

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

Grado en Ciencias Ambientales



**UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA**



**ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR DE GANDIA**

“Efecto de una cubierta de paja de arroz sobre la respiración basal del suelo”

TRABAJO FINAL DE GRADO

Autor/a:

Jose Manuel Monzó Pérez

Tutor/a:

Cristina Lull Noguera

GANDIA, 2020

Resumen

La paja de arroz es un recurso al que se le puede dar múltiples usos. Una de las alternativas de gestión es la aplicación sobre la superficie de los cultivos en forma de mantillo, pudiendo conseguir numerosos beneficios como la mejora de las propiedades fisicoquímicas de los suelos, el control de hierbas adventicias y el ahorro de agua.

Estos residuos orgánicos pueden afectar el ecosistema del suelo, por lo tanto, el estudio de su impacto es importante para evitar efectos ambientales adversos. En este proyecto se ha estudiado el efecto del mantillo de paja de arroz en la respiración del suelo, mediante incubaciones en laboratorio de paja de arroz con suelos procedentes de parcelas destinadas a la producción de cítricos y caqui bajo sistemas de producción ecológico y convencional, bajo diferentes condiciones de humedad, temperatura y aporte de N, midiendo la liberación de CO₂ como indicador de la actividad de los microorganismos y de la mineralización del residuo orgánico.

Los resultados obtenidos demuestran que la adición de paja de arroz implica un incremento de la respiración del suelo y una mayor producción de nitrógeno mineral. A su vez, el incremento de la temperatura y la humedad provoca una mayor mineralización del residuo orgánico.

Palabras clave: Paja de arroz, mantillo, mineralización, carbono, nitrógeno.

Abstract

Rice straw is a resource with multiple uses. One of the management alternatives is the application on the surface of the crops in the form of mulch, being able to achieve numerous benefits such as the improvement of the physicochemical properties of the soils, the control of adventitious grasses and water saving.

These organic residues can affect the soil ecosystem, therefore, the study of their impact is important to avoid adverse environmental effects. In this project, the effect of rice straw mulch on soil respiration has been studied, through laboratory incubations of rice straw with soils from plots with production of citrus and persimmon under organic and conventional production systems, under different conditions of humidity, temperature and N input, measuring the release of CO₂ as an indicator of the activity of microorganisms and the mineralization of the organic residue.

The results obtained show that the addition of rice straw implies an increase in soil respiration and a greater production of mineral nitrogen. In turn, the increase in temperature and humidity causes a greater mineralization of the organic residue.

Keywords: Rice straw, mulch, mineralization, carbon, nitrogen.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. El cultivo del arroz	1
1.2. Producción mundial de arroz	1
1.3. Producción de arroz en España.....	2
1.4. Problemática de la paja de arroz	4
1.5. Alternativas de gestión de la paja de arroz	4
1.5.1. El Acolchado o “Mulching”	5
1.6. El suelo y sus propiedades.....	5
1.7. La respiración del suelo.....	7
1.8. Cinética de mineralización del carbono del suelo	8
1.9. El efecto del acolchado sobre el suelo.....	8
2. OBJETIVOS.....	9
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
3.1. Área de estudio y muestreo del suelo.....	9
3.2. Experimentos de incubación.....	10
3.3. Paja de arroz, estiércol.....	11
3.4. Análisis de los suelos	12
3.4.1. Humedad del suelo. Factor de humedad.....	12
3.4.2. Textura	12
3.4.3. Densidad Aparente y porosidad	13
3.4.4. pH y conductividad eléctrica.....	13
3.4.5. Carbonatos totales.....	14
3.4.6. Materia orgánica	15
3.4.7. Carbono orgánico soluble	16
3.4.8. Nitrógeno mineral.....	17
3.4.9. Respiración microbiana.....	17
3.5. Análisis estadístico	18
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	18
4.1. Características de los residuos orgánicos	18
4.2. Caracterización física y química del suelo	19
4.3. Carbono lábil del suelo	20
4.4. Nitrógeno mineral en el suelo	20
4.5. Respiración microbiana en las incubaciones de laboratorio.....	21
4.5.1. Respiración microbiana de los residuos orgánicos utilizados	21
4.5.2. Respiración microbiana en los tratamientos realizados.....	23
4.5.3. Efecto de la temperatura y la humedad en la respiración microbiana.....	26

