórtex con cada uno de los tubos Falcon a fin de homogeneizar la muestra antes de disponer dichos tubos en un baño de ultrasonidos (Bandelin sonorex digiplus DL 156 BH) durante 15 minutos, para facilitar la extracción de los carbohidratos y los lípidos (Fig. 3-13.). Una vez transcurrido este tiempo se trasladaron los tubos a la centrifuga (Sigma 3-16) a 2500 rpm durante otros 15 minutos para favorecer la decantación de los sólidos y facilitar la extracción del sobrenadante.



Figura 3-13. Muestras en el baño de ultrasonidos después de añadir el disolvente.

El sobrenadante, que quedó tras el centrifugado en los tubos Falcon, se extrajo mediante una jeringuilla y se vertió en un bote de cristal a través de un filtro de nylon de 0,22, que previamente había sido pesados. El método empleado por Margenat et al. (2018), concluía que, tras la evaporación del líquido restante, los lípidos quedarían adheridos a la pared del tubo de cristal, mientras que, los carbohidratos quedarían retenidos en el filtro. Para favorecer la evaporación se colocó el filtro y el recipiente de cristal en una placa de calor y se aplicó un flujo de nitrógeno gas (Fig.3-14). Se realizaron varios pesajes a los tubos y a los filtros empleados hasta que se comprobó que el peso era estable, para ello se hizo uso de una balanza RADWAG AS 220.R1 con una resolución de 0,0001 g.

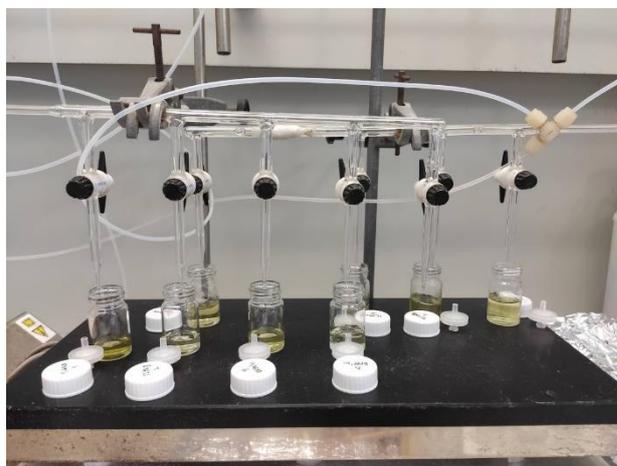


Figura 3-14. Sistema empleado para la evaporación de los tubos y los filtros mediante flujo de nitrógeno y placa de calor.

3.11.3. Cuantificación del contenido de carbohidratos y lípidos

Una vez conocidos el peso inicial y final de los filtros y la cantidad exacta de materia vegetal añadida se calculó el contenido de carbohidratos y lípidos tal y como muestran las ecuaciones [5] y [6] (Fig. 3-15.).

$$\% \text{ Carbohidratos} = \frac{\text{Peso filtro final (g)} - \text{Peso filtro inicial (g)}}{\text{Materia vegetal añadida (g)}} * 100 \quad [5]$$

$$\% \text{ Lípidos} = \frac{\text{Peso tubo final (g)} - \text{Peso tubo inicial (g)}}{\text{Materia vegetal añadida (g)}} * 100 \quad [6]$$

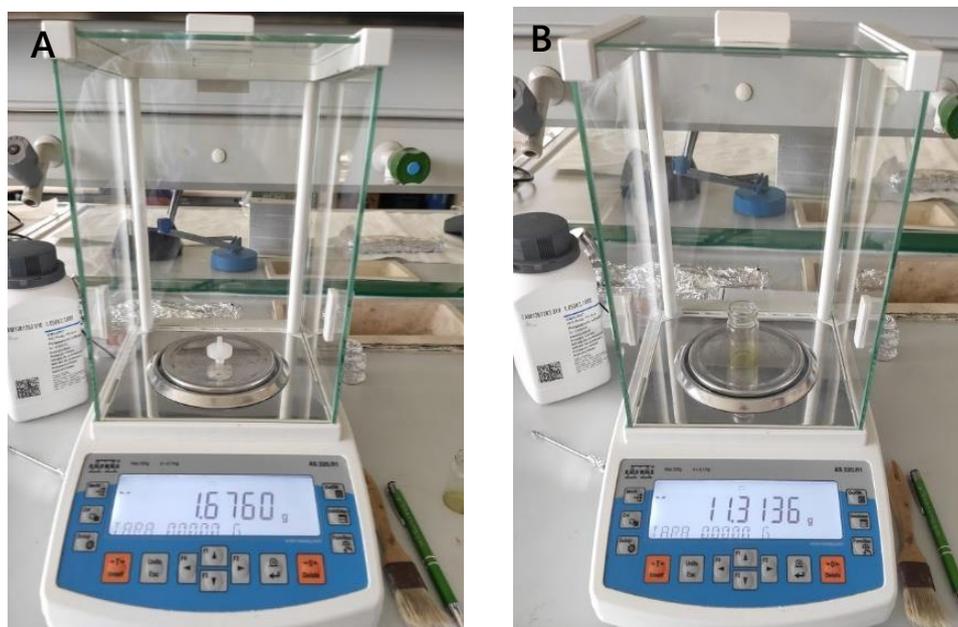


Figura 3-15. Pesaje final después de la evaporación del contenido en carbohidratos (A) y de los lípidos (B).

3.12. Espectroscopía del infrarrojo cercano (NIR)

El infrarrojo o radiación infrarroja es la parte del espectro electromagnético que comprende el intervalo de longitudes de onda desde los 780 nm hasta los 1.000.000 nm. Dentro de esta región se encuentra el infrarrojo cercano entre 780-2.500 nm (NIR, *Near InfraRed*).

La espectroscopía de infrarrojo cercano (NIRS, *Near InfraRed Spectroscopy*) es una técnica que aprovecha la medida de la absorbancia de una muestra en diferentes frecuencias cuando está expuesta a un haz de radiación electromagnética del infrarrojo (Sherman, 1997). La radiación NIR penetra en la muestra y es absorbida selectivamente, según las frecuencias de vibración específicas de las moléculas, produciendo de esta manera un espectro que depende de la composición de la muestra (López et al., 2013).

En la espectroscopía NIR se utilizan diferentes métodos de determinación, según el tipo de muestra con el que se quiera trabajar. El método llevado a cabo en este experimento ha sido el de la transfectancia, empleando un muestreador de líquido viscoso, donde se mide la luz que traspasa la muestra y que es reflejada por un reflector situado en la parte opuesta de la muestra.

El registro de las muestras se llevó a cabo mediante la espectroscopía del infrarrojo cercano a partir de las muestras sobrantes de puré de lechuga sometidas a congelación en los laboratorios del centro de investigación IDAEA-CISC. Después de su descongelación se empaquetaron en bolsas herméticas de polietileno previamente identificadas para su



Figura 3-16. Muestras de puré de lechuga dispuesto en tubos Falcon.

posterior registro con el espectrofotómetro ANTARIS II FT-NIR Analyzer (TermoFisher Scientific). También se realizó el registro de las mismas muestras, pero sin estar empaquetadas en bolsas herméticas (Fig. 3-16. y 3-17.). En el análisis realizado, por cada muestra se registraron tres lecturas y posteriormente se realizó el promedio obteniendo de esta manera un único valor para cada una de las longitudes de onda estudiadas. Para realizar la lectura de las diferentes absorbancias en el

espectrofotómetro, se dispuso la muestra en el lector, formado por un detector, una fuente de radiación y el reflector el cual dejaba una distancia de dos milímetros de paso de luz. Cada lectura aproximadamente tardaba en completarse 30 segundos, transcurrido ese tiempo se levantó la pieza donde se encontraba el reflector y se removió la muestra para obtener otra lectura de la misma muestra, con el fin de aumentar las repeticiones y réplicas (Fig. 3-18.). Cada lectura se almacenó en el ordenador que estaba conectado al espectrofotómetro para así poder realizar después el análisis estadístico de los resultados obtenidos.

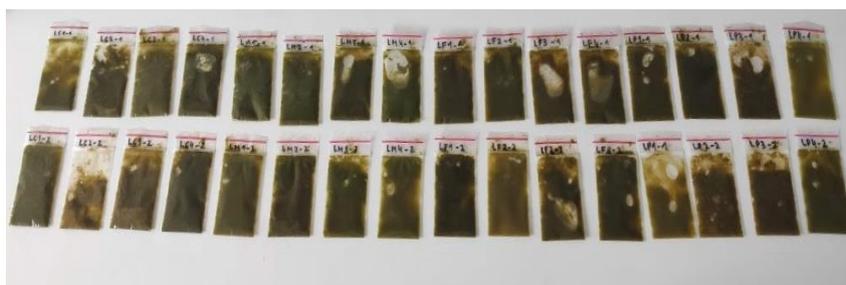


Figura 3-17. Disposición de las muestras de material vegetal triturado en bolsas herméticas.

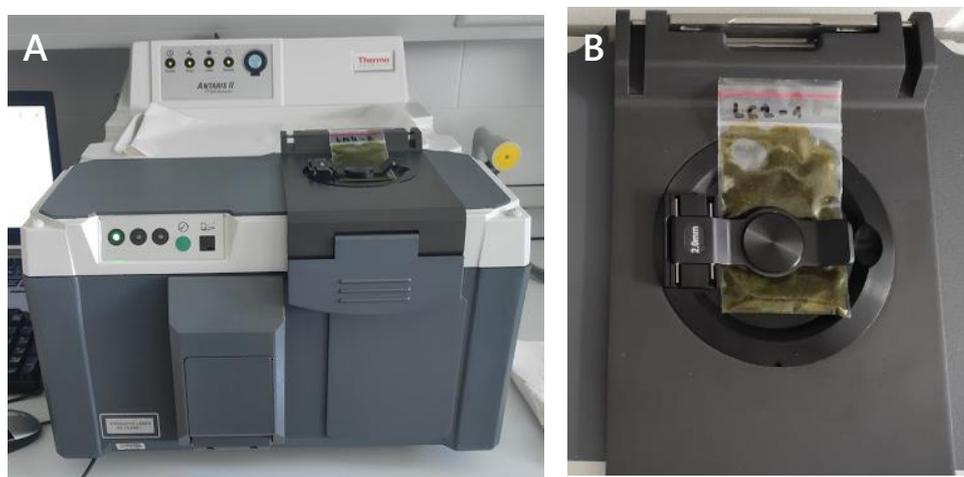


Figura 3-18. Espectrofotómetro ANTARIS II FT-NIR Analyzer (A) y disposición de la muestra entre el lector y el reflector, con un paso de luz de dos milímetros (B).

3.13. Incidencias meteorológicas y epidemiológicas

Como se ha explicado en apartados anteriores, este trabajo consta de dos partes diferenciadas según la localización, una parte del trabajo ha sido realizada al aire libre, en una de las parcelas del “Parc – UPC Agròpolis”, y la otra se realizó en los laboratorios de la EEABB y del IDAEA-CSIC.

Durante la fase del desarrollo del cultivo, hubo diferentes incidencias meteorológicas que dificultaron el seguimiento del crecimiento de las plantas. Se han recogido los datos de las precipitaciones acumuladas diarias y de la temperatura media diaria de la estación meteorológica de Viladecans, desde la fecha del inicio del cultivo hasta la fecha de su cosecha. Con estos datos se ha realizado un gráfico donde se presentan estas dos variables (Fig. 3-19.). En el mismo se puede observar que hay dos fechas relevantes sobre las precipitaciones, el día 4 de diciembre de 2019, se recogieron 58,6 mm y el día 21 de enero de 2020 donde se recogieron 100,6 mm a causa del temporal Gloria. Esta segunda precipitación provocó la inundación completa de todas las subparcelas (Fig. 3-20.). Para evitar perder la cosecha, ya que probablemente el suelo hubiera estado en condiciones de anoxia más de 48 h, se decidió bombear el exceso de agua (Fig. 3-21.). Los días siguientes a estas dos fechas (Tabla 3-4.) se tuvieron que realizar tareas en el campo para acondicionar otra vez el terreno para que fuera apto para el desarrollo del cultivo.

Días más tarde de la cosecha de las lechugas, el 14 de marzo de 2020, se decretó el estado de alarma por la pandemia causada por el virus Covid-19. Este hecho produjo una pausa quedando así pendientes las tareas de cuantificación de los carbohidratos y los lípidos, por metodología química y método espectroscópico. Estas determinaciones se pudieron realizar en el mes de julio.

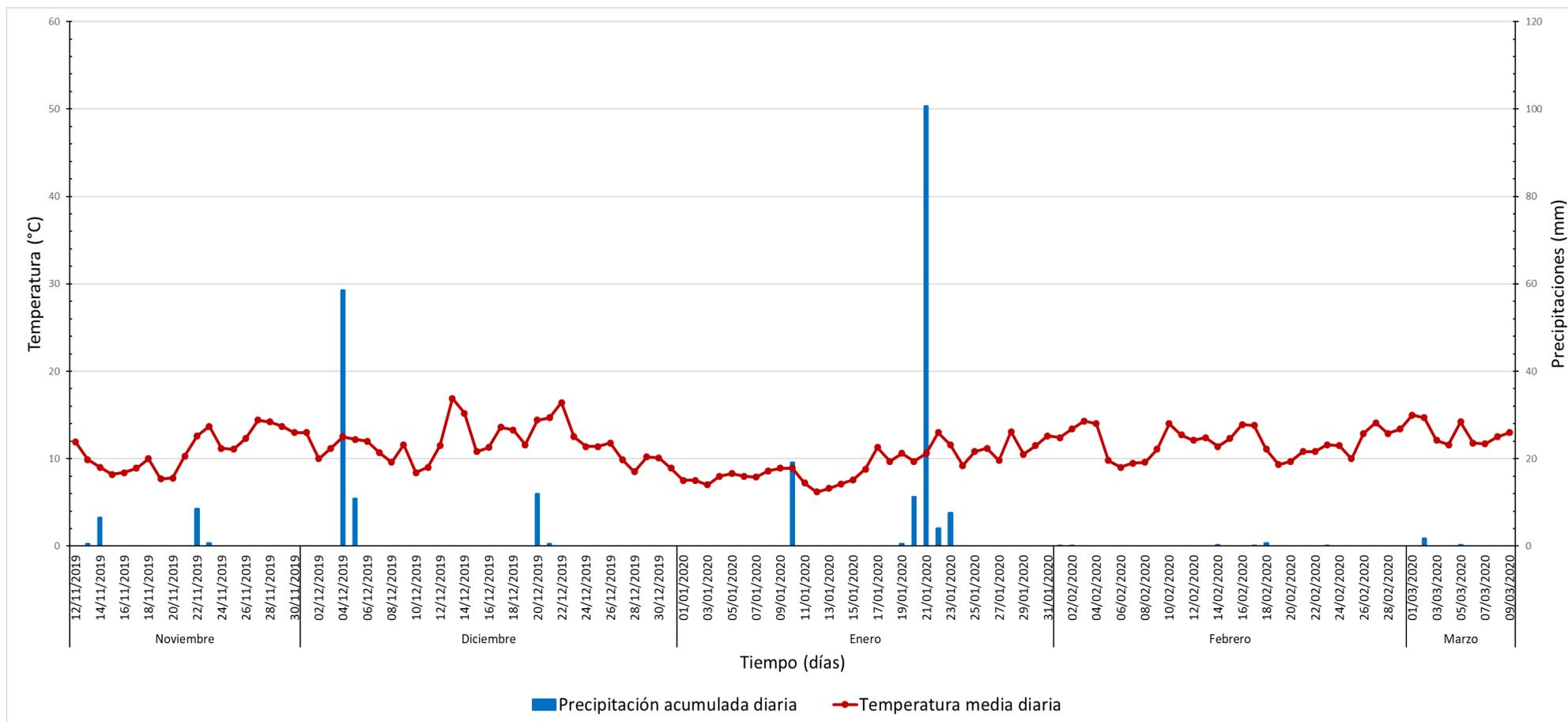


Figura 3-19. Gráfico de las precipitaciones acumuladas diarias y las temperaturas medias diarias de la estación meteorológica de Vildecans durante el periodo de cultivo. Fuente: Elaboración Propia, (Ruralcat, 2020).

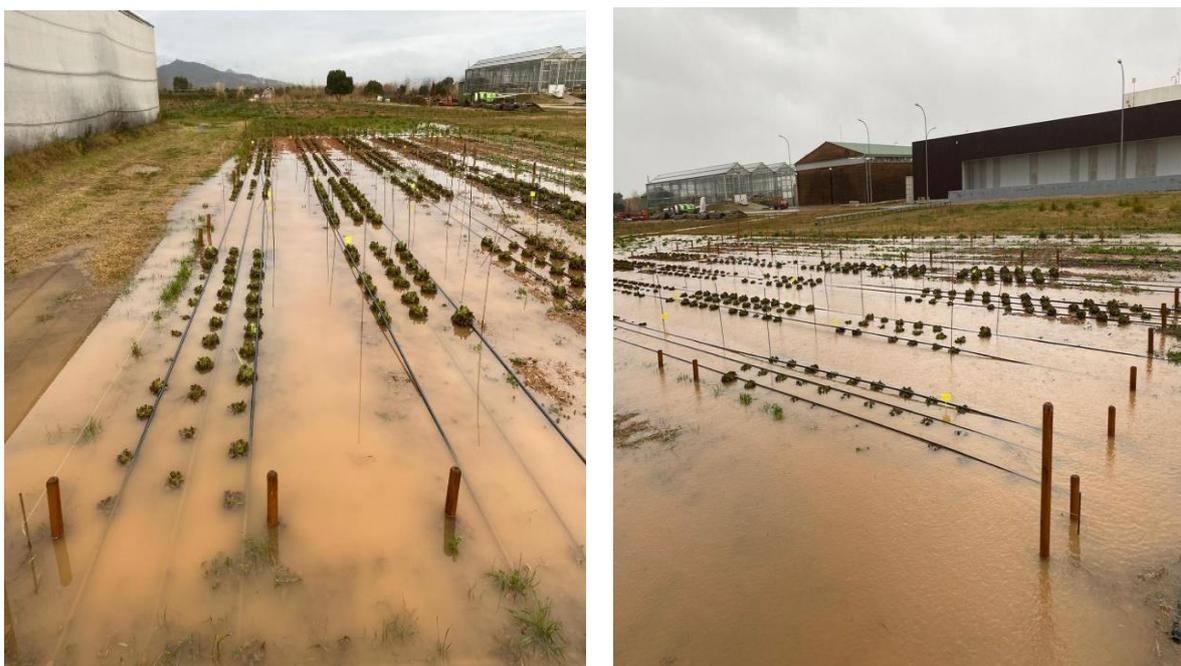


Figura 3-20. Parcela de cultivo tras el paso del temporal Gloria.



Figura 3-21. Parcela de cultivo tras bombear la lámina de agua.

3.14. Tratamiento estadístico

Se realizó el análisis de variancia (ANOVA) para los resultados obtenidos con la finalidad de comprobar si había diferencias significativas entre los diferentes tipos de tratamiento (Anexo C). Primeramente, se comprobó mediante la prueba de igualdad de variancias si se podían asumir variancias iguales o no para todas las variables estudiadas.

El análisis de la variancia tenía un nivel de significancia del 5 %. Cuando se detectaban diferencias significativas ($p \leq 0,05$) se llevó a cabo la respectiva prueba que agrupaba los resultados según las similitudes.

En caso de asumir variancias iguales se realizó ANOVA y su correspondiente separador de medias Tukey, en caso de no poder asumir variancias iguales (al menos una variancia era distinta) se realizó la prueba de Welch-ANOVA y su correspondiente separador de medias Games-Howell.

Se realizó un análisis de los componentes principales (PCA), para las variables correspondientes al crecimiento del cultivo (peso fresco y peso seco) y las variables químicas (contenido clorofílico, carbohidratos y lípidos) y también para los resultados del registro mediante la espectroscopía del infrarrojo cercano con la finalidad de buscar la creación de grupos a partir de los datos obtenidos.

El tratamiento estadístico se realizó con el programa Minitab 18 para Windows y el análisis de los registros con NIR fue analizado mediante la versión demo del programa PLS_Toolbox.