4.6. Cantidad de carbono mineralizado en las incubaciones.	31
4.6.1. Cantidad de carbono mineralizado en las incubaciones de residuo orgánico.	31
4.6.2. Cantidad de carbono mineralizado en los tratamientos realizados.....	32
4.6.3. Cantidad de carbono mineralizado en los tratamientos a diferente temperatura y humedad.....	32
4.7. Modelización de la cinética de mineralización del C.....	33
4.7.1. Cinética de mineralización del C en los residuos orgánicos utilizados.....	34
4.7.2. Cinética de mineralización del C en los tratamientos realizados.....	34
4.8. Contenido de nitrógeno mineral en las incubaciones.....	36
4.8.1. Contenido de nitrógeno mineral en los tratamientos realizados.....	36
4.8.2. Contenido de nitrógeno mineral en los tratamientos a diferente temperatura.....	38
5. CONCLUSIONES.....	39
6. BIBLIOGRAFIA.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Producción mundial de arroz y superficie cultivada. Fuente: FAOSTAT 2018.	1
Figura 2. Producción mundial de arroz. Fuente: FAOSTAT 2018.....	2
Figura 3. Producción nacional de arroz y superficie cultivada. Fuente: Mapa; FAOSTAT 2018.	2
Figura 4. Producción nacional de arroz por Comunidades Autónomas. Fuente: Statista 2020.	3
Figura 5. Superficie cultivada de arroz por Comunidades Autónomas. Fuente: FAOSTAT 2017.	3
Figura 6. Matraces de incubación con diferentes tratamientos.....	10
Figura 7. Respiración acumulada para los ensayos de incubación de los estiércoles utilizados en las diferentes parcelas, expresado como g C-CO ₂ g ⁻¹ estiércol.	22
Figura 8. Respiración acumulada para los ensayos de incubación de la paja de arroz utilizada, expresado como g C-CO ₂ g ⁻¹ paja.....	22
Figura 9. Respiración acumulada para los ensayos de incubación de suelo de las diferentes parcelas estudiadas, expresado como mg C-CO ₂ kg ⁻¹ suelo.	23
Figura 10. Respiración acumulada procedente de la paja de arroz triturada, expresado como mg C-CO ₂ kg ⁻¹ suelo.	24
Figura 11. Respiración acumulada procedente de la paja de arroz triturada en el tratamiento en el que se incorporó Nitrógeno, expresado como mg C-CO ₂ kg ⁻¹ suelo.	24
Figura 12. Respiración acumulada procedente de la paja de arroz sin triturar, expresado como mg C-CO ₂ kg ⁻¹ suelo.	25
Figura 13. Respiración acumulada procedente de la paja de arroz no triturada y los estiércoles utilizados, expresado como mg C-CO ₂ kg ⁻¹ suelo.....	25

Figura 14. Respiración acumulada procedente de la paja de arroz en el tratamiento de paja no triturada + estiércol, expresado como mg C-CO ₂ kg ⁻¹ suelo.....	26
Figura 15. Respiración acumulada para los ensayos de incubación de estiércol procedente de la parcela caqui convencional a diferente temperatura, expresado como g C-CO ₂ g ⁻¹ estiércol.	27
Figura 16. Respiración acumulada para los ensayos de incubación de la paja de arroz bajo diferentes condiciones de temperatura y humedad, expresado como g C-CO ₂ g ⁻¹ paja.....	27
Figura 17. Respiración acumulada en los ensayos de incubación de suelo a diferente temperatura, expresado como mg C-CO ₂ kg ⁻¹ suelo.....	28
Figura 18. Respiración neta acumulada procedente del estiércol en los ensayos de incubación de suelo junto con estiércol a diferente temperatura, expresado como mg C-CO ₂ kg ⁻¹ suelo.	29
Figura 19. Respiración neta acumulada procedente de la paja de arroz triturada y el estiércol en las incubaciones a diferente temperatura, expresado como mg C-CO ₂ kg ⁻¹ suelo.....	29
Figura 20. Respiración acumulada procedente de la paja de arroz no triturada y el estiércol en las incubaciones a diferente temperatura, expresado como mg C-CO ₂ kg ⁻¹ suelo.....	30
Figura 21. Respiración acumulada procedente de la paja de arroz triturada en el tratamiento de paja triturada + estiércol, expresado como mg C-CO ₂ kg ⁻¹ suelo.....	30
Figura 22. Respiración acumulada procedente de la paja de arroz no triturada en el tratamiento de paja no triturada + estiércol, expresado como mg C-CO ₂ kg ⁻¹ suelo.	31
Figura 23. Cantidad inicial y final de nitrógeno amoniacal en el suelo en los tratamientos realizados.....	36
Figura 24. Cantidad inicial y final de nitrógeno nítrico en el suelo en los tratamientos realizados.	37
Figura 25. Cantidad inicial y final de nitrógeno nítrico en el suelo para el tratamiento de paja triturada + N.	37
Figura 26. Cantidad inicial y final de nitrógeno amoniacal en el suelo en las incubaciones a diferente temperatura.	38
Figura 27. Cantidad inicial y final de nitrógeno nítrico en el suelo en las incubaciones a diferente temperatura.....	39

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sistemas de cultivo en las parcelas de estudio y localización geográfica.....	10
Tabla 2. Tratamientos realizados en las muestras incubadas.	11
Tabla 3. Caracterización de la paja de arroz. Fuente: (Huang y col., 2011).	18
Tabla 4. Resultados en la determinación de carbono orgánico total de los estiércoles utilizados.....	19
Tabla 5. Características físicas y químicas de los suelos estudiados.....	19
Tabla 6. Carbono orgánico soluble (mg C kg ⁻¹) contenido en cada una de las parcelas objeto de estudio.	20

Tabla 7. Resultados en la determinación de nitrógeno mineral contenido en los suelos.	21
Tabla 8. Cantidad de carbono mineralizado y porcentaje de C mineralizado respecto al total aportado a los 133 días de incubación.	32
Tabla 9. Cantidad de carbono mineralizado procedente de la paja de arroz en los tratamientos realizados y porcentaje de C mineralizado respecto al total aportado a los 190 días de incubación.	32
Tabla 10. Cantidad de carbono mineralizado en las incubaciones de paja de arroz a diferente temperatura y humedad y porcentaje de C mineralizado respecto al total aportado a los 99 días de incubación.....	33
Tabla 11. Cantidad de carbono mineralizado procedente de la paja de arroz en los tratamientos a diferente temperatura y porcentaje mineralizado respecto al total aportado a los 99 días de incubación.....	33
Tabla 12. Cinética de mineralización del carbono de las materias orgánicas utilizadas.	34
Tabla 13. Cinética de mineralización del carbono en los tratamientos realizados.	35

ÍNDICE DE ECUACIONES.

Ecuación 1. Modelo cinético de primer orden para la mineralización del carbono.	8
Ecuación 2. Humedad del suelo (%).	12
Ecuación 3. Factor de humedad.	12
Ecuación 4. Determinación de la textura por el método de Bouyoucos.	12
Ecuación 5. Densidad aparente del suelo (g/cm^3).	13
Ecuación 6. Porosidad del suelo (%).	13
Ecuación 7. Contenido de CaCO_3 (%).	15
Ecuación 8. Contenido de materia orgánica (%).	16
Ecuación 9. Respiración microbiana en las incubaciones ($\text{mg C kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$).	18

1. INTRODUCCIÓN

1.1. El cultivo del arroz

El arroz (*Oriza sativa*) es un cereal de gran importancia para la nutrición humana. Su origen se localiza en las regiones húmedas del este y del sur de Asia, ya que en esta región abundan los arrozales silvestres (FAO, 2004).

Se trata de una planta herbácea perteneciente a la familia de las gramíneas, de la que se aprovecha su grano para el consumo humano o animal. Actualmente se cultivan miles de variedades en todo el mundo, seleccionadas en función de las características, los medios de cultivo y las preferencias de cada región (FAO, 2004).

1.2. Producción mundial de arroz

El cultivo del arroz presenta una gran relevancia a nivel global, ya que es el principal alimento para gran parte de la población de nuestro planeta (FAO, 2004).