RESULTADOS

4. Resultados

4.1. Número total de hojas y longitud de hoja más larga

La recogida de los datos de la evolución del número de hojas, y de la longitud de la hoja más larga, se ha llevado a cabo como se explica en el apartado 3.8. de esta memoria.

Se ha realizado el análisis estadístico de los resultados obtenidos en el último día de control. No hay diferencias significativas entre tratamientos para las variables analizadas (número de hojas y longitud de la hoja más larga) (p -valor $\geq 0,05$) (Tabla 4-1.).

La figura 4-1. B. muestra la evolución de la longitud de la hoja más larga, se puede ver como a partir del segundo control, a partir del día 35 de cultivo, aparentemente hay una cierta diferenciación entre los tratamientos mineral, purines de cerdo y fangos digeridos respecto al tratamiento fracción orgánica de residuos sólidos urbanos. Sin embargo, en el último control no se han detectado dichas diferencias.

Las plantas abonadas con FO-RSU son las que han presentado menor desarrollo foliar y las fertilizadas con fangos digeridos son las que han presentado mayor número de hojas, mientras que las tratadas con abono mineral son las que han generado mayor longitud de la hoja más larga, aunque el efecto del tratamiento no es significativo para ninguna de estas variables.

Tabla 4-1. Número total de hojas y longitud de la hoja más larga en cultivo de lechuga, según el tratamiento aplicado. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados).

Tratamiento	Número total de hojas	Longitud de la hoja más larga (cm)
FM	16,7 ± 2,1 ^a	17,5 ± 1,5 ^a
FO-RSU	15,5 ± 1,4 ^a	16,2 ± 2,4 ^a
P	16,9 ± 2,3 ^a	16,9 ± 2,7 ^a
F	17,1 ± 1,9 ^a	16,2 ± 1,3 ^a

Los datos se expresan como promedio ± DE. Las letras en superíndice muestran la información de agrupación, utilizando el método de Tukey con un nivel de significancia del 5%. Los promedios que contienen la misma letra no son significativamente diferentes.

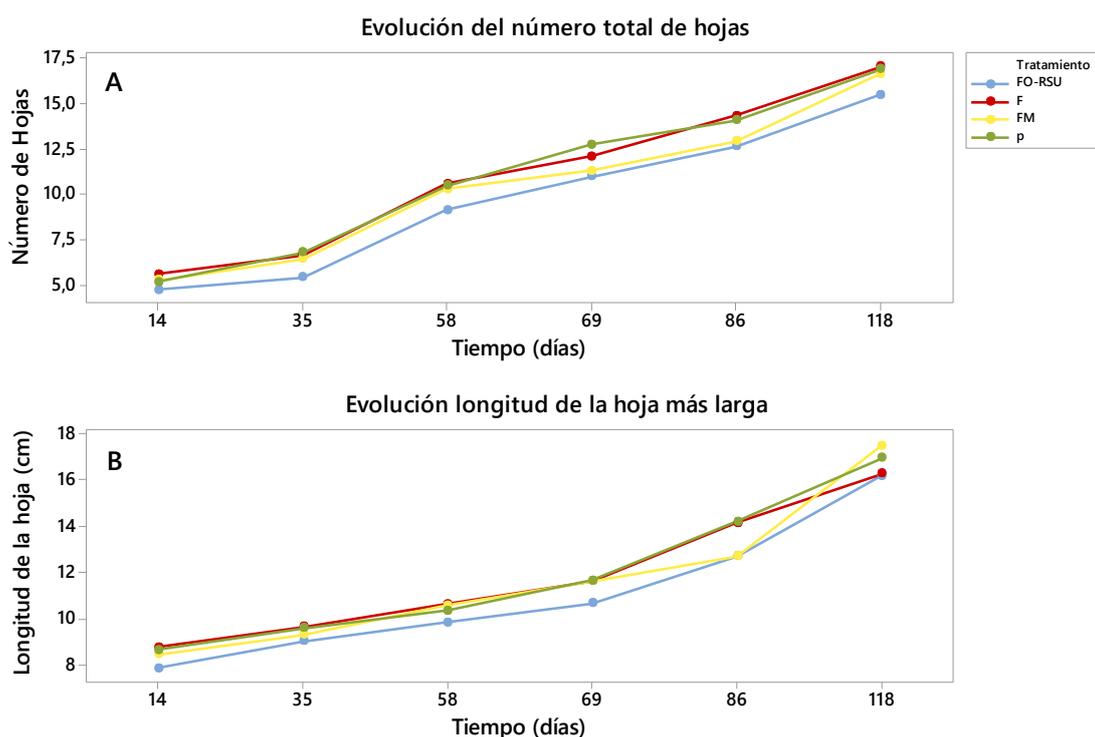


Figura 4-1. Evolución del número total de hojas (A) y la longitud de la hoja más larga (B) en cultivo de lechuga, según el tratamiento aplicado. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados).

En la figura 4-2. se presenta la representación gráfica de las variables número de hojas y longitud de la hoja más larga correspondientes al último día de control. Referente al número total de hojas, se observa, aunque sin diferencias significativas entre tratamientos, que la dispersión de los datos para los cuatro tipos de fertilizantes es similar (Fig. 4-2. A.).

En contrapartida, los resultados referentes a la variable longitud de la hoja más larga indican que las plantas que fueron fertilizadas con FO-RSU y purín presentan una mayor dispersión de los datos. Asimismo, los tratamientos fango de depuradora y mineral su dispersión de los datos es menor, concentrándose los valores más cercanos a la media (Fig. 4-2. B.).

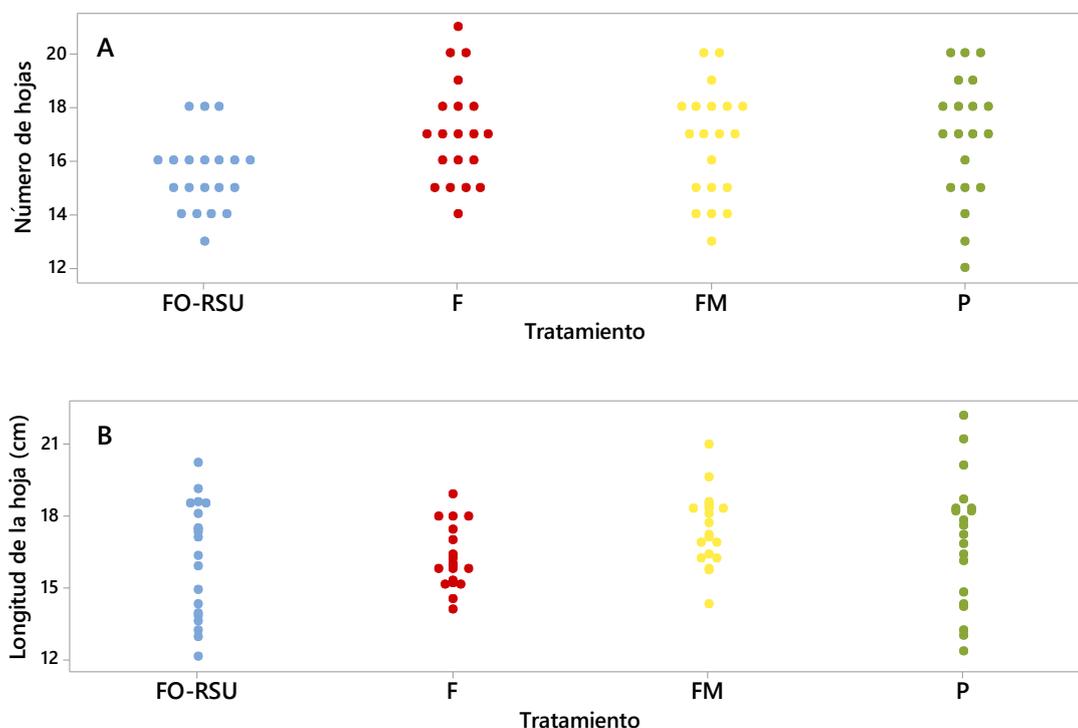


Figura 4-2. Diagrama de valores individuales del número total de hojas (A) y la longitud de la hoja más larga (B) en cultivo de lechuga, según el tratamiento aplicado. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados).

4.2. Biomasa

La biomasa de las lechugas corresponde a la gravimetría realizada con la parte aérea de las plantas.

En la tabla 4-2. se recogen los valores promedio y las desviaciones estándar de los resultados de las variables, peso fresco, peso seco y el porcentaje de contenido hídrico.

El análisis estadístico de los resultados obtenidos del pesaje de la biomasa fresca y de la seca y el cálculo de contenido hídrico (apartado 3.9.) muestra que la prueba ANOVA es significativa (p -valor $\leq 0,05$) (Tabla 4-2.).

A continuación, se evalúan y destacan los principales resultados de la comparación de los distintos tratamientos respecto a las diferentes variables analizadas: peso fresco, peso seco y porcentaje del contenido hídrico.

4.2.1. Peso fresco

En la tabla 4-2. se refleja que el tratamiento que ha producido, mayor biomasa fresca es el purín de cerdo, seguido del fertilizante fango digerido y el mineral, aunque no se observan diferencias significativas entre estos tres tratamientos. Las plantas que fueron tratadas con la FO-RSU han obtenido un valor medio inferior a las plantas fertilizadas con purín y fango, pero no se diferencian de las que fueron abonadas con mineral. Se puede destacar de la figura 4-3. A. que el tratamiento mineral presenta dos valores atípicos muy por encima de la media y además que la distribución de los datos es asimétrica en los tratamientos mineral y purín, siendo los valores correspondientes al fango de depuradora los que obtienen una asimetría menor y los correspondientes al purín de cerdo los que presentan una mayor dispersión.

4.2.2. Peso seco

El análisis estadístico de los datos de peso seco (Tabla 4-2.) nos indica que las plantas que han obtenido menor contenido de biomasa seca son las que fueron fertilizadas con los tratamientos FO-RSU o mineral (aunque entre ellas no presentan diferencias significativas), al contrario que las plantas fertilizadas con fango de depuradora y purín de cerdo que han obtenido mayor biomasa seca, siendo sus medias muy similares y tampoco presentando diferencias significativas entre ellas.

Cabe remarcar que las plantas que han presentado un menor peso seco, aunque sin diferencias significativas con el tratamiento mineral, han sido las fertilizadas con compost, análogamente a la variable peso fresco.

Se puede observar en la figura 4-3. B., que todos los valores referentes al peso seco presentan asimetría, asimismo siendo los referentes al purín de cerdo los que presentan una mayor dispersión de los datos.

4.2.3. Contenido hídrico

El porcentaje de contenido hídrico más elevado corresponde a las plantas tratadas con mineral (~95%). Los tratamientos fango, purín y compost no presentan diferencias significativas entre ellos, siendo sus valores promedios muy similares, alrededor del 94% (Tabla 4-2.).

En la figura 4-3. C. se observa que los tratamientos FO-RSU y fango presentan un valor atípico por debajo de la media. El tratamiento mineral muestra una mayor dispersión y asimetría de los datos que el resto de los tratamientos.

Tabla 4-2. Biomasa final y contenido hídrico en lechuga, según el tratamiento aplicado. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados).

Tratamiento	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	Contenido hídrico (%)
FM	426 ± 121 ^{ab}	20,116 ± 6,869 ^b	95,3 ± 1,0 ^a
FO-RSU	326 ± 139 ^b	17,864 ± 6,830 ^b	94,1 ± 1,1 ^b
P	482 ± 192 ^a	27,731 ± 10,512 ^a	94,1 ± 0,6 ^b
F	461 ± 82 ^a	26,940 ± 4,506 ^a	94,1 ± 0,5 ^b

Los datos se expresan como promedio ± DE. Las letras en superíndice muestran la información de agrupación, utilizando el método de Tukey (contenido hídrico) y de Games-Howell (peso fresco y peso seco), con un nivel de significancia del 5%. Los promedios que contienen la misma letra no son significativamente diferentes.

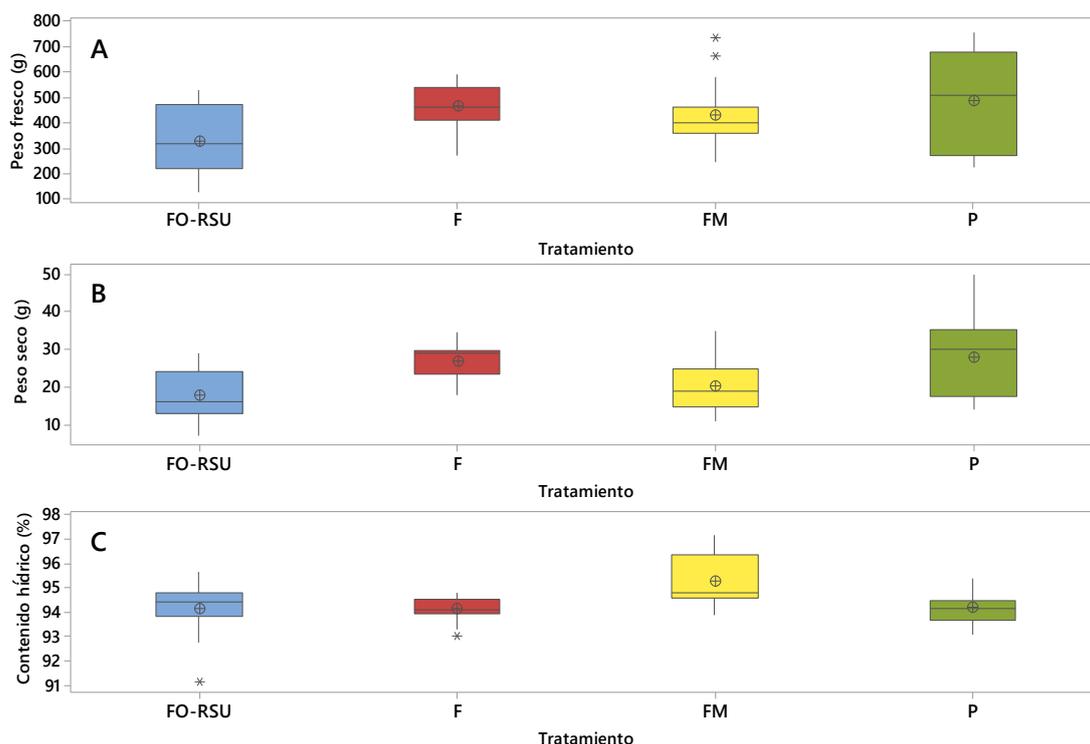


Figura 4-3. Diagrama de caja del peso fresco (A), del peso seco (B) y del contenido hídrico (C) en lechuga, según el tratamiento aplicado, con un nivel de significancia del 5%. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados).

4.3. Efecto de la distribución de los tratamientos y repeticiones

Antes de empezar el ensayo en la primera campaña de cultivo se observó visualmente que aparentemente había diferencias físicas en el suelo de la parcela de cultivo, por esta razón se decidió analizar la biomasa para los diferentes bloques y el análisis estadístico por bloque confirmó dichas diferencias (Alvarado, 2020).

En la segunda campaña también se ha considerado oportuno realizar nuevamente el análisis estadístico que permitiera ver se si producían de nuevo diferencias. La realización de dicho análisis se ha ejecutado, únicamente, considerando el tratamiento FO-RSU, ya que es el único tratamiento que tiene sus cuatro repeticiones distribuidas en los cuatro bloques (bloque I (LC3); bloque 2 (LC1);

bloque III (LC4); bloque IV (LC2)) (Fig. 4-4.). El análisis se ha realizado para las variables peso fresco, peso seco y porcentaje de contenido hídrico.

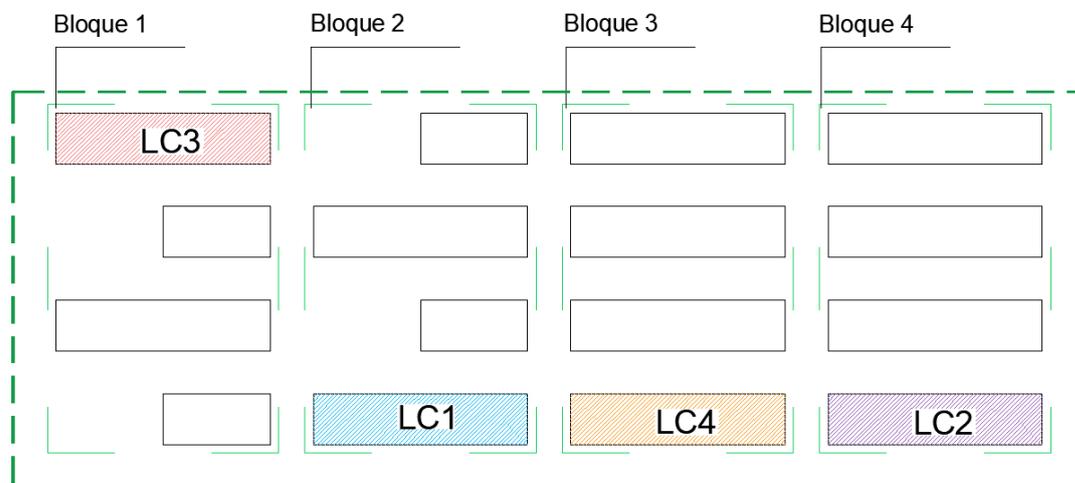


Figura 4-4. Efecto de la distribución de los tratamientos en los diferentes bloques. (LC1: Subparcela 1 de lechuga fertilizada con FO-RSU, LC2: Subparcela 2 de lechuga fertilizada con FO-RSU, LC3: Subparcela 3 de lechuga fertilizada con FO-RSU, LC4: Subparcela 4 de lechuga fertilizada con FO-RSU). (FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos). Fuente: Elaboración propia.

En referencia a la variable peso fresco, se pueden distinguir dos grupos, las medias más altas se presentan en el bloque I y seguida del II, las medias más bajas se presentan en el bloque III. Se observa que entre el bloque I y II, no hay diferencias significativas, lo mismo sucede entre los bloques III y IV. A su vez, en referencia a las variables peso seco y contenido hídrico, después de realizar ANOVA, se observa que no es significativa, queriendo decir que no hay diferencias significativas entre los diferentes bloques para estas dos variables ($p\text{-valor} \geq 0,05$). Cabe destacar que el bloque III, (subparcela LC4), es la que contiene un menor contenido tanto de peso fresco y seco como de contenido hídrico (Tabla 4-3.).

Realizado el análisis estadístico se puede observar que la variable peso fresco es la única que presenta diferencias significativas entre bloques ($p\text{-valor} \leq 0,05$). Asimismo, se observa que los datos referentes al peso fresco de las subparcelas fertilizadas con compost son todos asimétricos, y que las medias del bloque I y II son mayores que los bloques III y IV (Fig. 4-5. A y Tabla 4-3.).

En comparación con los resultados obtenidos en la primera campaña de cultivo por Alvarado (2020), en esta segunda campaña se cuantifica para todos los bloques un incremento en el peso fresco (bloque I: 56 %, bloque II: 16,5 %, bloque III: 66 %, bloque IV: 79 %).

Tabla 4-3. Biomasa final y el contenido hídrico en lechuga para el tratamiento fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos en los diferentes bloques.

Bloque	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	Contenido hídrico (%)
I	453 ± 86 ^a	17,634 ± 10,467 ^a	95,9 ± 2,3 ^a
II	414 ± 118 ^a	22,804 ± 6,684 ^a	94,5 ± 0,7 ^a
III	188 ± 57 ^b	12,113 ± 2,017 ^a	93,3 ± 1,3 ^a
IV	251 ± 80 ^b	15,330 ± 7,174 ^a	94,1 ± 1,1 ^a

Los datos se expresan como promedio ± DE. Las letras en superíndice muestran la información de agrupación, utilizando el método de Tukey con un nivel de significancia del 5%. Los promedios que contienen la misma letra no son significativamente diferentes.