En el año 2010 la superficie total cultivada en todo el mundo fue de aproximadamente 1600 millones de ha, de las cuales algo menos de un 10 % se dedicaron al cultivo de las diferentes variedades de arroz. Durante la última década la producción total, así como la superficie cultivada ha ido creciendo de manera notable, incluso superando las previsiones estimadas para el año 2018. En la Figura 1 se observa la evolución en los últimos años tanto de la producción como de la superficie cultivada.

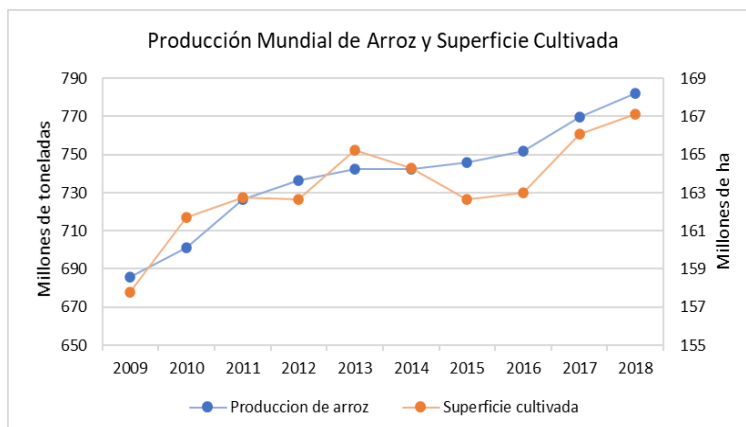


Figura 1. Producción mundial de arroz y superficie cultivada. Fuente: FAOSTAT 2018

Las últimas cifras proporcionadas por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) muestran que durante el año 2018 la superficie total destinada a la producción de esta gramínea fue de más de 167 millones de ha. Además, este alimento ocupa el segundo puesto mundial en cuanto a producción total de cereal, únicamente por detrás del maíz, alcanzando durante el curso 2018 una producción de 782 millones de toneladas, lo que corresponde a más de un 26 % de la cantidad de cereal producida.

Por todo ello podemos decir que, debido a la dependencia de la población de este alimento, así como a la gran producción y amplia extensión de superficie en la que se lleva a cabo dicho cultivo, se puede considerar como el principal alimento a nivel mundial (FAO, 2004).

En relación a la distribución de la producción de arroz, la Figura 2 muestra la aportación correspondiente a cada continente, así como el porcentaje respecto al total producido según los datos proporcionados por la FAO para el año 2018.

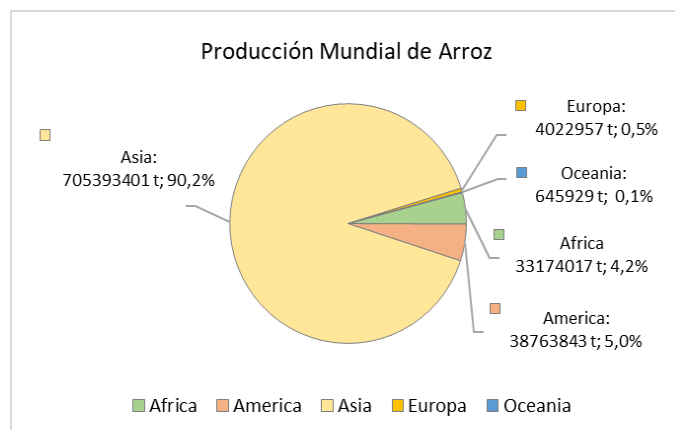


Figura 2. Producción mundial de arroz. Fuente: FAOSTAT 2018.

Los principales productores son los países asiáticos, los cuales cosechan más del 90 % del total del arroz producido en el mundo, siendo China, India e Indonesia los que generan mayor cantidad de este alimento. Le siguen los países de América y África, con una producción de un 5 % y un 4 % respectivamente. La producción en Europa supone únicamente el 0,5 %, colocándose España como el segundo máximo productor con aproximadamente el 30 %, solamente por detrás de Italia el cual genera entorno al 50 % de la producción total de nuestro continente. Finalmente vemos como Oceanía es el menor productor, con solo un 0,1 % respecto a la cantidad total.