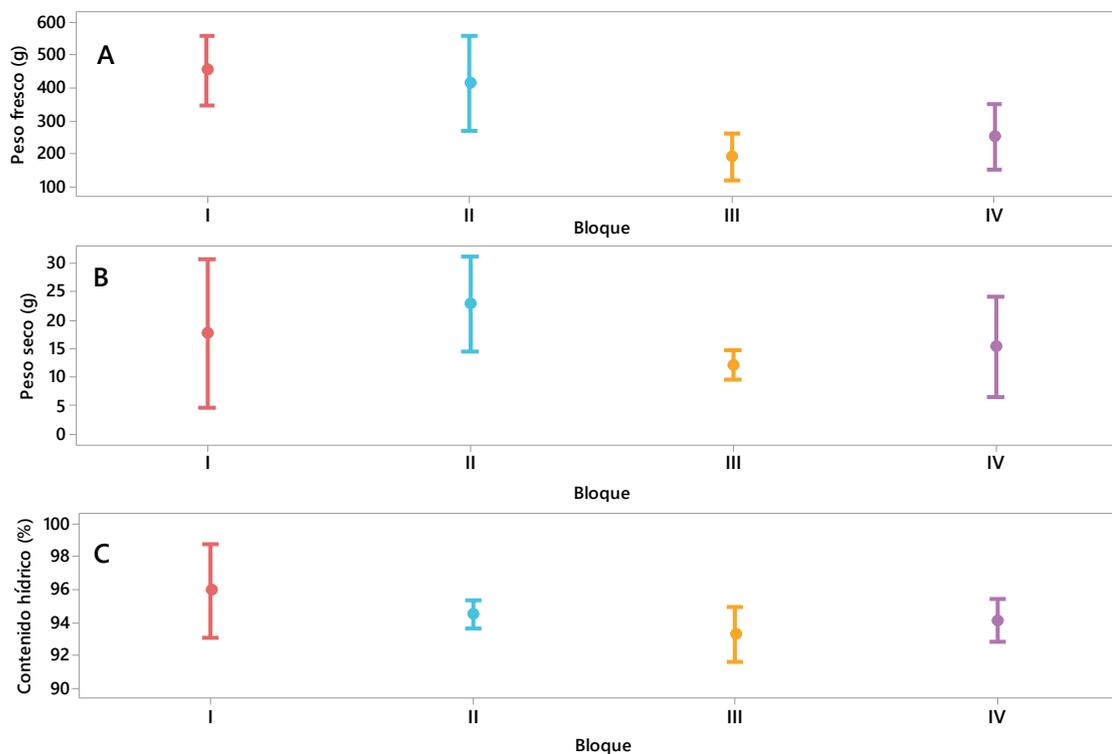


Figura 4-5. Diagrama de intervalos del peso fresco (A), peso seco (B) y el contenido hídrico (C) en lechuga, según el bloque, con un nivel de significancia del 5 %. (I: Bloque I, II: Bloque II, III: Bloque III, IV: Bloque IV).

4.4. Contenido clorofílico

4.4.1. Determinación del contenido total en clorofilas según el tratamiento

Las lecturas obtenidas con el CCM se han transformado con las ecuaciones obtenidas por Nadal (2015) para la misma variedad de lechuga y así poder obtener la concentración de clorofila *a*, *b* y total. Los resultados promedio junto con las desviaciones estándar se encuentran recogidos en la tabla 4-4.

La prueba de ANOVA revela que sí que hay diferencias significativas entre tratamientos para los dos tipos de clorofilas y para la clorofila total (p -valor $\leq 0,05$). Las plantas que fueron fertilizadas con abono mineral y compost presentan diferencias significativas entre ellas. Mientras que los otros dos tratamientos no son diferentes entre ellos, así como tampoco con el compost y el mineral. Se puede ver que las plantas que presentan una menor concentración, aunque sin presentar diferencias con algunos tratamientos, son de nuevo las fertilizadas con la fracción orgánica de residuos sólidos urbanos.

En la figura 4-6. se observa que las plantas fertilizadas con compost y fango digerido de depuradora presentan una asimetría en el contenido de clorofilas, siendo este último tratamiento el que presenta una mayor dispersión. También se puede observar que los tratamientos mineral y purín presentan una simetría en todos los casos.

Tabla 4-4. Contenido total de clorofilas en lechuga, según el tratamiento aplicado. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados).

Tratamiento	Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	Clorofila <i>b</i> ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)	Clorofila Total ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)
FM	$14,5 \pm 2,0^a$	$4,3 \pm 0,6^a$	$18,8 \pm 2,6^a$
FO-RSU	$12,9 \pm 1,7^b$	$3,8 \pm 0,5^b$	$16,7 \pm 2,1^b$
P	$3,1 \pm 2,0^{ab}$	$3,9 \pm 0,6^{ab}$	$16,9 \pm 2,6^{ab}$
F	$13,2 \pm 1,8^{ab}$	$3,9 \pm 0,5^{ab}$	$17,1 \pm 2,4^{ab}$

Los datos se expresan como promedio \pm DE. Las letras en superíndice muestran la información de agrupación, utilizando el método de Tukey, con un nivel de significancia del 5%. Los promedios que contienen la misma letra no son significativamente diferentes.

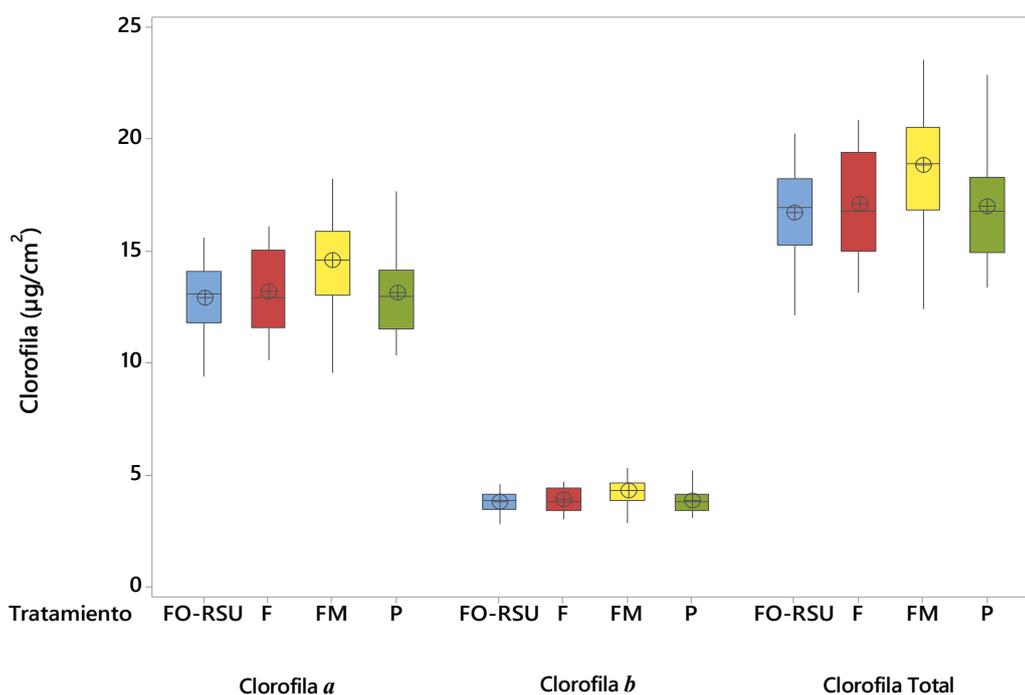


Figura 4-6. Diagrama de caja del contenido de clorofila *a*, *b* y total en lechuga, según el tratamiento aplicado, con un nivel de significancia del 5 %. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados).

4.4.2. Determinación del contenido en clorofilas según la posición de la hoja

El análisis descriptivo global de las variables clorofila *a*, *b* y total, frente a la posición que ocupaba en la planta y tratamiento con el que había sido fertilizada se presenta en la figura 4-7. Se puede observar que hay diferencias significativas según la posición de la hoja (exterior, medio e interior) en la planta (p -valor $\leq 0,05$).

Las hojas que estaban dispuestas en el exterior de la planta presentan, para todos los tipos de clorofilas, unos valores de concentración significativamente superiores a las otras dos posiciones de hoja. Las hojas situadas en el nivel interior son las que presentan una menor concentración de estos pigmentos, mientras que las hojas de posición intermedia muestran un contenido clorofílico, también significativamente diferente, comprendido entre los resultados obtenidos en las dos posiciones extremas (Tablas 4-5., 4-6., 4-7.).

En el caso de las plantas tratadas con mineral, se presentan valores atípicos, tanto por encima de la media como por debajo y para cada tipo de clorofila. También se puede observar que los valores que pertenecen a la posición media son los que obtienen una mayor simetría y dispersión, a diferencia de los obtenidos en la posición interior que presentan una mayor asimetría (Fig. 4-7. A,B,C.).

Tabla 4-5. Contenido de clorofila *a*, según la posición de la hoja de lechuga y el tratamiento aplicado. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados).

Posición	Clorofila <i>a</i> ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)			
	FM	FO-RSU	P	F
Exterior	22,1 \pm 2,3 ^a	21,5 \pm 1,5 ^a	21,2 \pm 2,0 ^a	20,1 \pm 2,2 ^a
Medio	16,3 \pm 4,1 ^b	12,7 \pm 3,3 ^b	13,8 \pm 4,0 ^b	15,6 \pm 4,2 ^b
Interior	5,3 \pm 2,9 ^c	4,5 \pm 2,3 ^c	4,3 \pm 2,5 ^c	3,8 \pm 3,2 ^c

Los datos se expresan como promedio \pm DE. Las letras en superíndice muestran la información de agrupación, utilizando el método de Tukey, con un nivel de significancia del 5%. Los promedios que contienen la misma letra no son significativamente diferentes.

Tabla 4-6. Contenido de clorofila *b*, según la posición de la hoja de lechuga y el tratamiento aplicado. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados).

Clorofila <i>b</i> (mg/cm ²)				
Posición	FM	FO-RSU	P	F
Exterior	6,5 ± 0,7 ^a	6,3 ± 0,5 ^a	6,2 ± 0,5 ^a	5,9 ± 0,6 ^a
Medio	4,8 ± 1,2 ^b	3,7 ± 1,0 ^b	4,1 ± 1,2 ^b	4,6 ± 1,2 ^b
Interior	1,6 ± 0,8 ^c	1,4 ± 0,7 ^c	1,3 ± 0,7 ^c	1,2 ± 0,9 ^c

Los datos se expresan como promedio ± DE. Las letras en superíndice muestran la información de agrupación, utilizando el método de Tukey, con un nivel de significancia del 5%. Los promedios que contienen la misma letra no son significativamente diferentes.

Tabla 4-7. Contenido de clorofila total, según la posición de la hoja de lechuga y el tratamiento el aplicado. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados).

Clorofila Total (mg/cm ²)				
Posición	FM	FO-RSU	P	F
Exterior	28,5 ± 2,9 ^a	27,7 ± 2,0 ^a	27,4 ± 2,5 ^a	26,0 ± 2,8 ^a
Medio	21,0 ± 5,3 ^b	16,4 ± 4,3 ^b	17,8 ± 5,2 ^b	20,2 ± 5,4 ^b
Interior	6,9 ± 3,7 ^c	5,9 ± 2,9 ^c	5,6 ± 3,3 ^c	5,0 ± 4,2 ^c

Los datos se expresan como promedio ± DE. Las letras en superíndice muestran la información de agrupación, utilizando el método de Tukey, con un nivel de significancia del 5%. Los promedios que contienen la misma letra no son significativamente diferentes.

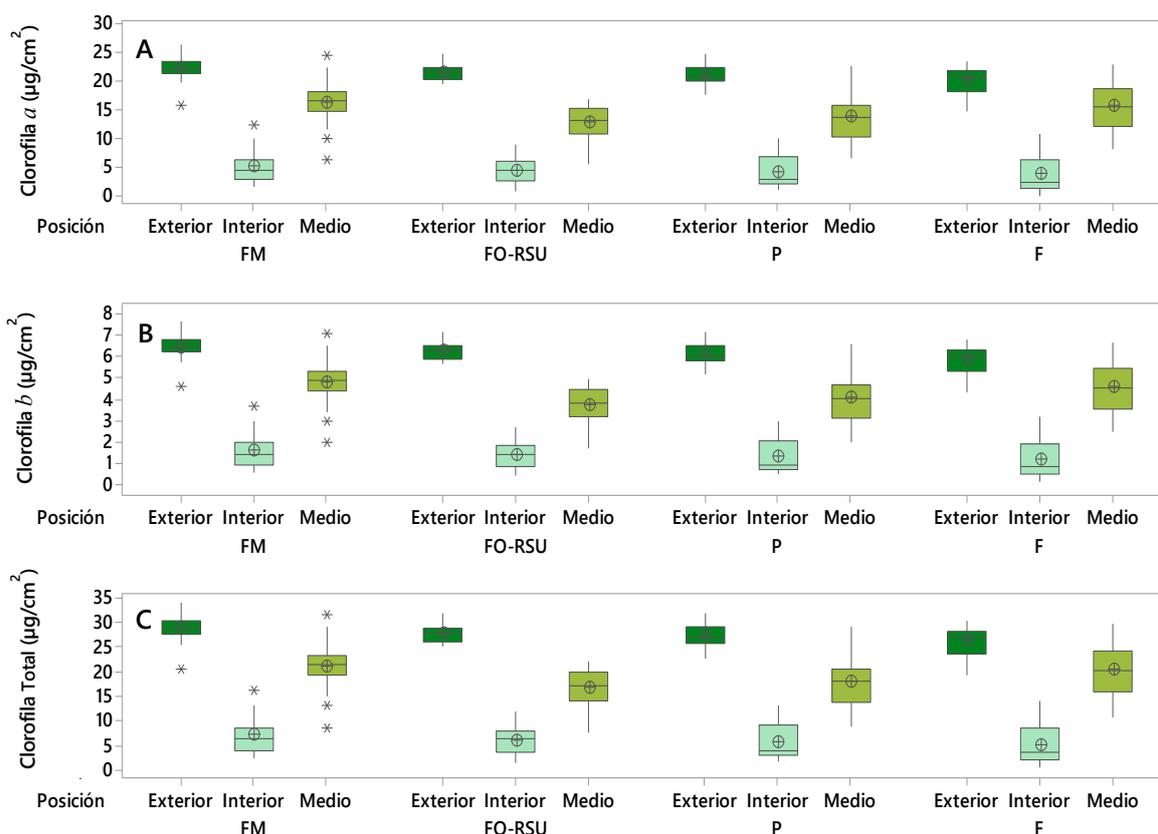


Figura 4-7. Diagrama de caja del contenido de clorofila *a* (A), clorofila *b* (B) y clorofila total (C), según la posición de hoja de lechuga y el tratamiento aplicado, con un nivel de significancia del 5 %. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados).

4.4.3. Determinación del contenido en clorofilas según la posición de la hoja entre tratamientos

En la figura 4-8. podemos ver la distribución de los resultados de los contenidos en clorofilas (*a*, *b* y total) para cada una de las posiciones de hoja y los tratamientos aplicados como fertilizante. Se puede observar que las gráficas A, B y C de dicha figura presentan la misma distribución a pesar de que las concentraciones sean diferentes.

El análisis estadístico realizado para cada uno de los tipos diferentes de clorofilas muestra que para la posición exterior, la concentración de este pigmento es superior a la del resto de posiciones, siendo las plantas fertilizadas con mineral, las que obtienen un valor promedio más elevado para los tres tipos de las clorofilas, aunque sin diferencias significativas entre algunos tratamientos.

Los resultados expuestos en la tabla 4-8., 4-9., 4-10. señalan que, entre tratamientos, no existen diferencias significativas en los contenidos clorofílicos de las hojas interiores (p -valor $\geq 0,05$). Se dan diferencias significativas en las posiciones exteriores y medias (p -valor $\leq 0,05$). Las hojas exteriores obtenidas de las plantas fertilizadas con mineral presentan unos contenidos de clorofila a superiores a los demás tratamientos, pero sólo estadísticamente diferentes a los sintetizados por las plantas tratadas con fango. Referente a las hojas de posición intermedia los valores más elevados se dan una vez más en las plantas tratadas con abono mineral, pero en este caso sólo presentan diferencias significativas con las fertilizadas con compost.

Tabla 4-8. Contenido de clorofila a según la posición de la hoja de lechuga entre los tratamientos aplicados. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados).

Clorofila a ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)			
Tratamiento	Exterior	Medio	Interior
FM	$22,1 \pm 2,3^a$	$16,3 \pm 4,1^a$	$5,3 \pm 2,9^a$
FO-RSU	$21,5 \pm 1,5^{ab}$	$12,7 \pm 3,3^b$	$4,5 \pm 2,3^a$
P	$21,2 \pm 2,0^{ab}$	$13,8 \pm 4,0^{ab}$	$4,3 \pm 2,5^a$
F	$20,1 \pm 2,2^b$	$15,6 \pm 4,2^{ab}$	$3,8 \pm 3,2^a$

Los datos se expresan como promedio \pm DE. Las letras en superíndice muestran la información de agrupación, utilizando el método de Tukey, con un nivel de significancia del 5%. Los promedios que contienen la misma letra no son significativamente diferentes.

Tabla 4-9. Contenido de clorofila *b* según posición de la hoja de lechuga entre los tratamientos aplicados. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados).

Clorofila <i>b</i> ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)			
Tratamiento	Exterior	Medio	Interior
FM	6,5 \pm 0,7 ^a	4,8 \pm 1,2 ^a	1,6 \pm 0,8 ^a
FO-RSU	6,3 \pm 0,5 ^{ab}	3,7 \pm 1,0 ^b	1,4 \pm 0,7 ^a
P	6,2 \pm 0,6 ^{ab}	4,1 \pm 1,2 ^{ab}	1,3 \pm 0,7 ^a
F	5,9 \pm 0,6 ^b	4,6 \pm 1,2 ^{ab}	1,2 \pm 0,9 ^a

Los datos se expresan como promedio \pm DE. Las letras en superíndice muestran la información de agrupación, utilizando el método de Tukey, con un nivel de significancia del 5%. Los promedios que contienen la misma letra no son significativamente diferentes.

Tabla 4-10. Contenido de clorofila total según posición de la hoja de lechuga entre los tratamientos aplicados. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados).

Clorofila Total ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$)			
Tratamiento	Exterior	Medio	Interior
FM	28,5 \pm 2,9 ^a	21,0 \pm 5,3 ^a	6,9 \pm 3,7 ^a
FO-RSU	27,7 \pm 2,0 ^{ab}	16,4 \pm 4,3 ^b	5,9 \pm 2,9 ^a
P	27,4 \pm 2,5 ^{ab}	17,8 \pm 5,2 ^{ab}	5,6 \pm 3,3 ^a
F	26,0 \pm 2,8 ^b	20,2 \pm 5,4 ^{ab}	5,0 \pm 4,2 ^a

Los datos se expresan como promedio \pm DE. Las letras en superíndice muestran la información de agrupación, utilizando el método de Tukey, con un nivel de significancia del 5%. Los promedios que contienen la misma letra no son significativamente diferentes.

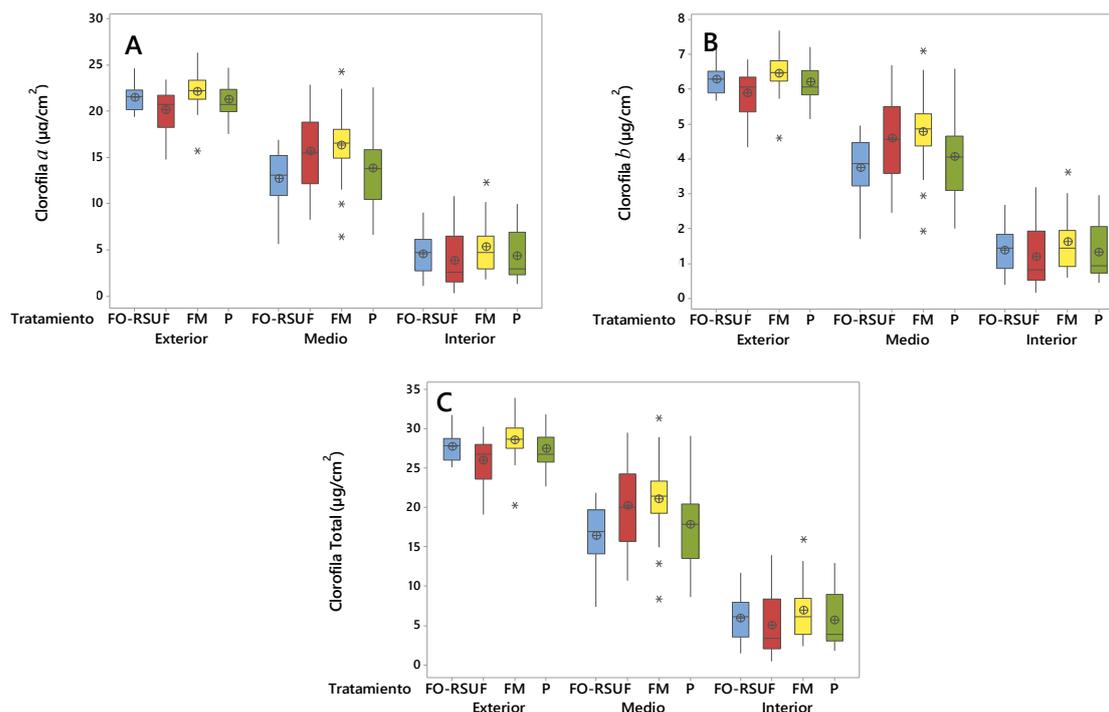


Figura 4-8. Diagrama de caja del contenido de clorofila a (A), clorofila b (B) y clorofila total (C), según posición de hoja de lechuga entre tratamientos aplicados, con un nivel de significancia del 5 %. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados).

4.5. Contenido de carbohidratos y lípidos

En la tabla 4-11. podemos observar los resultados de los valores promedios y las desviaciones estándares del contenido en carbohidratos y lípidos según el tipo de tratamiento aplicado. En el análisis estadístico de los resultados de estas dos variables se puede apreciar que hay diferencias significativas en su contenido ($p\text{-valor} \leq 0,05$). Referente a los carbohidratos, las plantas que fueron fertilizadas con compost FO-RSU fueron las que acumularon mayores concentraciones. No obstante, dichos valores no son significativamente distintos de los presentados por las plantas fertilizadas con mineral o fangos. Las plantas abonadas con purín han sido las que han sintetizado una menor cantidad de carbohidratos, pero esta cantidad sólo difiere de la presentada por las lechugas fertilizadas con FO-RSU (Tabla 4-11. y Fig. 4-9.).

De igual manera, el análisis estadístico realizado con el porcentaje de contenido en lípidos muestra como el tratamiento FO-RSU ha sido el que ha generado la concentración más elevada de lípidos, pero dicho resultado no se diferencia del presentado por las plantas tratadas con mineral o fango. También para este parámetro el menor valor se asocia a la muestra fertilizada con purín. En este caso no se observaron diferencias con el contenido lipídico entre este tratamiento y el de las plantas fertilizadas con fango (Tabla 4-11. y Fig. 4-9.).

Tabla 4-11. Contenido de carbohidratos y lípidos en lechuga, según tratamiento aplicado. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados).

Tratamiento	Carbohidratos (%)	Lípidos (%)
FM	0,447 ± 0,428 ^{ab}	0,151 ± 0,055 ^a
FO-RSU	1,088 ± 0,808 ^a	0,183 ± 0,062 ^a
P	0,099 ± 0,082 ^b	0,065 ± 0,027 ^b
F	0,415 ± 0,461 ^{ab}	0,126 ± 0,031 ^{ab}

Los datos se expresan como promedio ± DE. Las letras en superíndice muestran la información de agrupación, utilizando el método de Tukey (lípidos) y de Games-Howell (carbohidratos), con un nivel de significancia del 5%. Los promedios que contienen la misma letra no son significativamente diferentes.

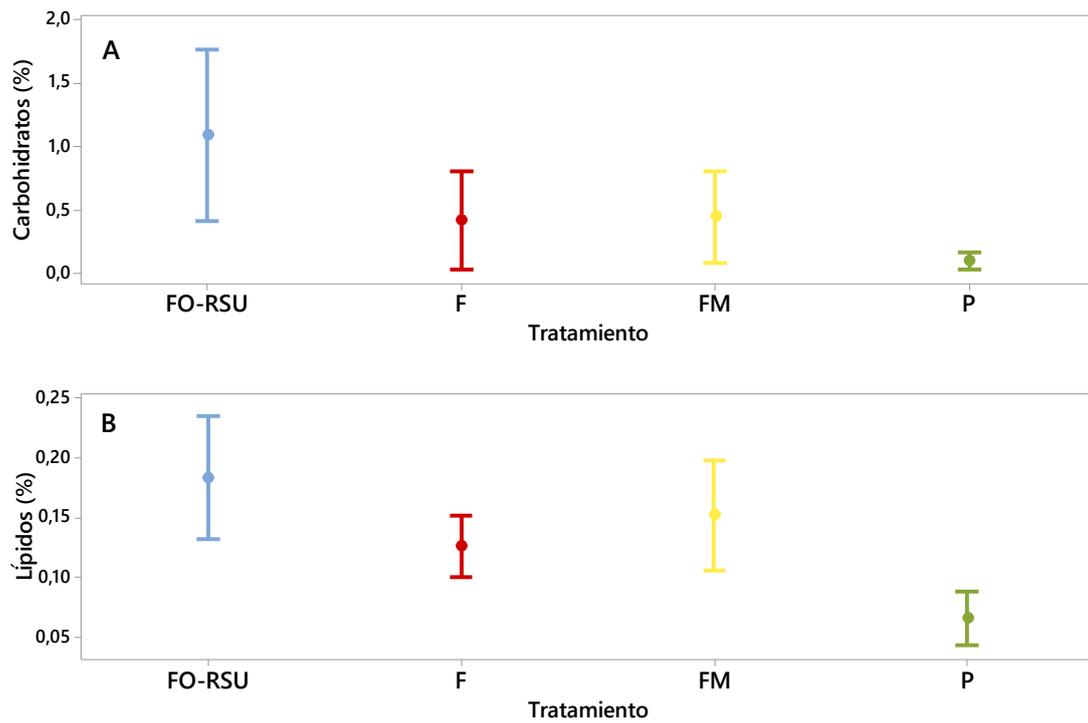


Figura 4-9. Diagrama de intervalos del porcentaje de contenido en carbohidratos (A) y lípidos (B) en lechuga, según tratamiento aplicado, con un nivel de significancia del 5 %. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados).

4.6. Registro de las absorbancias con la espectroscopía de infrarrojo cercano (NIR)

Una vez realizado el registro de las muestras con el espectrofotómetro, se observó interferencias en las muestras que fueron registradas con la bolsa hermética, por este motivo se ha considerado hacer el análisis estadístico de las lecturas obtenidas de las muestras sin bolsa.

En la figura 4-10. se observa los espectros de las muestras registradas, donde se ve la dispersión de éstas, representadas para cada longitud de onda. Las muestras que proceden de una fertilización mineral aparentan concentrarse en una franja determinada al contrario que las muestras correspondientes a los otros tratamientos que muestran una mayor dispersión y heterogeneidad. También se pueden ver dos picos en el espectro que corresponden a las longitudes de onda comprendidas entre los 1400 y los 1500 nm y las comprendidas entre los 1900 y los 2000 nm, según Davies y Grand (1987), entre estos dos rangos se encuentran las longitudes de onda 1440 y 1940 nm que corresponden a los picos del agua, teniendo en cuenta que el contenido hídrico de las lechugas es mayor al 94 %, era un valor esperado.

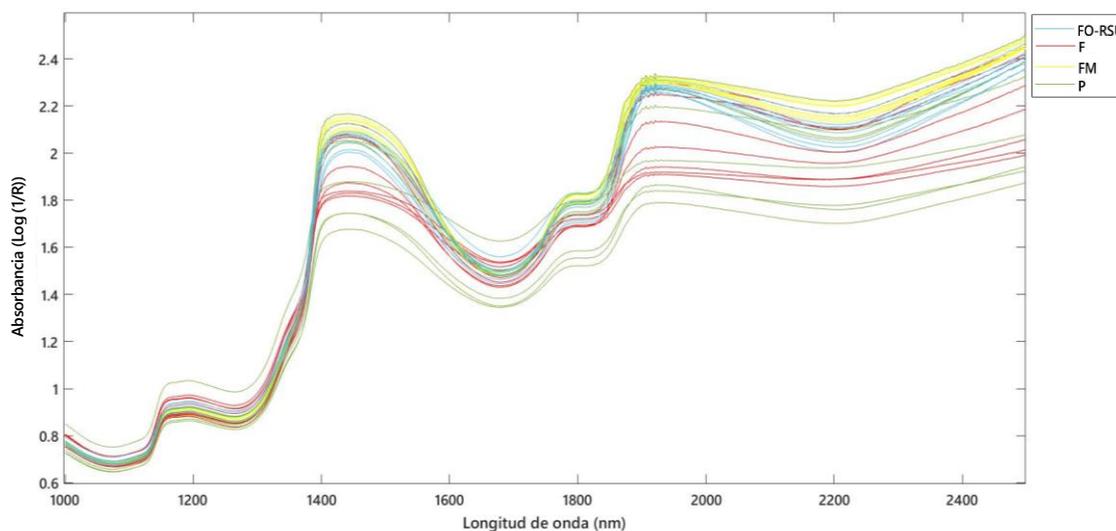


Figura 4-10. Espectros de las muestras por tratamientos. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados).

4.7. Análisis de los componentes principales de las características morfológicas, bioquímicas y espectroscópicas

El PCA es un método geométrico que comprime un conjunto de variables en un menor número de ellas, es decir, presenta datos multivariados en menos dimensiones.

Se ha configurado el análisis de componentes principales para buscar la creación de grupos a partir de los datos obtenidos. Para realizar este análisis únicamente se ha trabajado con la matriz de correlación, es decir, se ha realizado el autoescalado de los datos.

En la figura 4-11. se muestra el análisis de los componentes principales de las variables referentes a la biomasa y a las variables bioquímicas (clorofilas, carbohidratos y lípidos), dónde, el primer componente principal (PC1) y el segundo componente principal (PC2) explican juntos el 80,9 % de los datos. En este caso el PC1 está relacionado con la variable clorofilas, y el PC2 lo está con la biomasa (variables peso fresco y peso seco). Se observa claramente como el PC1 separa las muestras que proceden de las lechugas que han sido fertilizadas con abono mineral de las fertilizadas con purines de cerdo, siendo las muestras procedentes de fertilización mineral las que contienen un mayor contenido de estos pigmentos. Sin embargo, las muestras procedentes de lechugas abonadas con fangos digeridos y la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos no presentan diferencias. En el caso del PC2 únicamente se muestra una diferenciación para las muestras procedentes de lechugas abonadas con FO-RSU.

Después de analizar la curva de los espectros (Fig. 4-10.) de las muestras se observa que las diferencias entre los tratamientos no se ven claras, por ello y debido a la gran magnitud de los registros obtenidos, se ha optado por hacer el PCA donde el PC1 y el PC2 explican el 97,98 % de los datos (Fig. 4-12.). Estos dos componentes están relacionados con distintas regiones del rango de longitudes de onda que abarca la espectroscopía del infrarrojo cercano, siendo para el PC1 las longitudes de onda que se encuentran en los rangos de 1050 nm a 1100 nm y en el caso del segundo componente (PC2) está relacionado con la región que va desde los 1210 nm a los 1220 nm y la que abarca los 1350 nm a los 1380 nm.

Las muestras obtenidas de las lechugas que han sido fertilizadas con los fangos de depuradora y los purines de cerdo presentan una mayor dispersión de los datos, de forma contraria a las lechugas fertilizadas con el tratamiento mineral, donde se observa que son más homogéneas.

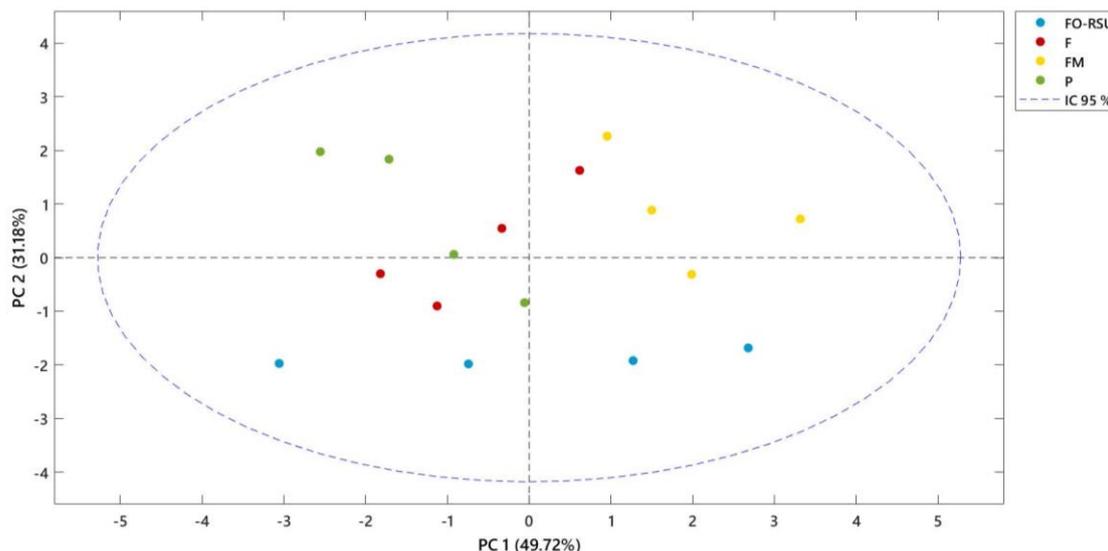


Figura 4-11. Diagrama del análisis de componentes principales (PCA) para los dos primeros componentes principales de los datos medidos con metodología analítica estándar, explicando el 80,9 % de los datos. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados).

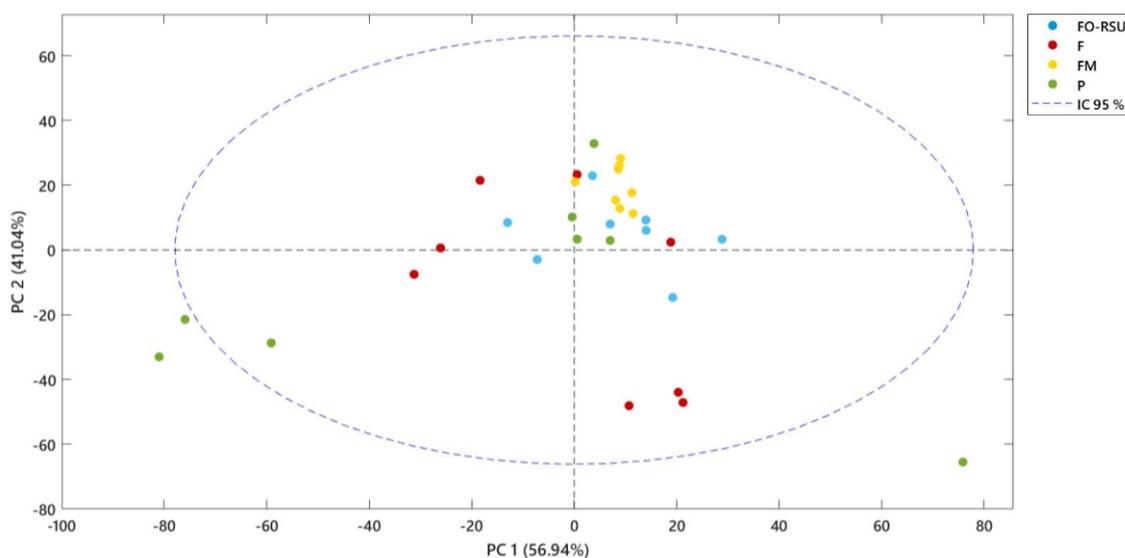


Figura 4-12. Diagrama del análisis de componentes principales (PCA) para los dos primeros componentes principales de las absorbancias, explicando el 97,98 % de los datos. (FM: Fertilizante mineral, FO-RSU: Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, P: Purines de cerdo, F: Fangos digeridos y deshidratados).

DISCUSIÓN

5. Discusión

5.1. Biomasa

Los valores de biomasa fresca y seca (parte aérea) obtenidos en este ensayo (segunda campaña de cultivo, otoño-invierno) son similares a los obtenidos por Alvarado (2020) en cultivo de primavera (primera campaña de cultivo, primavera), presentando pocos gramos de diferencia. No obstante, Pavlou et al. (2007) indican que para cultivo de lechuga la estacionalidad repercute en la producción agrícola, en su experimento la mayor producción se obtuvo en primavera. Entre Alvarado (2020) y este ensayo, las diferencias de biomasa son prácticamente inexistentes, seguramente, debido a que la integral térmica en ambos ensayos no difiere, situándose en torno a los 800 °C.

Las plantas fertilizadas con fangos digeridos y deshidratados y con purín de cerdo han sido las que han presentado un mayor crecimiento (mayor peso seco). Este mayor crecimiento seguramente se pueda asociar a lechugas con un mayor grosor de hoja o a un conjunto de hojas más largas (aunque estas variables no se han evaluado en este estudio), ya que las variables controladas (número de hojas y longitud de la hoja más larga) no presentan diferencias significativas entre tratamientos. Esta diferencia de crecimiento entre estas lechugas y las abonadas con FO-RSU y abono mineral podría relacionarse con la disposición del nitrógeno, o bien, a la presencia de ciertos compuestos orgánicos emergentes estimulantes (con algún efecto fitorregulador) contenidos en los purines y en los fangos digeridos de depuradora.

El nitrógeno es el elemento nutritivo más necesario para el crecimiento de las plantas (Vitousek et al., 1997). A pesar de que la cantidad de nitrógeno amoniacal aportada en todos los tratamientos haya sido la misma (100 U.F.), la cantidad de nitrógeno restante (orgánico o nítrico en el caso del abonado mineral) fue distinta (aproximadamente: 69% purín, 32% fango, 16% FO-RSU, 50% mineral) y, presumiblemente, su tasa de mineralización y su posterior disposición para el cultivo también. La velocidad de mineralización se ve afectada, entre otros parámetros, por el grado de humedad del suelo (Thompson y Troeh, 1988; Hart y Firestone, 1989).

En nuestro caso, la frecuencia y la dosis de agua aportada en todas las subparcelas permitía que el grado de humectación del suelo estuviera siempre cercano a capacidad de campo. No obstante, es necesario precisar que debido a la gran cantidad de FO-RSU aplicado en las subparcelas a las que

correspondía este tratamiento (más de 4 kg/m²), se formó una capa del propio compost a nivel superficial con un grosor aproximado de 2-3 cm. Este tipo de producto está formado por grandes partículas de restos vegetales compostados. Por consiguiente, dichas partículas presentaron dificultades para humectarse, es decir, el compost no se humedecía con la misma intensidad que lo hacía, por ejemplo, el fango deshidratado. Consecuentemente, las plantas tratadas con FO-RSU crecieron a un ritmo menor que las tratadas con los otros fertilizantes, ya que, probablemente, no se produjo una correcta mineralización de éste, y en consecuencia la disponibilidad de nitrógeno, seguramente, tuvo que ser menor.

El hecho de que las plantas fertilizadas con fango deshidratado y purín de cerdo presentaran un mejor desarrollo vegetal que las tratadas con abono mineral, podría deberse a la presencia de ciertos contaminantes orgánicos emergentes en su composición, que podrían haber favorecido el desarrollo vegetal de dichas plantas. Algunos agricultores que aplican este tipo de productos hacen mención también a este hecho (comunicación personal de Miquel Massip – UPC). Esto podría ser debido a que alguno de los xenobióticos presentes tuviera un efecto estimulante similar a los reguladores de crecimiento vegetal. Además, cabe remarcar, que, de las cuatro repeticiones del tratamiento de fangos digeridos, tres de ellas estaban distribuidas en los bloques caracterizados como III y IV.

En este TFG no se contempla la determinación de elementos traza ni de antibióticos en el material vegetal obtenido en el ensayo. Sin embargo, éstos han sido evaluados por científicos del IDAEA-CSIC en el ámbito del proyecto AGL2017-89518-R pero todavía están pendientes de su publicación. Este grupo de investigación, liderado por el Dr. Bayona tiene referenciados trabajos en donde se analiza la acumulación de dichos contaminantes en el medio de cultivo y en la planta, tanto en condiciones de cultivo in vitro para lechuga y especies ornamentales (Calderón-Preciado et al., 2012; Aguilar, 2013) como en condiciones de cultivo de lechuga en contenedor o en campo (Hurtado et al., 2016; Margenat et al., 2017, 2018, 2019, 2020; You et al., 2020).