1.3. Producción de arroz en España

Durante los últimos años la producción de arroz en España ha ido disminuyendo progresivamente, al igual que la superficie cultivada. Durante el año 2018 se produjo un total de 808100 toneladas, lo que supone una reducción en la producción de casi un 13 % con respecto a los datos registrados durante la temporada 2010/2011, en la que se registró el máximo de producción de la última década. En cuanto a la superficie cultivada, también se observa una reducción de algo más del 14 % durante dicho periodo, registrando durante el curso 2018 un total de 105000 ha (FAOSTAT, 2018).

La Figura 3 muestra la evolución tanto de la producción como de la superficie cultivada en España durante el periodo 2008 - 2018.

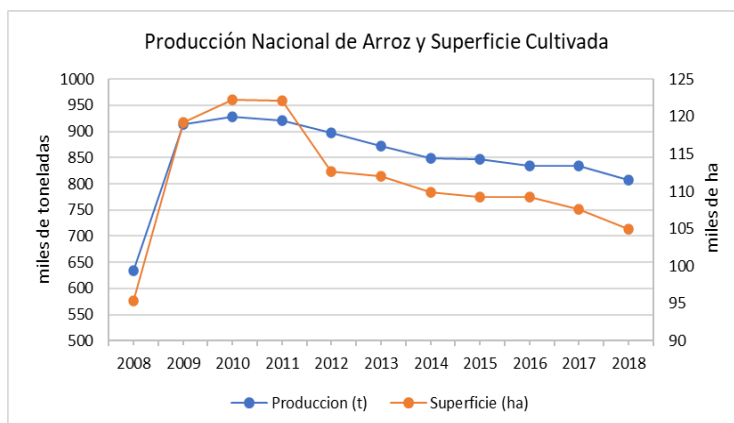


Figura 3. Producción nacional de arroz y superficie cultivada. Fuente: Mapa; FAOSTAT 2018.

En lo referente a la distribución de la producción en España, la Figura 4 muestra la producción correspondiente a aquellas autonomías que encabezan la lista de productores, así como el porcentaje respecto al total generado durante el año 2017.

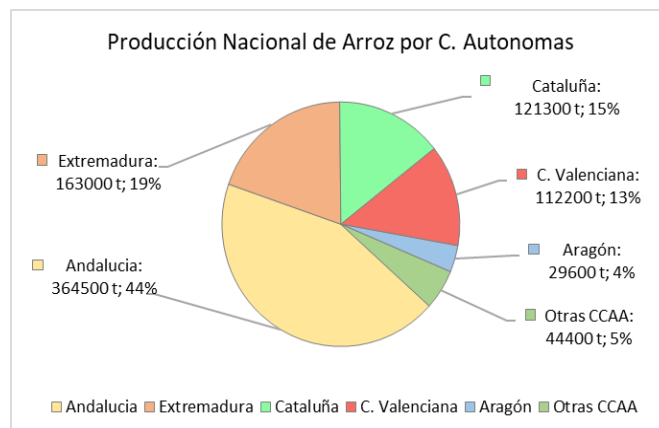


Figura 4. Producción nacional de arroz por Comunidades Autónomas. Fuente: Statista 2020.

Los principales productores a nivel nacional son las comunidades autónomas de Andalucía y Extremadura, las cuales generan casi el 60 % de la producción nacional (44 % y 19 % respectivamente), le siguen Cataluña con un 15 %, la Comunidad Valenciana con un 13 % y Aragón con únicamente un 4 % del total manufacturado. Por último, podemos ver como la producción en el resto de comunidades autónomas es muy pequeña, sumando entre todas solamente un 5 % del total.

En la Figura 5 podemos ver la distribución de la superficie cultivada a nivel nacional durante el año 2017.