Otros autores también han encontrado que la fertilización en cantidades apropiadas de fertilizantes orgánicos implica un buen crecimiento de los cultivos (Quilty y Cattle, 2011; Cavagnaro, 2014; Ibukunoluwa, 2015). Además, este tipo de aporte influye positivamente en las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo (Mäder et al., 2002; Van-Camp et al., 2004; Maraseni et al., 2010; Yang et al., 2016).

5.2. Clorofilas

Los resultados correspondientes a la síntesis de clorofilas (*a* y *b*) de las lechugas cultivadas indican de nuevo una tendencia en la que las lechugas tratadas con FO-RSU se han visto ligeramente afectadas por el tratamiento. Como se ha indicado anteriormente, el fertilizante aplicado, seguramente, dispuso de un porcentaje de humedad menor, lo que provocó una menor mineralización del nitrógeno orgánico presente en el compost. Por ello, esta menor formación clorofílica se puede vincular, también, al menor crecimiento desarrollado por estas plantas. Se sabe que la falta de disponibilidad de agua en el suelo provoca una menor síntesis de contenido en clorofilas. Kirnak et al. (2001) cuantificaron un 55% de reducción de clorofilas en plantas de *Matricaria chamomilla* L. sometidas a estrés hídrico respecto de las plantas control.

Los valores clorofílicos obtenidos fueron muy similares a los presentados por Jaray (2019) y Perdomo (2020), también en lechuga, pero cultivada en invernadero, mientras que Alvarado (2020), también para la misma variedad de lechuga y condiciones de cultivo, obtuvo una concentración de clorofilas, algo mayor. Varios autores han encontrado que en distintas especies la síntesis de clorofilas se ve afectada por las bajas temperaturas, desarrollando un menor contenido (Glaszmann et al., 1990; Wu et al., 1997; Liu et al., 2013) lo que justificaría también en nuestro caso, una disminución en la formación de estos pigmentos.

Tal y como se preveía, debido a la irradiancia recibida en cada una de las localizaciones de la hoja la concentración clorofílica se ha visto afectada por la posición foliar.

5.3. Carbohidratos y lípidos

Los resultados obtenidos muestran un contenido en carbohidratos y lípidos algo diferentes a los obtenidos durante la primera campaña de cultivo (Alvarado, 2020). En esta segunda campaña las concentraciones lipídicas han aumentado en comparación con la primera cosecha (ciclo de cultivo de primavera), mientras que los carbohidratos sólo han aumentado en los tratamientos de fangos digeridos y mineral. Según varios autores, la síntesis de estas macromoléculas está estrechamente relacionada a los estreses abióticos. En nuestras condiciones de cultivo (invierno), podemos atribuir dichos aumentos, seguramente, a las bajas temperaturas registradas. Son numerosas las referencias bibliográficas relacionadas con la síntesis de estas macromoléculas y las bajas

temperaturas (Steponkus, 1984; Guy et al., 1992; Sakamoto et al., 2015; Gent, 2016; Barrero-Sicilia et al., 2017; Hajihashemi et al., 2018). No obstante, otras condiciones atmosféricas adversas acaecidas pueden haber influido en dicha síntesis. Durante el tiempo de cultivo, se produjeron fuertes rachas de viento y la anegación de la parcela provocada por la severa incidencia del temporal Gloria.

Distintos autores indican que diferentes factores ambientales (temperatura, estrés hídrico u osmótico, composición del suelo, etc.) pueden afectar la biosíntesis de lípidos (Munnik, 1998, 2001; Meijer et al., 1999; Zhang et al., 2016). Bavaro et al. (2007) especifican que las plantas superiores muestran un incremento en su contenido lipídico en condiciones de estrés. También algunos autores han encontrado que algunos xenobióticos alteran la formación de lípidos en las plantas (Harwood, 1998) y esto podría estar relacionado con la menor formación de estos compuestos en el caso de los purines.

Como se muestra en resultados, los porcentajes de lípidos detectados son muy bajos (inferiores a 0,183 %) y acorde con las cantidades presentes en las plantas, que tal y como citan algunos autores siempre suelen ser de poca cuantía (Frame y Laidlaw, 1992). Así mismo, Jaray (2019), para un mismo cultivar de lechuga, pero fertilizado con menor dosis de nitrógeno y cultivado en contenedor, obtuvo unos porcentajes lipídicos algo superiores. También, Margenat et al. (2018) cuantificaron, aunque sin diferencias significativas, en lechugas desarrolladas en condiciones de cultivo no experimentales en una parcela irrigada con agua de riego que contenía, en parte, agua residual depurada, un contenido lipídico de 0,23 %, mientras que las lechugas cosechadas en una finca ecológica el contenido fue de 0,15 %. Por término medio, nuestros valores se asemejan más a los determinados en el material vegetal procedente de la finca ecológica.

En lo que concierne a los distintos tipos de fertilizantes aplicados en el cultivo, la formación de carbohidratos y lípidos presentó un comportamiento inverso al descrito en esta memoria en referencia al crecimiento vegetal, es decir, los resultados obtenidos muestran una tendencia donde a menor crecimiento y formación de clorofilas (FO-RSU) mayor formación de carbohidratos y lípidos. Este hecho se podría, quizás, atribuir a una menor humectación del compost y posiblemente a una menor disponibilidad hídrica en superficie. En general, las plantas sometidas a cierto estrés hídrico presentan un mayor contenido de azúcares (Bray, 1997; Hasegawa et al., 2000; Pérez et al.,

2001, Xue et al., 2008; Méndez et al., 2011; Mafakheri et al., 2011) y de lípidos (Thu et al., 1985, 1990; Repellin et al., 1997; Gigon et al., 2004) que las cultivadas sin limitación hídrica.

5.4. Espectroscopía del infrarrojo cercano

Los registros NIR obtenidos a partir del puré de lechuga dependen fundamentalmente de la composición de la muestra. Los registros, por si mismos, no aportan una información analítica concreta, pero sí que nos permiten visualizar cuan diferentes son las muestras entre ellas, con relación al tratamiento de fertilización que han recibido.

Como se ha mostrado en el apartado de resultados, las muestras minerales se encuentran mucho más concentradas en una región, seguidas por las muestras pertenecientes al puré de lechuga fertilizada con FO-RSU, mientras que las que provienen de la fertilización mediante los purines de cerdo y los fangos digeridos, presentan una dispersión mayor. Además, esta dispersión no está relacionada con la localización de las diferentes subparcelas. Esta tendencia a la dispersión no se observa en el diagrama de los componentes principales de los parámetros bioquímicos, es decir, muestran una dispersión similar para los cuatro tipos de tratamiento.

Esta dispersión no se corresponde con la observada en la mayoría de las variables estudiadas en este ensayo (número de hojas, longitud de la hoja más larga, peso fresco, peso seco y contenido clorofílico), siendo las lechugas fertilizadas con purines de cerdo, las que han presentado mayor variabilidad y las plantas que procedían de la fertilización con fangos digeridos, las que han presentado una menor variabilidad. Por el contrario, la fertilización con purines de cerdo ha provocado una menor dispersión del contenido de carbohidratos y lípidos en las lechugas analizadas. Las diferencias obtenidas con la espectroscopía del infrarrojo cercano se pueden deber a otros caracteres que no se han controlado en el presente estudio.

CONCLUSIONES

6. Conclusiones

De los resultados obtenidos del trabajo experimental realizado, se establecen las siguientes conclusiones principales:

- El tipo de fertilización empleada no ha afectado ni al número de hojas ni a la longitud de la hoja más larga.
- Las plantas tratadas con purín de cerdo y fango digerido y deshidratado presentan una mayor biomasa (peso fresco y seco de la parte aérea) frente las plantas fertilizadas con FO-RSU y mineral.
- El contenido de clorofilas (*a*, *b* y total) es más elevado en las plantas tratadas con abono mineral que las fertilizadas con FO-RSU, pero no superior a las abonadas con purín de cerdo o fango deshidratado. Tampoco se observan diferencias significativas entre los tratamientos orgánicos.
- Para todos los tratamientos, la posición de la hoja afecta al contenido clorofílico, situándose la mayor concentración en las hojas en la posición más externa de la cobertura foliar, y la menor en las hojas interiores.
- La formación de carbohidratos es más elevada en las plantas fertilizadas con FO-RSU que con purines de cerdo.
- El menor porcentaje lipídico se ha obtenido en las plantas fertilizadas con purines de cerdo y fangos digeridos. No obstante, no existen diferencias entre los tratamientos mineral, FO-RSU y fangos digeridos
- La espectroscopía NIR ha permitido observar que los resultados obtenidos en las plantas fertilizadas con abono mineral y FO-RSU son más homogéneos que los resultados procedentes de lechugas fertilizadas con purines de cerdo y fangos digeridos.

BIBLIOGRAFIA

Bibliografía

- Aguilar, M., 2013. Efecte de l'aplicació de microcontaminants orgànics emergents en microbrots cultivats in vitro de *Spathiphyllum* spp. Trabajo Final de Carrera. Escola Superior d'Agricultura de Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya. pp. 95.
- Ahmed, M. B. M., Rajapaksha, A. U., Lim, J. E., Vu, N. T., Kim, I. S., Kang, H. M., Lee, S. S., Ok, Y. S., 2015. Distribution and accumulative pattern of tetracyclines and sulfonamides in edible vegetables of cucumber, tomato, and lettuce. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63: 398–405.
<https://doi.org/10.1021/jf5034637>
- Alvarado, A., 2020. Efecto de la incorporación de diferentes abonos orgánicos en el desarrollo y contenido en lípidos , azúcares y clorofilas en cultivos de hortalizas. Trabajo Final de Grado. Escola Superior d'Agricultura de Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya. pp. 116.
- An, J., Chen, H., Wei, S., Gu, J., 2015. Antibiotic contamination in animal manure, soil, and sewage sludge in Shenyang, northeast China. *Environmental Earth Sciences*, 74: 5077–5086.
<https://doi.org/10.1007/s12665-015-4528-y>
- Barrero-Sicilia, C., Silvestre, S., Haslam, R. P., Michaelson, L. V., 2017. Lipid remodelling: Unravelling the response to cold stress in *Arabidopsis* and its extremophile relative *Eutrema salsgineum*. *Plant Science*, 263: 194–200.
<https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2017.07.017>
- Bavaro, L., Catucci, L., Depalo, N., Ventrella, A., Corcelli, A., Agostiano, A., 2007. Lipid content in higher plants under osmotic stress. *Bioelectrochemistry*, 70: 12–17.
<https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2006.03.036>
- Bayona, J.M., Matamoros, V., 2017. Dinámica de la acumulación de antibióticos, metales y genes de resistencia bacteriana en cultivos agrícolas por fertilización orgánica. Implicaciones en la producción vegetal y seguridad alimentaria. Memoria científica técnica del proyecto AGL2017-89518-R., pp. 20.
- Bernal, M. P., Roig, A., Lax, A., Navarro, A. F., 1992. Effects of the application of pig slurry on some physico-chemical and physical properties of calcareous soils. *Bioresource Technology*, 42: 233-239.
[https://doi.org/10.1016/0960-8524\(92\)90026-T](https://doi.org/10.1016/0960-8524(92)90026-T)
- Blatt, C. R., 1991. Comparison of several organic amendments with a chemical fertilizer for vegetable production. *Scientia Horticulturae*, 47: 177–191.
[https://doi.org/10.1016/0304-4238\(91\)90001-F](https://doi.org/10.1016/0304-4238(91)90001-F)

- BOE, 2011. Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. Agencia Estatal del Boletín Oficial del Estado: 181: 1-52.
<https://www.boe.es/eli/es/l/2011/07/28/22>
- BOE, 2013. Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes. Agencia Estatal del Boletín Oficial del Estado: 51119 – 51207.
<https://www.boe.es/eli/es/rd/2013/06/28/506>
- BOE, 2018. Real Decreto 1338/2018, de 29 de octubre, por el que se regula el potencial de producción vitícola. Agencia Estatal del Boletín Oficial del Estado: 61561–61567.
<https://www.boe.es/eli/es/rd/2018/10/29/1338>
- Boxall, A. B.A., Fogg, L. A., Blackwell, P. A., Blackwell, P., Kay, P., Pemberton, E. J., Croxford, A., 2004. Veterinary medicines in the environment. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 180: 1–91.
https://doi.org/10.1007/0-387-21729-0_1
- Boxall, A. B.A., Johnson, P., Smith, E. J., Sinclair, C. J., Stutt, E., Levy, L. S., 2006. Uptake of veterinary medicines from soils into plants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54: 2288–2297.
<https://doi.org/10.1021/jf053041t>
- Bray, E. A., 1997. Plant responses to water deficit. *Trends in Plant Science*, 2: 48–54.
[https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(97\)82562-9](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(97)82562-9)
- Brechin, J., McDonald, G. K., 1994. Effect of form and rate of pig manure on the growth, nutrient uptake, and yield of barley (Cv. galleon). *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 34: 505–510.
<https://doi.org/10.1071/EA9940505>
- Calderón-Preciado, D., Jiménez-Cartagena, C., Matamoros, V., Bayona, J. M., 2011a. Screening of 47 organic microcontaminants in agricultural irrigation waters and their soil loading. *Water Research*, 45: 221–231.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.07.050>
- Calderón-Preciado, D, Matamoros, V., Bayona, J. M., 2011b. Occurrence and potential crop uptake of emerging contaminants and related compounds in an agricultural irrigation network. *Science of the Total Environment*, 412–413: 14–19.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.09.057>

- Calderón-Preciado, D, Renault, Q., Matamoros, V., Cañameras, N., Bayona, J. M., 2012. Uptake of organic emergent contaminants in spath and lettuce: an in vitro experiment. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60: 2000–2007.
<https://doi.org/10.1021/jf2046224>
- Calderón-Preciado, D, Matamoros, V., Savé, R., Muñoz, P., Biel, C., Bayona, J. M., 2013. Uptake of microcontaminants by crops irrigated with reclaimed water and groundwater under real field greenhouse conditions. *Environmental Science and Pollution Research*, 20: 3629–3638.
<https://doi.org/10.1007/s11356-013-1509-0>
- Carbonell, G., Miralles de Imperial, R., Torrijos, M., Delgado, M., Rodriguez, J. A., 2011. Effects of municipal solid waste compost and mineral fertilizer amendments on soil properties and heavy metals distribution in maize plants (*Zea mays* L.). *Chemosphere*, 85: 1614–1623.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.08.025>
- Cavagnaro, T. R., 2014. Impacts of compost application on the formation and functioning of arbuscular mycorrhizas. *Soil Biology and Biochemistry*, 78: 38–44.
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.07.007>
- Cerqueira, F., Matamoros, V., Bayona, J., Piña, B., 2019a. Antibiotic resistance genes distribution in microbiomes from the soil-plant-fruit continuum in commercial *Lycopersicon esculentum* fields under different agricultural practices. *Science of the Total Environment*, 652: 660–670.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.268>
- Cerqueira, F., Matamoros, V., Bayona, J. M., Berendonk, T. U., Elsinga, G., Hornstra, L. M., Piña, B., 2019b. Antibiotic resistance gene distribution in agricultural fields and crops. A soil-to-food analysis. *Environmental Research*, 177: 18–26.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108608>
- Cheng, M., Wu, L., Huang, Y., Luo, Y., Christie, P., 2014. Total concentrations of heavy metals and occurrence of antibiotics in sewage sludges from cities throughout China. *Journal of Soils and Sediments*, 14: 1123–1135.
<https://doi.org/10.1007/s11368-014-0850-3>
- Christensen, B. T., Johnston, A. E., 1997. Soil organic matter and soil quality. Lessons learned from long term experiments at Askov and Rothamsted. En: *Developments in Soil Science* (25). Ed: E.G. Gregorich, M.R. Carter. Amsterdam. pp. 399–430.
[https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(97\)80045-1](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(97)80045-1)

- Cycoń, M., Mrozik, A., Piotrowska-Seget, Z., 2019. Antibiotics in the soil environment—degradation and their impact on microbial activity and diversity. *Frontiers in Microbiology*, 10: 1-45. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00338>
- Daudén, A., Quílez, D., 2004. Pig slurry versus mineral fertilization on corn yield and nitrate leaching in a Mediterranean irrigated environment. *European Journal of Agronomy*, 21: 7–19. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(03\)00056-X](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(03)00056-X)
- Daudén, A., Quílez, D., Vera, M. V., 2004. Pig slurry application and irrigation effects on nitrate leaching in Mediterranean soil lysimeters. *Journal of Environmental Quality*, 33: 2290–2295. <https://doi.org/10.2134/jeq2004.2290>
- Davies, A. M. C., Grant, A., 1987. Review: Near infra-red analysis of food. *International Journal of Food Science and Technology*, 22: 191–207. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1987.tb00479.x>
- Frame, J., Laidlaw, A. S., 1992. *Improved Grassland Management*. (2ª edición-2011). The Crowood Press Limited, Ramsbury. pp. 352.
- Gai, X., Liu, H., Zhai, L., Tan, G., Liu, J., Ren, T., Wang, H., 2016. Vegetable yields and soil biochemical properties as influenced by fertilization in Southern China. *Applied Soil Ecology*, 107: 170–181. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2016.06.001>
- Gent, M. P. N., 2016. Effect of temperature on composition of hydroponic lettuce. *Acta Horticulturae*, 1123: 95–100. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1123.13>
- Gigon, A., Matos, A. R., Laffray, D., Zuily-Fodil, Y., Pham-Thi, A. T., 2004. Effect of drought stress on lipid metabolism in the leaves of *Arabidopsis thaliana* (Ecotype Columbia). *Annals of Botany*, 94: 345–351. <https://doi.org/10.1093/aob/mch150>
- Gil-Sotres, F., Leirós, M. C., Trasar-Cepeda, M. C., 1992. Development of pollution-neutralizing properties in very young mine soils. *Land Degradation and Development*, 3: 229–239. <https://doi.org/10.1002/ldr.3400030404>
- Glaszmann, J. C., Kaw, R. N., Khush, G. S., 1990. Genetic divergence among cold tolerant rices (*Oryza sativa* L.). *Euphytica*, 45: 95–104.
- Grau, A., Farré, O., 2011. Situación y potencial de valorización energética directa de residuos. Estudio Técnico PER 2011-2020. IDAE, Madrid. pp 132.

- Guoqing, X., Xiuqin, C., Liping, B., Hongtao, Q., Haibo, L., 2019. Absorption, accumulation and distribution of metals and nutrient elements in poplars planted in land amended with composted sewage sludge: A field trial. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 182: 109360 (pre-proof).
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.06.043>
- Guy, C. L., Huber, J. L. A., Huber, S. C., 1992. Sucrose phosphate synthase and sucrose accumulation at low temperature. *Plant Physiology*, 100: 502-508.
<https://doi.org/10.1104/pp.100.1.502>
- Hajhashemi, S., Noedoost, F., Geuns, J. M. C., Djalovic, I., Siddique, K. H. M., 2018. Effect of cold stress on photosynthetic traits, carbohydrates, morphology, and anatomy in nine cultivars of *Stevia rebaudiana*. *Frontiers in Plant Science*, 9: 1–12.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01430>
- Hammesfahr, U., Bierl, R., Thiele-Bruhn, S., 2011. Combined effects of the antibiotic sulfadiazine and liquid manure on the soil microbial - community structure and functions. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 174: 614-623.
<https://doi.org/10.1002/jpln.201000322>
- Hart, S. C., Firestone, M. K., 1989. Evaluation of three in situ soil nitrogen availability assays. *Canadian Journal of Forest Research*, 19: 185–191.
<https://doi.org/10.1139/x89-026>
- Hasegawa, P. M., Bressan, R. A., Zhu, J.-K., Bohnert, H. J., 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 51: 463–499.
<https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.51.1.463>
- Herencia, J. F., Ruiz-Porrás, J. C., Melero, S., García-Galavis, P. A., Morillo, E., Maqueda, C., 2007. Comparison between organic and mineral fertilization for soil fertility levels, crop macronutrient concentrations, and yield. *Agronomy Journal*, 99: 973–983.
<https://doi.org/10.2134/agronj2006.0168>
- Hurtado, C., Domínguez, C., Pérez-Babace, L., Cañameras, N., Comas, J., Bayona, J. M., 2016. Estimate of uptake and translocation of emerging organic contaminants from irrigation water concentration in lettuce grown under controlled conditions. *Journal of Hazardous Materials*, 305: 139–148.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.11.039>

- Hurtado, C., Cañameras, N., Domínguez, C., Price, G. W., Comas, J., Bayona, J. M., 2017. Effect of soil biochar concentration on the mitigation of emerging organic contaminant uptake in lettuce. *Journal of Hazardous Materials*, 323: 386-393.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.04.046>
- Ibukunoluwa, E., 2015. Use of different organic fertilizers on soil fertility improvement, growth and head yield parameters of cabbage (*Brassica oleraceae* L.). *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 4: 291-298.
<https://doi.org/10.1007/s40093-015-0108-0>
- Iglesias, M., Marguí, E., Camps, F., Hidalgo, M., 2018. Extractability and crop transfer of potentially toxic elements from Mediterranean agricultural soils following long-term sewage sludge applications as a fertilizer replacement to barley and maize crops. *Waste Management*, 75: 312-318.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.01.024>
- Jaray, S., 2019. Estudio del efecto de uso de fertilizantes orgánicos sobre el desarrollo y contenido de lípidos, azúcares y clorofilas en cultivo de *Lactuca sativa* L. en invernadero. Trabajo de Final de Grado. Escola Superior d'Agricultura de Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya. pp. 97.
- Jechalke, S., Heuer, H., Siemens, J., Amelung, W., Smalla, K., 2014. Fate and effects of veterinary antibiotics in soil. *Trends in Microbiology*, 22: 536-545.
<https://doi.org/10.1016/j.tim.2014.05.005>
- Jelic, A., Gros, M., Ginebreda, A., Céspedes-Sánchez, R., Ventura, F., Petrovic, M., Barcelo, D., 2011. Occurrence, partition and removal of pharmaceuticals in sewage water and sludge during wastewater treatment. *Water Research*, 45: 1165-1176.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.11.010>
- Kim, K., Owens, G., Kwon, S., So, K., Lee, D., Ok, Y. S., 2011. Occurrence and environmental fate of veterinary antibiotics in the terrestrial Environment. *Water, Air, & Soil Pollution*, 214: 163-174.
<https://doi.org/10.1007/s11270-010-0412-2>
- Kirnak, H., Kaya, C., Tas, I., Higgs, D., 2001. The influence of water deficit on vegetative growth, physiology, fruit yield and quality in eggplants. *Journal of Plant Physiology*, 27: 34-46.
- Lastra, E. B. T., 2013. Caracterización experimental de la fracción orgánica triturada de los RSU para valorar su incorporación al agua residual y tratamiento de una EDAR. Trabajo Final de Máster. Universitat Politècnica de València. pp. 140.

- Lee, J. J., Park, R. D., Kim, Y. W., Shim, J. H., Chae, D. H., Rim, Y. S., Sohn, B. K., Kim, T. H., Kim, K. Y., 2004. Effect of food waste compost on microbial population, soil enzyme activity and lettuce growth. *Bioresource Technology*, 93: 21–28.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.10.009>
- Lee, J., 2010. Effect of application methods of organic fertilizer on growth, soil chemical properties and microbial densities in organic bulb onion production. *Scientia Horticulturae*, 124: 299–305.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.01.004>
- Liu, W., Yu, K., He, T., Li, F., Zhang, D., Liu, J., 2013. The low temperature induced physiological responses of *Avena nuda* L., a cold-tolerant plant species. *The Scientific World Journal*, 2013: 1-7.
<https://doi.org/10.1155/2013/658793>
- Lopedota, O., Leogrande, R., Fiore, A., Debiase, G., Montemurro, F., 2013. Yield and soil responses of melon grown with different organic fertilizers. *Journal of Plant Nutrition*, 36: 415-428.
<https://doi.org/10.1080/01904167.2012.748062>
- López, M., Soliva, M., Martínez-Farré, F. X., Fernández, M., Huerta-Pujol, O., 2010. Evaluation of MSW organic fraction for composting: Separate collection or mechanical sorting. *Resources, Conservation and Recycling*, 54: 222–228.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2009.08.003>
- López, A., Arazuri, S., Jarén, C., Mangado, J., Arnal, P., Galarreta, J. I. R., Riga, P., López, R. 2013., Crude protein content determination of potatoes by NIRS technology. *Procedia Technology*, 8: 488–492.
<https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.11.064>
- Mäder, P., Fließbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., Niggli, U., 2002. Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science*, 296: 1694–1697.
<https://doi.org/10.1126/science.1071148>
- Mafakheri, A., Siosemardeh, A., Bahramnejad, B., Struik, P. C., Sohrabi, Y., 2011. Effect of drought stress and subsequent recovery on protein, carbohydrate contents, catalase and peroxidase activities in three chickpea (*Cicer arietinum*) cultivars. *Australian Journal of Crop Science*, 5: 1255–1260.
- Maraseni, T. N., Chen, G., Guangren, Q., 2010. Towards a faster and broader application of biochar: appropriate marketing mechanisms. *International Journal of Environmental Studies*, 67: 851–860.
<https://doi.org/10.1080/00207233.2010.533892>

- Margenat, A., Matamoros, V., Díez, S., Cañameras, N., Comas, J., Bayona, J. M., 2017. Occurrence of chemical contaminants in peri-urban agricultural irrigation waters and assessment of their phytotoxicity and crop productivity. *Science of the Total Environment*, 599–600: 1140–1148.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.025>
- Margenat, A., Matamoros, V., Díez, S., Cañameras, N., Comas, J., Bayona, J. M., 2018. Occurrence and bioaccumulation of chemical contaminants in lettuce grown in peri-urban horticulture. *Science of the Total Environment*, 637–638: 1166–1174.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.035>
- Margenat, A., Matamoros, V., Díez, S., Cañameras, N., Comas, J., Bayona, J. M., 2019. Occurrence and human health implications of chemical contaminants in vegetables grown in peri-urban agriculture. *Environment International*, 124: 49–57.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.12.013>
- Margenat, A., You, R., Cañameras, N., Carazo, N., Díez, S., Bayona, J. M., Matamoros, V., 2020. Occurrence and human health risk assessment of antibiotics and trace elements in *Lactuca sativa* amended with different organic fertilizers. *Environmental Research*, 190: 109946 (pre-proof).
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109946>
- Martín, J., Camacho-Muñoz, D., Santos, J. L., Aparicio, I., Alonso, E., 2012. Occurrence of pharmaceutical compounds in wastewater and sludge from wastewater treatment plants: Removal and ecotoxicological impact of wastewater discharges and sludge disposal. *Journal of Hazardous Materials*, 239–240: 40–47.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.04.068>
- Martínez, F., Cuevas, G., Calvo, R., Walter, I., 2003. Biowaste effects on soil and native plants in a semiarid ecosystem. *Journal of Environmental Quality*, 32: 472–479.
<https://doi.org/10.2134/jeq2003.4720>
- Massé, D. I., Saady, N. M. C., Gilbert, Y., 2014. Potential of biological processes to eliminate antibiotics in livestock manure: An overview. *Animals*, 4: 146–163.
<https://doi.org/10.3390/ani4020146>
- McKinney, C. W., Dungan, R. S., Moore, A., Leytem, A. B., 2018. Occurrence and abundance of antibiotic resistance genes in agricultural soil receiving dairy manure. *FEMS Microbiology Ecology*, 94: 1–10.
<https://doi.org/10.1093/femsec/fiy010>

- Meijer, H. J. G., Divecha, N., Van Den Ende, H., Musgrave, A., Munnik, T., 1999. Hyperosmotic stress induces rapid synthesis of phosphatidyl-d-inositol 3,5-bisphosphate in plant cells. *Planta*, 208: 294–298.
<https://doi.org/10.1007/s004250050561>
- Mello, J.C., Dietrich, R., Meinert, E.M., Teixeira, E., Amante, E.R., 2006. Efeito do cultivo orgânico e convencional sobre a vida-de-prateleira de alface americana (*Lactuca sativa* L.) minimamente processada. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 23: 418-426.
<https://doi.org/10.1590/s0101-20612003000300022>
- Méndez, A. M., Castillo, D., del Pozo, A., Matus, I., Morcuende, R., 2011. Differences in stem soluble carbohydrate contents among recombinant chromosome substitution lines (RCSLs) of barley under drought in a mediterranean-type environment. *Agronomy Research*, 9: 433–438.
- Mou, B., 2012. Nutritional Quality of Lettuce. *Current Nutrition and Food Science*, 8: 177–187.
<https://doi.org/10.2174/157340112802651121>
- Munnik, T., Irvine, R. F., Musgrave, A., 1998. Phospholipid signalling in plants. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1389: 222–272.
[https://doi.org/10.1016/S0005-2760\(97\)00158-6](https://doi.org/10.1016/S0005-2760(97)00158-6)
- Munnik, T., 2001. Phosphatidic acid: an emerging plant lipid second messenger. *Trends in Plant Science*, 6: 227–233.
[https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(01\)01918-5](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(01)01918-5)
- Nadal, M., 2015. Efecte de la incorporació de biochar al sòl i estrès abiòtic de contaminants orgànics emergents presents en l'aigua de reg en la producció de biomassa de *Lactuca sativa* L. Trabajo Final de Grado. Escola Superior d'Agricultura de Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya. pp. 99.
- Ngigi, A. N., Ok, Y. S., Thiele-Bruhn, S., 2020. Biochar affects the dissipation of antibiotics and abundance of antibiotic resistance genes in pig manure. *Bioresource Technology*, 315: 123782 (pre-proof).
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123782>
- Pan, M., Chu, L. M., 2017. Fate of antibiotics in soil and their uptake by edible crops. *Science of the Total Environment*, 599–600: 500–512.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.214>

- Pascual, J. A., García, C., Hernandez, T., 1999. Lasting microbiological and biochemical effects of the addition of municipal solid waste to an arid soil. *Biology and Fertility of Soils*, 30: 1–6.
<https://doi.org/10.1007/s003740050579>
- Pavlou, G. C., Ehaliotis, C. D., Kavvadias, V. A., 2007. Effect of organic and inorganic fertilizers applied during successive crop seasons on growth and nitrate accumulation in lettuce. *Scientia Horticulturae*, 111: 319–325.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2006.11.003>
- Perdomo, A. M., 2020. Efecto de la presencia de metales pesados (Zn y Cu) en el desarrollo y contenido de lípidos, azúcares y clorofilas en cultivos de hortalizas. Trabajo Final de Grado. Escola Superior d'Agricultura de Barcelona. Universitat Politècnica de Catalunya. pp. 71.
- Pérez, P., Morcuende, R., Martín del Molino, I., Sánchez de la Puente, L., Martínez-Carrasco, R., 2001. Contrasting responses of photosynthesis and carbon metabolism to low temperatures in tall fescue and clovers. *Physiologia Plantarum*, 112: 478–486.
<https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2001.1120404.x>
- Petersen, J., 1996. Fertilization of spring barley by combination of pig slurry and mineral nitrogen fertilizer. *Journal of Agricultural Science*, 127: 151–159.
<https://doi.org/10.1017/s0021859600077923>
- Pomares, F., Ramos, C., 2010. Abonado de los cultivos hortícolas, en: Guía práctica de la fertilización racional de los cultivos en España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Secretaría General Técnica, Centro de Publicaciones, Madrid. pp. 181-192.
- Quilty, J. R., Cattle, S. R., 2011. Use and understanding of organic amendments in Australian agriculture: a review. *Soil Research*, 49: 1–26.
<https://doi.org/10.1071/SR10059>
- Repellin, A., Thu, A. P. T., Tashakorie, A., Sahseh, Y., Daniel, C., Zuily-Fodil, Y., 1997. Leaf membrane lipids and drought tolerance in young coconut palms (*Cocos nucifera* L.). *European Journal of Agronomy*, 6: 25–33.
[https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(96\)02034-5](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(96)02034-5)
- Rigby, H., Dowding, A., Fernandes, A., Humphires, D., Jones, N. R., Lake, I., Petch, R. G., Reynolds, C. K., Rose, M., Smith, S.R., 2020. Concentrations of organic contaminants in industrial and municipal bioresources recycled in agriculture in the UK. *Science of the Total Environment*, 142787 (pre-proof).
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142787>
- Robertson, G.P., Vitousek, P.M., 2009. Nitrogen in agriculture: Balancing the cost of an essential resource. *Annual Reviews Further*, 34: 97-125.

- Ros, M., García, C., Hernández, M. T., 2007. Evaluation of different pig slurry composts as fertilizer of horticultural crops: Effects on selected chemical and microbial properties. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 22: 307–315.
<https://doi.org/10.1017/S1742170507001913>
- Sakamoto, M., Suzuki, T., 2015. Effect of root-zone temperature on growth and quality of hydroponically grown red leaf lettuce (*Lactuca sativa* L. cv. Red Wave). *American Journal of Plant Sciences*, 6: 2350–2360.
<https://doi.org/10.4236/ajps.2015.614238>
- Saña, J., Cohí, A., Moré, J.C., 1996. La gestión de la fertilidad de los suelos: fundamentos para la interpretación de los análisis de suelos y la recomendación de abonado. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Centro de Publicaciones. Madrid. pp. 277.
- Savci, S., 2012. An agricultural pollutant: chemical fertilizer. *International Journal of Environmental Science and Development*, 3: 73–80.
<https://doi.org/10.7763/ijesd.2012.v3.191>
- Schröder, J., 2005. Revisiting the agronomic benefits of manure: a correct assessment and exploitation of its fertilizer value spares the environment. *Bioresource Technology*, 96: 253–261.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.05.015>
- Seleiman, M. F., Santanen, A., Stoddard, F. L., Mäkelä, P., 2012. Feedstock quality and growth of bioenergy crops fertilized with sewage sludge. *Chemosphere*, 89: 1211–1217.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.07.031>
- Seleiman, M. F., Santanen, A., Jaakkola, S., Ekholm, P., Hartikainen, H., Stoddard, F. L., Mäkelä, P. S. A., 2013a. Biomass yield and quality of bioenergy crops grown with synthetic and organic fertilizers. *Biomass and Bioenergy*, 59: 477–485.
<https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.07.021>
- Seleiman, M. F., Santanen, A., Kleemola, J., Stoddard, F. L., Mäkelä, P. S. A., 2013b. Improved sustainability of feedstock production with sludge and interacting mycorrhiza. *Chemosphere*, 91: 1236–1242.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.02.004>
- Serrano, E. M., 2001. Aplicación agrónomica de purín de cerdo y de un polielectrolito: Efectos en el cultivo de ryegrass y en las aguas de drenaje. Universidad de Sevilla. XXXVIII Curso Internacional de edafología y biología vegetal. pp. 43.

- Shaheen, A. M., Rizk, F. A., Singer, S. M., 2007. Growing onion plants without chemical fertilization. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 3: 95–104.
<http://www.aensiweb.net/AENSIWEB/rjabs/rjabs/2007/95-104.pdf>
- Sherman, C. P., 1997. Infrared Spectroscopy. En: *Handbook of instrumental technologies for analytical chemistry*. Ed: Settle F. A. Prentice Hall. Upper Saddle River, pp. 247-283.
<https://doi.org/10.1021/ja975671k>
- Shober, A. L., Stehouwer, R. C., Macneal, K. E., 2003. On-farm assessment of biosolids effects on soil and crop tissue quality. *Journal of Environmental Quality*, 32: 1873–1880.
<https://doi.org/10.2134/jeq2003.1873>
- Sims, J.T., Pierzynski, G.M., 2000. Assessing the impacts of agricultural, municipal, and industrial by-products on soil quality. En: *Land Application of Agricultural, Industrial, and Municipal By-Products*. Ed: Power, J.F., Dick, W.A., Kashmanian, R.M., Sims, J.T., Wright, R.J., Dawson, M.D., Bezdicsek, D. Soil Science Society of America Inc., Madison, pp. 237-261.
<https://doi.org/10.2136/sssabookser6.c7>
- Snyman, H. G., Jong, J. M., Aveling, T. A. S., 1998. The stabilization of sewage sludge applied to agricultural land and the effects on maize seedlings. *Water Science and Technology*, 38: 87–95.
[https://doi.org/10.1016/S0273-1223\(98\)00477-6](https://doi.org/10.1016/S0273-1223(98)00477-6)
- Spielmeier, A., 2018. Occurrence and fate of antibiotics in manure during manure treatments: A short review. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 9: 76–86.
<https://doi.org/10.1016/j.scp.2018.06.004>
- Stamford, N. P., Felix, F., Oliveira, W., Silva, E., Carolina, S., Arnaud, T., Freitas, A. D., 2019. Interactive effectiveness of microbial fertilizer enriched in N on lettuce growth and on characteristics of an Ultisol of the rainforest region. *Scientia Horticulturae*, 247: 242–246.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.12.028>
- Steponkus, P. L., 1984. Role of the plasma membrane in freezing injury and cold acclimation. *Annual Review of Plant Physiology*, 35: 543–584
- Tadić, Đ., Bleda Hernandez, M. J., Cerqueira, F., Matamoros, V., Piña, B., Bayona, J. M., 2021. Occurrence and human health risk assessment of antibiotics and their metabolites in vegetables grown in field-scale agricultural systems. *Journal of Hazardous Materials*, 401: 123424 (pre-proof). <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123424>

- Thompson, L. M., Troeh, F. R., 1988. Los suelos y su fertilidad. (4ª edición-2002). Ed: Reverté, Barcelona. pp. 661.
- Thu, A. P. T., Borrel-Flood, C., Vieira, J. D. S., Justin, A. M., Mazlwct, P., 1985. Effects of wàter stress on lipid metabolism in cotton leaves. *Phytochemistry*, 24: 723-727.
- Thu, A. P. T., Vieira, J. D. S., Mazliak, P., 1990. The role of membrane lipids in drought resistance of plants. *Bulletin de la Societe Botanique de France. Actualités Botaniques*, 137: 99–114. <https://doi.org/10.1080/01811789.1990.10826991>
- Valdez-Ibañez, A. S., Bosch-Serra, À. D., Yagüe-Carrasco, M. R., 2019. Fertilización con purín de porcino: impacto sobre las lombrices de tierra en agricultura de secano. *Investigación Agraria*, 21: 1–10. <https://doi.org/10.18004/investig.agrar.2019.junio.1-10>
- Van-Camp, L., Bujarrabal, B., Gentile, A. R., Jones, R. J. A., Montanarella, L., Olazabal, C., Selvaradjou, S.-K., 2004. Reports of the technical working groups established under the thematic strategy for soil protection. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg. EUR 21319 EN/6. pp. 872.
- Vitousek, P. M., Aber, J. D., Howarth, R. W., Likens, G. E., Matson, P. A., Schindler, D. W., Schlesinger, W. H., Tilman, D. G., 1997. Human alteration of the global nitrogen cycle: Sources and consequences. *Ecological Applications*, 7: 737–750. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(1997\)007\[0737:HAOTGN\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(1997)007[0737:HAOTGN]2.0.CO;2)
- Walter, I., Martínez, F., Cala, V., 2006. Heavy metal speciation and phytotoxic effects of three representative sewage sludges for agricultural uses. *Environmental Pollution*, 139: 507–514. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.05.020>
- Westerman, P. W., Bicudo, J. R., 2005. Management considerations for organic waste use in agriculture. *Bioresource Technology*, 96: 215–221. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.05.011>
- Wu, J., Lightner, J., Warwick, N., Browse, J., 1997. Low-temperature damage and subsequent recovery of *fab1* mutant arabidopsis exposed to 2°C. *Plant Physiology*, 113: 347–356. <https://doi.org/10.1104/pp.113.2.347>
- Xue, G. P., McIntyre, C. L., Jenkins, C. L. D., Glassop, D., Herwaarden, A. F., Shorter, R., 2008. Molecular dissection of variation in carbohydrate metabolism related to water-soluble carbohydrate accumulation in stems of wheat. *Plant Physiology*, 146: 441–454. <https://doi.org/10.1104/pp.107.113076>