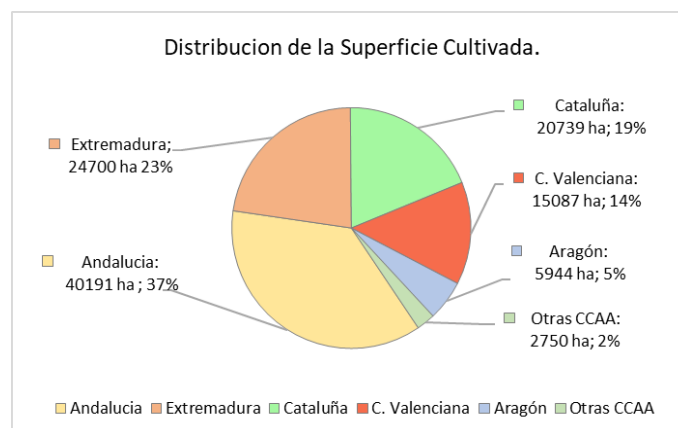


Figura 5. Superficie cultivada de arroz por Comunidades Autónomas. Fuente: FAOSTAT 2017.

El sector del arroz en España se localiza principalmente en zonas con ciertas restricciones medioambientales, como humedales y zonas próximas a espacios naturales protegidos, incluso dentro de los límites de los mismos como ocurre en el Parque Natural de La Albufera de Valencia. En la Comunidad Valenciana la mayor parte de la producción se concentra en este Parque Natural, es por ello que es de vital importancia llevar a cabo un manejo adecuado de los cultivos, así como realizar una adecuada gestión de los residuos generados, con el fin de proteger estas zonas con gran diversidad biológica y un excepcional valor ambiental, paisajístico y cultural.

1.4. Problemática de la paja de arroz

Uno de los residuos agrícolas más difíciles de manejar es la paja del arroz generada tras la siega, sobre todo en entornos naturales como los comentados anteriormente.

De manera estándar, se generan alrededor de 5 - 7 t de paja de arroz por ha cultivada (Mandal et al., 2004; Ribo et al., 2017), aunque Kludze and Delaune (1995) aumentaban dicha cantidad a entre 7 y 12 t por ha. Durante el 2017, en La Albufera de Valencia se generó alrededor 75000 - 105000 t de este residuo, con el inconveniente de producirse grandes volúmenes en muy poco tiempo debido a que todo el arroz se cosecha en un periodo relativamente corto (Ribo y col., 2017).

El uso que se le ha dado a este residuo de manera histórica ha sido la quema en la propia parcela de cultivo, debido a la fácil eliminación de estas grandes cantidades generadas y a los beneficios agronómicos y fitosanitarios en las próximas cosechas. La experiencia demuestra que esta práctica favorece la destrucción de esporas de hongos como la *Pyricularia oryzae*, así como algunas bacterias y semillas de malas hierbas que podrían afectar al próximo cultivo, además de reincorporar determinados nutrientes al suelo (Ribo y col., 2017).

Este modo de gestión supone grandes emisiones de contaminantes atmosféricos en un periodo corto de tiempo, lo que puede provocar un gran incremento en la concentración de sustancias como el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x), hidrocarburos, dioxinas y partículas en suspensión (Ribo y col., 2017). Estas emisiones de contaminantes atmosféricos pueden desencadenar problemas ambientales y de salud pública ya que se trata de gases de efecto invernadero y sustancias que pueden afectar al sistema respiratorio (Iranzo y col., 2004; Ribo y col., 2017).

Actualmente hay países que han prohibido esta práctica debido a los problemas de salud y medioambientales que conlleva, sin embargo, sigue siendo una práctica popular en muchos países, particularmente de Asia (Domínguez-Escribá y Porcar, 2010). En España está prohibida la quema de rastrojos y restos de cosecha de cultivos agrícolas, permitiéndose únicamente en el caso de que sea aconsejable por motivos fitosanitarios. Los respectivos órganos de las administraciones públicas son los encargados de regular la autorización extraordinaria y los tiempos de quema del residuo.