- Yang, R., Su, Y. Z., Wang, T., Yang, Q., 2016. Effect of chemical and organic fertilization on soil carbon and nitrogen accumulation in a newly cultivated farmland. *Journal of Integrative Agriculture*, 15: 658–666. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(15\)61107-8](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61107-8)
- You, R., Margenat, A., Lanzas, C. S., Cañameras, N., Carazo, N., Navarro-Martín, L., Matamoros, V., Bayona, J. M., Díez, S., 2020. Dose effect of Zn and Cu in sludge-amended soils on vegetable uptake of trace elements, antibiotics, and antibiotic resistance genes: Human health implications. *Environmental Research*, 191:109879 (pre-proof). <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109879>
- Yu, T. H., Lin, A. Y. C., Lateef, S. K., Lin, C. F., Yang, P. Y., 2009. Removal of antibiotics and non-steroidal anti-inflammatory drugs by extended sludge age biological process. *Chemosphere*, 77: 175–181. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.07.049>
- Zhang, X., Xu, M., Liu, J., Sun, N., Wang, B., Wu, L., 2016. Greenhouse gas emissions and stocks of soil carbon and nitrogen from a 20-year fertilised wheat-maize intercropping system: A model approach. *Journal of Environmental Management*, 167: 105–114. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.11.014>
- Zhao, Q., Wang, Y., Wang, S., Wang, Z., Du, X. D., Jiang, H., Xia, X., Shen, Z., Ding, S., Wu, C., Zhou, B., Wu, Y., & Shen, J., 2016. Prevalence and abundance of florfenicol and linezolid resistance genes in soils adjacent to swine feedlots. *Scientific Reports*, 6: 32192 (pre-proof). <https://doi.org/10.1038/srep32192>
- Referencias no editadas y publicadas/localizadas solo en web:
- ACA, 2019. La gestió dels biosòlids a Catalunya. Agència Catalana de l'Aigua. Generalitat de Catalunya. pp. 15 (consultado en fecha 19 de octubre de 2020). http://aca.gencat.cat/web/.content/10_ACA/J_Publicacions/07-estudis-informes/10_gestio_biosolids_a_catalunya.pdf
- ARC, 2020. Balanç de les estadístiques de residus municipals de l'any 2019. Generalitat de Catalunya. pp. 36 (consultado en fecha 30 de agosto de 2020). http://estadistiques.arc.cat/ARC/estadistiques/dades_2019.pdf

DARP, 2020. Efectius de bestiar porcí. Secretaria general. Gabinet Tècnic. Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca i Alimentació. Generalitat de Catalunya. pp. 3. (consultado en fecha 16 de octubre de 2020).

http://agricultura.gencat.cat/web/.content/de_departament/de02_estadistiques_observatoris/02_estructura_i_produccio/03_estadistiques_ramaderes/02_censos_bestiar_porci/fitxers_estatics/Porci_Catalunya_20200515_Resultats_Provisionals.pdf

DOCE, 1999. Directiva 1999/31/CE del Consejo de 26 de abril de 1999. Diario Oficial de las Comunidades Europeas. Bruselas: Comisión Europea, pp. 19. (consultado en fecha 14 de octubre de 2020)

DOUE, 2008. Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008 , sobre los residuos y por la que se derogan determinadas directivas. Diario Oficial de la Unión Europea. Bruselas: Parlamento Europeo, pp. 28. (consultado en fecha 14 d octubre de 2020).

MAPA, 2020. El sector de la carne de cerdo en cifras. Principales indicadores económicos 2019. Subdirección General de Producciones Ganaderas y Cínicas, Dirección General de Producciones y Mercados Agrarios. Ed: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. pp.77. (consultado en fecha 6 de octubre de 2020).

https://www.mapa.gob.es/es/ganaderia/estadisticas/indicadoreseconomicoscarnedecerdo2019_tcm30-379728.pdf

Ruralcat, 2020. Dades agrometeorològiques. Generalitat de Catalunya. (consultado en fecha 18 de abril de 2020).

https://ruralcat.gencat.cat/web/guest/agrometeo.estacions?p_auth=Zb4SbcvJ&p_p_id=AgrometeoEstacions_WAR_AgrometeoEstacions100SNAPSHOT&p_p_lifecycle=1&p_p_stat_e=normal&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=2&AgrometeoEstacions_WAR_AgrometeoEstacions100SNAPSHOT_action=goEstacion

Sabrià, S., 2018. Espanya, líder en porcs i purins. El Periódico, 5 de marzo de 2018 (consultado en fecha 6 de octubre de 2020).

<https://www.elperiodico.cat/ca/opinio/20180304/espanya-lider-en-porcs-i-en-purins-6663333>

ANEXOS

Sumario

ANEXO A. CÁLCULO DE LAS DOSIS DE LOS FERTILIZANTES MINERAL Y ORGÁNICOS _____	102
ANEXO B. CROQUIS DEL ENSAYO DE CAMPO _____	105
ANEXO C. RESULTADOS DE LA ANOVA DEL TRATAMIENTO ESTADÍSTICO _____	110

Índice de figuras

Figura B-1. Plano 1/4: Cotas de la parcela y las subparcelas.	106
Figura B-2. Plano 2/4: Distribución de los fertilizantes.	107
Figura B-3. Plano 3/4: Distribución de las plantas en la subparcela.	108
Figura B-4. Plano 4/4: Instalación del sistema de riego.	109

Índice de tablas

Tabla C- 1. Tabla ANOVA de un factor de la variable número total de hojas. _____	110
Tabla C- 2. Tabla ANOVA de un factor de la variable longitud de la hoja. _____	110
Tabla C- 3. Tabla Welch ANOVA de la variable peso fresco. _____	111
Tabla C- 4. Tabla Welch ANOVA de la variable peso seco. _____	111
Tabla C- 5. Tabla ANOVA de un factor de la variable contenido hídrico. _____	111
Tabla C- 6. Tabla ANOVA de un factor de la variable peso fresco para el efecto de la distribución de los tratamientos y repeticiones. _____	112
Tabla C- 7. Tabla ANOVA de un factor de la variable peso seco para el efecto de la distribución de los tratamientos y repeticiones. _____	112
Tabla C- 8. Tabla ANOVA de un factor de la variable contenido hídrico para el efecto de la distribución de los tratamientos y repeticiones. _____	112
Tabla C- 9. Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila <i>a</i> . _____	113
Tabla C- 10. Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila <i>b</i> . _____	113
Tabla C- 11. Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila total. _____	113
Tabla C- 12. Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila <i>a</i> para el tratamiento mineral según la posición de la hoja. _____	114
Tabla C- 13. Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila <i>a</i> para el tratamiento FO-RSU según la posición de la hoja. _____	114
Tabla C- 14. Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila <i>a</i> para el tratamiento purines de cerdo según la posición de la hoja. _____	114

- Tabla C- 15.** Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila *a* para el tratamiento fangos deshidratados según la posición de la hoja. _____ 115
- Tabla C- 16.** Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila *b* para el tratamiento mineral según la posición de la hoja. _____ 115
- Tabla C- 17.** Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila *b* para el tratamiento FO-RSU según la posición de la hoja. _____ 115
- Tabla C- 18.** Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila *b* para el tratamiento purines de cerdo según la posición de la hoja. _____ 116
- Tabla C- 19.** Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila *b* para el tratamiento fangos deshidratados según la posición de la hoja. _____ 116
- Tabla C- 20.** Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila total para el tratamiento mineral según la posición de la hoja. _____ 116
- Tabla C- 21.** Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila total para el tratamiento FO-RSU según la posición de la hoja. _____ 117
- Tabla C- 22.** Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila total para el tratamiento purines de cerdo según la posición de la hoja. _____ 117
- Tabla C- 23.** Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila total para el tratamiento fangos deshidratados según la posición de la hoja. _____ 117
- Tabla C- 24.** Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila *a* para la posición exterior entre tratamientos. _____ 118
- Tabla C- 25.** Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila *a* para la posición medio entre tratamientos. _____ 118
- Tabla C- 26.** Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila *a* para la posición interior entre tratamientos. _____ 118

Tabla C- 27. Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila <i>b</i> para la posición exterior entre tratamientos. _____	119
Tabla C- 28. Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila <i>b</i> para la posición medio entre tratamientos. _____	119
Tabla C- 29. Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila <i>b</i> para la posición interior entre tratamientos. _____	119
Tabla C- 30. Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila total para la posición exterior entre tratamientos. _____	120
Tabla C- 31. Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila total para la posición medio entre tratamientos. _____	120
Tabla C- 32. Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila total para la posición interior entre tratamientos. _____	120
Tabla C- 33. Tabla Welch ANOVA de la variable carbohidratos. _____	121
Tabla C- 34. Tabla ANOVA de un factor de la variable lípidos. _____	121

ANEXO A. Cálculo de las dosis de los fertilizantes mineral y orgánicos

Cultivo lechuga exterior

- **Tratamiento de lechugas (3 orgánicos + 1 mineral)**
 - Fertilización (1 mineral + 3 orgánicos (FO-RSU, Purines, Fangos))
 - Tratamientos totales = 4
 - Repeticiones totales = 4

- **Superficie de la parcela por tratamiento:**

120 cm x 500 cm = 60.000 cm² = 6 m² (para las parcelas fertilizadas con mineral, FO-RSU y Fango de depuradora)

120 cm x 250 cm = 30.000 cm² = 3 m² (para las parcelas fertilizadas con purín de cerdo)

- **Extracciones lechuga:**

- Extracciones de lechuga: N = 80-100 kg/ha; P₂O₅ = 30-50 kg/ha, K₂O = 160-210 kg/ha (Pomares y Ramos, 2010)

$$N = 100 \text{ kg} \frac{N}{\text{ha}} * \frac{1 \text{ ha}}{10.000 \text{ m}^2} * \frac{1000 \text{ g N}}{1 \text{ kg N}} = 10 \text{ g} \frac{N}{\text{m}^2}$$

$$P_2 O_5 = 40 \text{ kg} \frac{P_2 O_5}{\text{ha}} * \frac{1 \text{ ha}}{10.000 \text{ m}^2} * \frac{1000 \text{ g } P_2 O_5}{1 \text{ kg } P_2 O_5} = 4 \text{ g} \frac{P_2 O_5}{\text{m}^2}$$

$$K_2 O = 185 \text{ kg} \frac{K_2 O}{\text{ha}} * \frac{1 \text{ ha}}{10.000 \text{ m}^2} * \frac{1000 \text{ g } K_2 O}{1 \text{ kg } K_2 O} = 18,5 \text{ g} \frac{K_2 O}{\text{m}^2}$$

- **Necesidades de abono según el tratamiento**

- Necesidad fertilizante mineral

$$\text{Nitrato amónico} = 10 \text{ g} \frac{\text{N}}{\text{m}^2} * 6 \text{ m}^2 * \frac{100 \text{ g Abono}}{34 \text{ g N}} * \frac{1}{0,5 \text{ Eficiencia}} = 353 \text{ g} \frac{\text{Abono nitrogenado}}{\text{parcela}} *$$

* El nitrógeno se dará en forma de nitrato amónico (34 %) repartido en dos momentos (fondo y cobertera).

$$\text{Superfosfato} = 4 \text{ g} \frac{\text{P}_2\text{O}_5}{\text{m}^2} * 6 \text{ m}^2 * \frac{100 \text{ g Abono}}{43,6 \text{ g P}_2\text{O}_5} = 55 \text{ g} \frac{\text{Superfosfato}}{\text{Parcela}}$$

$$\text{Sulfato potásico} = 18,5 \text{ g} \frac{\text{K}_2\text{O}}{\text{m}^2} * 6 \text{ m}^2 * \frac{100 \text{ g Abono}}{54 \text{ g K}_2\text{O}} = 206 \text{ g} \frac{\text{Sulfato potásico}}{\text{Parcela}}$$

- Necesidad Fracción orgánica-RSU (Torrelles)

Características FO-RSU:

- Materia Orgánica 50 % s.m.s
- Materia seca = 80 % s.m.s (de la muestra empleada)
- N = 1,74 % s.m.s
- N amoniacal = 0,29 % s.m.s
- P₂O₅ = 2,5 % s.m.s
- K₂O = 5,8 % s.m.s

$$N = 10 \text{ g} \frac{\text{N}}{\text{m}^2} * 6 \text{ m}^2 * \frac{100 \text{ g FO - RSU seco}}{0,29 \text{ g N}} = 21.000 \text{ g} \frac{\text{FO - RSU seco}}{\text{Parcela}}$$

$$21 \text{ kg} \frac{\text{FO - RSU seco}}{\text{Parcela}} * \frac{100 \text{ g FO - RSU fresco}}{80 \text{ g FO - RSU seco}} = 26 \text{ kg} \frac{\text{FO - RSU fresco}}{\text{Parcela}}$$

APORTACIÓN TOTAL DE FO-RSU = 26 kg X 4 Repeticiones = 104 kg de FO-RSU

○ Necesidades purines

Superficie de las parcelas de purines = 1,2 m x 2,5 m = 3 m²

Características purines: Consideramos purines de lechones (6 – 20 kg).

- N = 3,4 kg N/m³
- P₂O₅ = 2,6 kg P₂O₅/m³
- K₂O = 1,7 kg K₂O/m³

De acuerdo con la tabla orientativa del contenido de nutrientes de la oficina de fertilización y tratamiento de deyecciones ganaderas:

- N total engorde = 3,42 kg/m³; N amoniacal (estimado) = 2,38 kg/m³

$$\text{Purín} = 10 \text{ g} \frac{\text{N}}{\text{m}^2} * 3 \text{ m}^2 * \frac{1 \text{ L Purín}}{2,38 \text{ g N}} = 12 \text{ L} \frac{\text{Purín fresco}}{\text{Parcela}}$$

APORTACIÓN TOTAL DE PURINES = 12 L X 4 Repeticiones = 48 L de Purín de cerdo

○ Necesidades fangos de depuradora (EDAR El Prat)

Características promedio del fango procedente de 5 analíticas:

- Materia Seca = 20 % s.m.s
- N total = 5,4 % s.m.s
- N amoniacal = 1,74 % s.m.s
- P₂O₅ = 5,5 % s.m.s
- K₂O = 0,4 % s.m.s

Fango en base a N total

$$= 10 \text{ g} \frac{\text{N}}{\text{m}^2} * 6 \text{ m}^2 * \frac{100 \text{ g fango seco}}{1,74 \text{ g N}}$$

$$* \frac{100 \text{ g fango fresco}}{20 \text{ g fango seco}} = 17.241 \frac{\text{g de fango fresco}}{\text{Parcela}}$$

APORTACIÓN TOTAL DE FANGO DE DEPURADORA = 18 kg X 4 Repeticiones = 72 kg de fango de depuradora

ANEXO B. Croquis del ensayo de campo

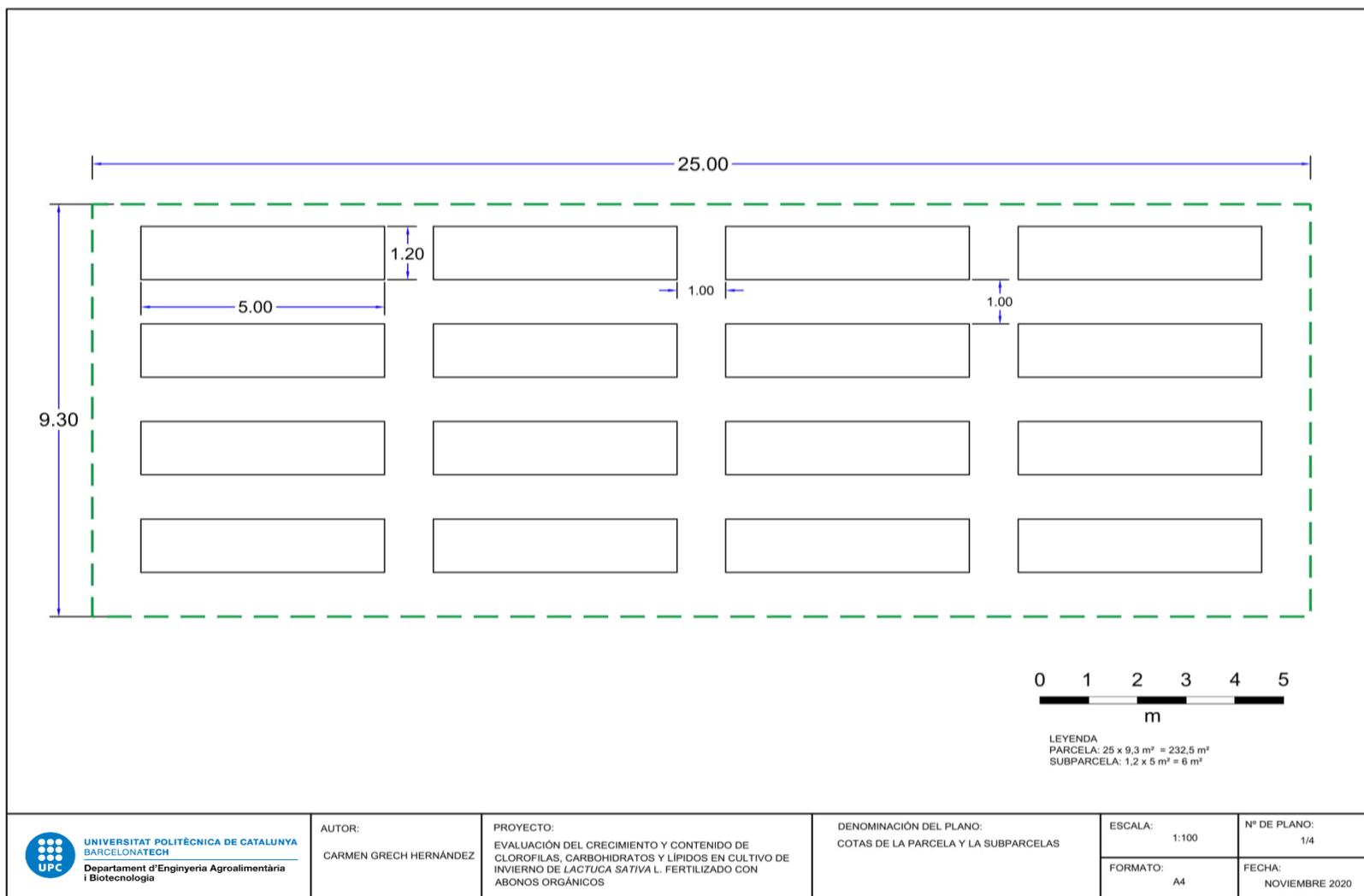


Figura B-1. Plano 1/4: Cotas de la parcela y las subparcelas. Fuente: Elaboración propia.