1.5. Alternativas de gestión de la paja de arroz

Una alternativa de gestión consiste en el triturado del residuo y su incorporación al suelo para reciclar la mayoría de los nutrientes para la próxima cosecha. Para ello es necesario realizar un laboreo superficial del suelo, de manera que se consigue disminuir el tamaño del residuo facilitando su degradación y permitiendo una adecuada aireación. Los restos vegetales quedan mezclados con el suelo durante un periodo de aproximadamente 30 - 40 días, antes de la inundación de los terrenos de cultivo, que se realiza generalmente durante principios y mediados de otoño. Esto permite evitar problemas asociados a la descomposición anaerobia del residuo, reduciendo la toxicidad y las emisiones de metano (Ribo y col., 2017). También existen otros factores que juegan un papel importante para que mediante este método de gestión se obtengan resultados beneficiosos. Por un lado, es necesario realizar la incorporación del residuo cosechado al suelo disponiendo de un periodo de tiempo suficiente que permita su descomposición, ya que puede afectar negativamente al desarrollo del siguiente cultivo reduciendo su crecimiento, mientras que por otro lado es necesario aportar una cantidad adecuada de residuo, ya que el exceso puede aumentar el contenido de sales o causar déficit de determinados nutrientes. Además, puede producir toxicidad por azufre, afectando al rendimiento de los cultivos y aumentando las emisiones de H₂S a la atmósfera (Ribo y col., 2017). Mediante el aporte del residuo se puede conseguir mejorar las propiedades del suelo, se fomenta el proceso de mineralización del nitrógeno y se consigue un incremento del crecimiento y rendimiento del siguiente cultivo (Ribo y col., 2017).

Por otro lado, existen otras alternativas de gestión de este residuo agrícola que consisten en la recogida y traslado de la paja fuera de los cultivos para darle otro aprovechamiento. Los principales usos alternativos que se le dan a este residuo son el aprovechamiento energético, la elaboración de compost, la bioconstrucción, la fabricación de papel, los acolchados, la restauración o la obtención de ácido levulínico, utilizado en la industria química para la fabricación de plásticos, aditivos y herbicidas, alimentación animal, entre otros (Iranzo y col., 2004; Ribo y col., 2017; Soam y col., 2017).

Por todo ello, el residuo vegetal generado en los cultivos de arroz es un importante recurso al que se le puede dar múltiples usos, aunque actualmente existen ciertas limitaciones a este modo de gestión alternativo relacionadas con la demanda y con los costes de operación.

En la Comunidad Valenciana, la Conselleria de Agricultura propuso un Plan de Gestión de la Paja del Arroz hasta 2021, con soluciones alternativas para la gestión de los desechos agrícolas. El objetivo es el tratamiento de la paja de arroz como un recurso y no como un residuo, fomentando así la economía circular (Agroambient.GVA, 2018)

1.5.1. El Acolchado o “Mulching”

El concepto de acolchado o “mulch” consiste en la cubierta de residuo vegetal o material sintético presente sobre la superficie del suelo, bien sea formado de manera natural o aplicado por la acción humana sobre la superficie de los cultivos. Esta técnica se ha aplicado desde hace muchos años con el objetivo de mejorar la producción, gracias a la mejora de las propiedades físico-químicas de los suelos, y al impedimento del desarrollo de hierbas adventicias (Zribi y col., 2011; Adnan y col., 2020).

Existen diferentes tipos de materiales utilizados para cubrir la superficie del suelo, que van desde materiales plásticos y geotextiles hasta residuos orgánicos de cultivos agrícolas, como en nuestro caso la paja del arroz obtenida tras la recolección.

Algunas de las ventajas de esta técnica es que supone una alternativa al control de arvenses tradicional mediante el uso de herbicidas. Esta técnica impide la penetración de la luz y constituye una barrera física para la emergencia de flora arvense. Asimismo, controla la maleza favoreciendo su asfixia y evitando la germinación de semillas (Zribi y col., 2011). Por otro lado, se consiguen ciertos beneficios ambientales, ya que los acolchados impiden la contaminación del suelos y acuíferos al evitar la infiltración de productos fitosanitarios utilizados en el manejo de los cultivos y a su vez reducen las pérdidas de suelo por erosión debido a la reducción de la escorrentía superficial y a la limitación de la acción del viento (Zribi y col., 2011).

Esta técnica conlleva numerosas ventajas, pero a su vez supone ciertos inconvenientes asociados a un mayor coste de producción debido al elevado precio de algunos materiales y el alto coste de transporte, al incremento en los gastos de manejo del cultivo y la posterior retirada del residuo o material de la parcela. Los principales inconvenientes derivados del uso de material orgánico para los acolchados son la posible proliferación roedores o determinadas plagas y el riesgo de incendio debido a la presencia de material combustible sobre la parcela (Zribi y col., 2011).