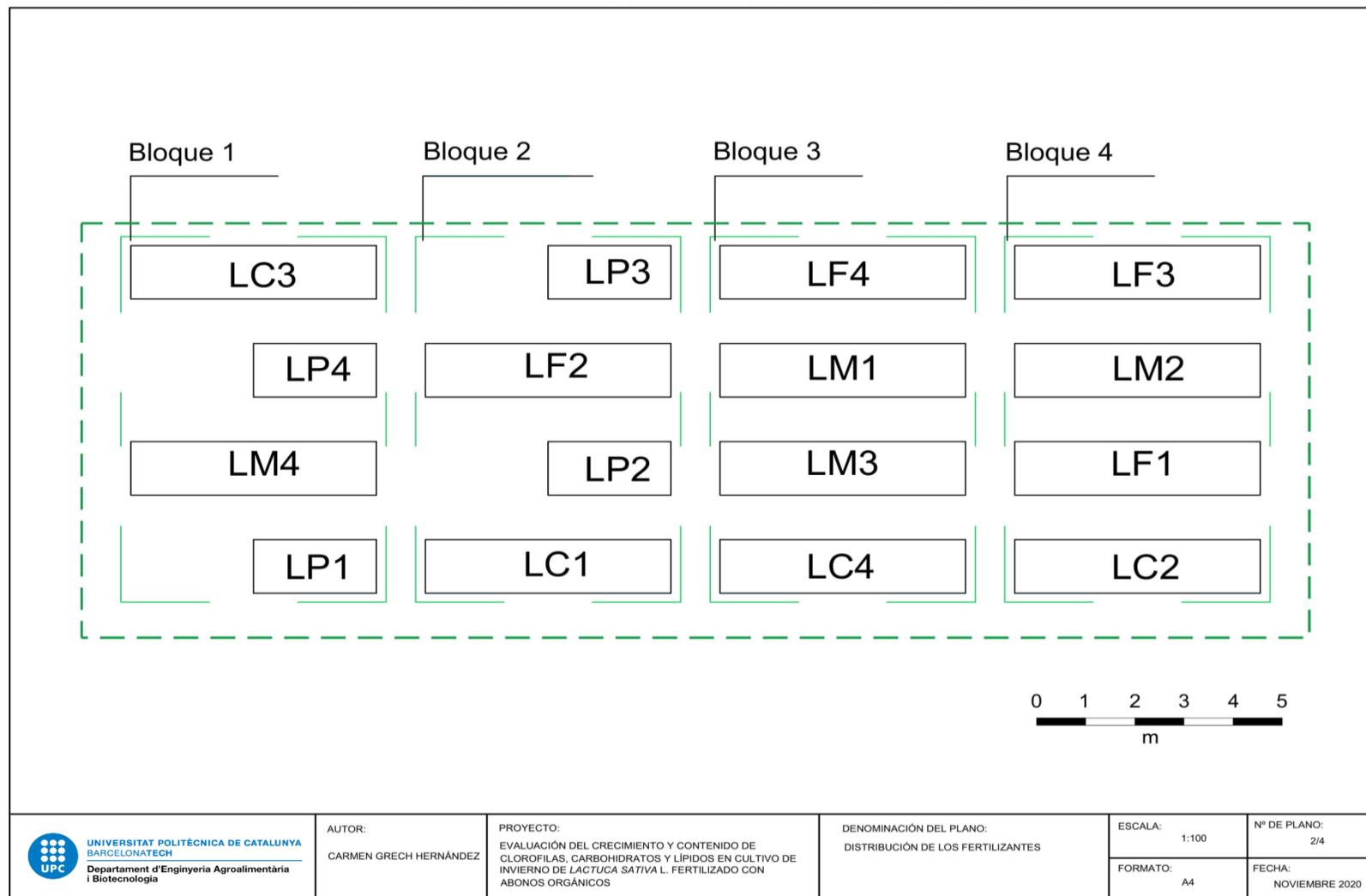


Figura B-2. Plano 2/4: Distribución de los fertilizantes. Fuente: Elaboración propia.

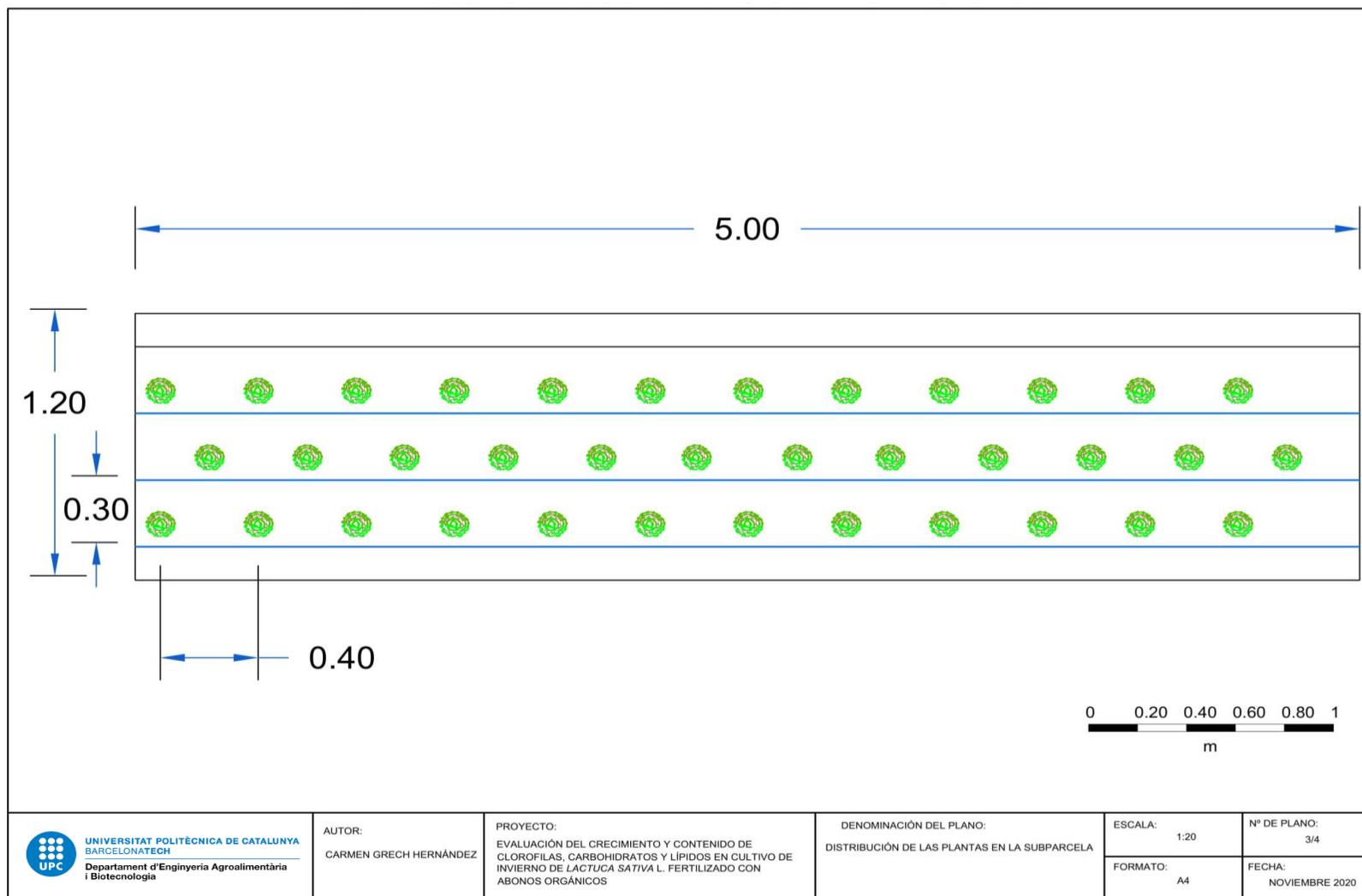


Figura B-3. Plano 3/4: Distribución de las plantas en la subparcela. Fuente: Elaboración propia.

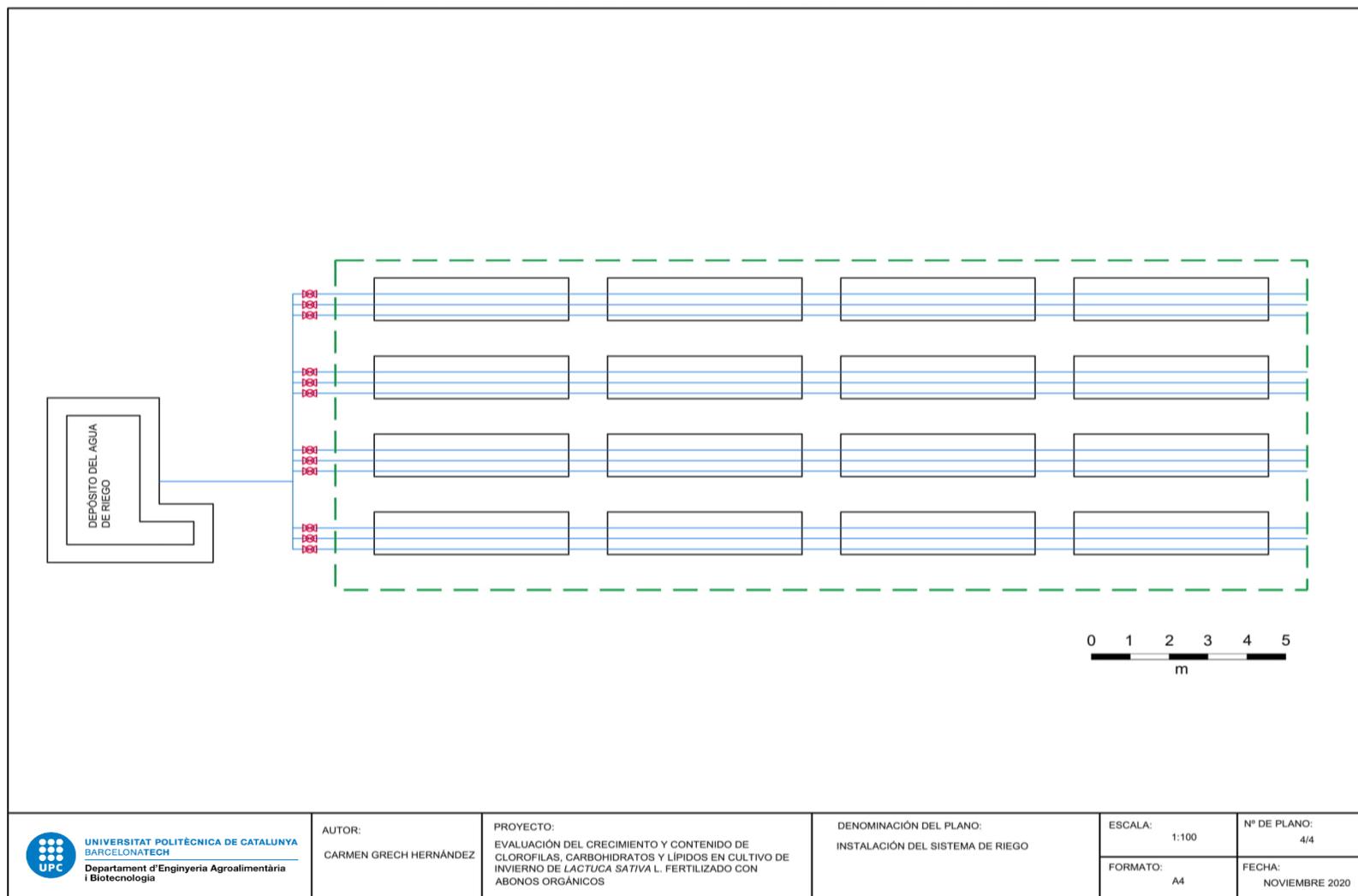


Figura B-4. Plano 4/4: Instalación del sistema de riego. Fuente: Elaboración propia.

ANEXO C. Resultados de la ANOVA del tratamiento estadístico

- Número total de hojas

Tabla C- 1. Tabla ANOVA de un factor de la variable número total de hojas.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	29,65	9,33%	29,65	9,883	2,61	0,058
Error	76	288,30	90,67%	288,30	3,793		
Total	79	317,95	100,00%				

- Longitud de la hoja

Tabla C- 2. Tabla ANOVA de un factor de la variable longitud de la hoja.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	23,27	6,73%	23,27	7,758	1,83	0,149
Error	76	322,68	93,27%	322,68	4,246		
Total	79	345,96	100,00%				

- Biomasa
 - Peso fresco

Tabla C- 3. Tabla Welch ANOVA de la variable peso fresco.

Fuente	GL Num	GL Den	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	40,4795	5,00	0,005

- Peso seco

Tabla C- 4. Tabla Welch ANOVA de la variable peso seco.

Fuente	GL Num	GL Den	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	40,0289	10,52	0,000

- Contenido hídrico

Tabla C- 5. Tabla ANOVA de un factor de la variable contenido hídrico.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Bloque	3	18,73	26,80 %	18,73	6,2425	9,15	0,000
Error	75	51,15	73,20 %	51,15	0,6820		
Total	78	69,88	100,00%				

- Efecto de la distribución de los tratamientos y repeticiones
 - Peso fresco

Tabla C- 6. Tabla ANOVA de un factor de la variable peso fresco para el efecto de la distribución de los tratamientos y repeticiones.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Bloque	3	243314	66,30%	243314	81105	10,49	0,000
Error	16	123664	33,70%	123664	7729		
Total	19	366978	100,00%				

- Peso seco

Tabla C- 7. Tabla ANOVA de un factor de la variable peso seco para el efecto de la distribución de los tratamientos y repeticiones.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Bloque	3	303,8	26,58%	303,8	101,26	1,93	0,165
Error	16	839,0	73,42%	839,0	52,44		
Total	19	1142,8	100,00%				

- Contenido hídrico

Tabla C- 8. Tabla ANOVA de un factor de la variable contenido hídrico para el efecto de la distribución de los tratamientos y repeticiones.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Bloque	3	18,71	34,85%	18,71	6,236	2,85	0,070
Error	16	34,97	65,15%	34,97	2,186		
Total	19	53,68	100,00%				

- Determinación del contenido total en clorofila según el tratamiento
 - Clorofila *a*

Tabla C- 9. Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila *a*.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F
Tratamiento	3	0,000035	11,42%	0,000035	0,000012	3,27
Error	76	0,000268	88,58%	0,000268	0,000004	
Total	79	0,000302	100,00%			

- Clorofila *b*

Tabla C- 10. Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila *b*.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	0,000003	11,42%	0,000003	0,000001	3,27	0,026
Error	76	0,000022	88,58%	0,000022	0,000000		
Total	79	0,000025	100,00%				

- Clorofila Total

Tabla C- 11. Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila total.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F
Tratamiento	3	0,000057	11,42%	0,000057	0,000019	3,27
Error	76	0,000445	88,58%	0,000445	0,000006	
Total	79	0,000502	100,00%			

- Determinación del contenido total en clorofila según la posición de la hoja
 - Clorofila *a*
 - Mineral

Tabla C- 12. Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila *a* para el tratamiento mineral según la posición de la hoja.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Posición	2	0,002891	83,36%	0,002891	0,001446	142,80	0,000
Error	57	0,000577	16,64%	0,000577	0,000010		
Total	59	0,003468	100,00%				

- FO – RSU

Tabla C- 13. Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila *a* para el tratamiento FO-RSU según la posición de la hoja.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Posición	2	0,002874	89,02%	0,002874	0,001437	231,11	0,000
Error	57	0,000354	10,98%	0,000354	0,000006		
Total	59	0,003229	100,00%				

- Purines de cerdo

Tabla C- 14. Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila *a* para el tratamiento purines de cerdo según la posición de la hoja.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Posición	2	0,002877	85,08%	0,002877	0,001438	162,52	0,000
Error	57	0,000504	14,92%	0,000504	0,000009		
Total	59	0,003381	100,00%				

- Fangos deshidratados

Tabla C- 15. Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila *a* para el tratamiento fangos deshidratados según la posición de la hoja.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.
Posición	2	0,002825	81,83%	0,002825	0,001413
Error	57	0,000628	18,17%	0,000628	0,000011
Total	59	0,003453	100,00%		

- o Clorofila *b*

- Mineral

Tabla C- 16. Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila *b* para el tratamiento mineral según la posición de la hoja.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Posición	2	0,000241	83,36%	0,000241	0,000121	142,80	0,000
Error	57	0,000048	16,64%	0,000048	0,000001		
Total	59	0,000289	100,00%				

- FO – RSU

Tabla C- 17. Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila *b* para el tratamiento FO-RSU según la posición de la hoja.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Posición	2	0,000240	89,02%	0,000240	0,000120	231,11	0,000
Error	57	0,000030	10,98%	0,000030	0,000001		
Total	59	0,000269	100,00%				

- Purines de cerdo

Tabla C- 18. Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila b para el tratamiento purines de cerdo según la posición de la hoja.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Posición	2	0,000240	85,08%	0,000240	0,000120	162,52	0,000
Error	57	0,000042	14,92%	0,000042	0,000001		
Total	59	0,000282	100,00%				

- Fangos deshidratados

Tabla C- 19. Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila b para el tratamiento fangos deshidratados según la posición de la hoja.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Posición	2	0,000236	81,83%	0,000236	0,000118	128,32	0,000
Error	57	0,000052	18,17%	0,000052	0,000001		
Total	59	0,000288	100,00%				

- o Clorofila total

- Mineral

Tabla C- 20. Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila total para el tratamiento mineral según la posición de la hoja.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Posición	2	0,004803	83,36%	0,004803	0,002402	142,80	0,000
Error	57	0,000959	16,64%	0,000959	0,000017		
Total	59	0,005762	100,00%				

- FO – RSU

Tabla C- 21. Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila total para el tratamiento FO-RSU según la posición de la hoja.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Posición	2	0,004775	89,02%	0,004775	0,002387	231,11	0,000
Error	57	0,000589	10,98%	0,000589	0,000010		
Total	59	0,005364	100,00%				

- Purines de cerdo

Tabla C- 22. Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila total para el tratamiento purines de cerdo según la posición de la hoja.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Posición	2	0,004779	85,08%	0,004779	0,002389	162,52	0,000
Error	57	0,000838	14,92%	0,000838	0,000015		
Total	59	0,005617	100,00%				

- Fangos deshidratados

Tabla C- 23. Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila total para el tratamiento fangos deshidratados según la posición de la hoja.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Posición	2	0,004694	81,83%	0,004694	0,002347	128,32	0,000
Error	57	0,001042	18,17%	0,001042	0,000018		
Total	59	0,005736	100,00%				

- Determinación del contenido total en clorofila según la posición de la hoja entre tratamientos
 - Clorofila a
 - Exterior

Tabla C- 24. Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila a para la posición exterior entre tratamientos.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	0,000041	11,84%	0,000041	0,000014	3,40	0,022
Error	76	0,000307	88,16%	0,000307	0,000004		
Total	79	0,000348	100,00%				

- Medio

Tabla C- 25. Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila a para la posición medio entre tratamientos.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	0,000164	12,17%	0,000164	0,000055	3,51	0,019
Error	76	0,001181	87,83%	0,001181	0,000016		
Total	79	0,001345	100,00%				

- Interior

Tabla C- 26. Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila a para la posición interior entre tratamientos.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	0,000024	3,92%	0,000024	0,000008	1,03	0,382
Error	76	0,000576	96,08%	0,000576	0,000008		
Total	79	0,000599	100,00%				

- Clorofila b
 - Exterior

Tabla C- 27. Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila *b* para la posición exterior entre tratamientos.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	0,000003	11,84%	0,000003	0,000001	3,40	0,022
Error	76	0,000026	88,16%	0,000026	0,000000		
Total	79	0,000029	100,00%				

- Medio

Tabla C- 28. Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila *b* para la posición medio entre tratamientos.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	0,000014	12,17%	0,000014	0,000005	3,51	0,019
Error	76	0,000099	87,83%	0,000099	0,000001		
Total	79	0,000112	100,00%				

- Interior

Tabla C- 29. Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila *b* para la posición interior entre tratamientos.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	0,000002	3,92%	0,000002	0,000001	1,03	0,382
Error	76	0,000048	96,08%	0,000048	0,000001		
Total	79	0,000050	100,00%				

- Clorofila total
 - Exterior

Tabla C- 30. Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila total para la posición exterior entre tratamientos.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	0,000068	11,84%	0,000068	0,000023	3,40	0,022
Error	76	0,000510	88,16%	0,000510	0,000007		
Total	79	0,000578	100,00%				

- Medio

Tabla C- 31. Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila total para la posición medio entre tratamientos.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	0,000272	12,17%	0,000272	0,000091	3,51	0,019
Error	76	0,001962	87,83%	0,001962	0,000026		
Total	79	0,002234	100,00%				

- Interior

Tabla C- 32. Tabla ANOVA de un factor de la variable clorofila total para la posición interior entre tratamientos.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	0,000039	3,92%	0,000039	0,000013	1,03	0,382
Error	76	0,000956	96,08%	0,000956	0,000013		
Total	79	0,000995	100,00%				

- Contenido de carbohidratos y lípidos
 - Carbohidratos

Tabla C- 33. Tabla Welch ANOVA de la variable carbohidratos.

Fuente	GL Num	GL Den	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	12,2355	5,94	0,010

- Lípidos

Tabla C- 34. Tabla ANOVA de un factor de la variable lípidos.

Fuente	GL	SC Sec.	Contribución	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Tratamiento	3	0,06008	50,29%	0,06008	0,020028	9,44	0,000
Error	28	0,05939	49,71%	0,05939	0,002121		
Total	31	0,11948	100,00%				