1.6. El suelo y sus propiedades

El suelo es un cuerpo natural que conforma un sistema vivo, organizado y complejo, compuesto por partículas minerales, materia orgánica, agua (solución del suelo), aire y organismos vivos. El suelo es el resultado de adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de materia y energía (Soil Survey Staff, 1999). Es importante llevar a cabo una adecuada gestión de los suelos, ya que se trata de un recurso natural no renovable a

escala temporal humana y a sus múltiples funciones (p. ej. producción de alimentos y biomasa, almacenaje y fuente de materias primas, filtro natural de las aguas subterráneas, atenuación de los contaminantes ambientales y patógenos, transformación de sustancias que recibe, fijación de gases de efecto invernadero, hábitat y reserva genética, regular el microclima, etc.). Así, el suelo es esencial para la vida y sus funciones proporcionan "servicios" ecológicos básicos para el medio ambiente.

Los suelos tienen propiedades físicas, químicas y biológicas. De acuerdo con Schoenholtz y col. (2010), a menudo es difícil separar claramente las funciones del suelo en procesos químicos, físicos y biológicos debido a la naturaleza dinámica e interactiva de estos procesos.

Las propiedades físicas de un suelo son las derivadas de la proporción de los componentes del suelo, así como de la interacción entre las distintas fases del suelo (fase sólida (matriz del suelo), fase líquida (solución del suelo) y fase gaseosa) y son en gran parte responsables del buen desarrollo de las plantas. Las propiedades físicas determinan la capacidad de sostén que tiene el suelo, así como la circulación del agua, la capacidad de almacenamiento de agua, la circulación de gases o aireación del suelo y la productividad entre otros factores. Se consideran propiedades físicas o mecánicas del suelo: textura, estructura, color, permeabilidad, porosidad, drenaje, consistencia, profundidad efectiva (FAO, 2020 a).

Las propiedades químicas de los suelos tienen gran importancia ya que de ellas depende que se den un gran número de procesos químicos esenciales para el correcto desarrollo de los cultivos. Estas propiedades influyen en la estructura del suelo, en la retención de nutrientes en la superficie mineral y de los componentes orgánicos (arcilla, materia orgánica o sustancias húmicas), en el intercambio de dichos nutrientes entre el suelo y la solución del mismo, en la disponibilidad de nutrientes que sean utilizables para el desarrollo vegetal y la actividad de los microorganismos del suelo. Se consideran propiedades químicas de los suelos son: contenido en materia orgánica, disponibilidad de nutrientes, capacidad de intercambio catiónico y aniónico, pH del suelo, salinidad del suelo (Ramírez, 1997; FAO, 2020 b).

Entre las propiedades biológicas y bioquímicas se encuentran el carbono de la biomasa microbiana, la respiración microbiana, las actividades enzimáticas, etc.

La biomasa microbiana del suelo constituye la parte viva de la materia orgánica presente en el ecosistema, excluyendo la macrofauna y las raíces. Esta fracción representa entorno al 1 y el 4 % del carbono total del suelo (García y Morón, 1992) y está formada por diferentes tipos de organismos como bacterias, actinomicetos, hongos, algas y protozoos (Benintende y Sánchez, 2000). Los microorganismos realizan un importante papel en el ecosistema del suelo participando en la descomposición de residuos orgánicos, en el desarrollo de una adecuada estructura del suelo y en la dinámica de nutrientes, factores que en consecuencia tienen gran influencia en la productividad agrícola (García y Morón, 1992).

Las bacterias son los organismos más numerosos, pero debido a su pequeño tamaño únicamente representan entorno a la mitad de la biomasa microbiana total. (Benintende y Sánchez, 2000). Podemos agrupar estos organismos en grupos funcionales, donde encontramos bacterias amonificadoras (descomponen sustancias orgánicas nitrogenadas y las transforman en amonio o sales amoniacaes), bacterias nitrificadoras (oxidan el amoniaco a nitrato), bacterias fijadoras de nitrógeno (toman nitrógeno atmosférico (N₂) para transformarlo en compuestos aprovechables por las plantas), bacterias pectinolíticas (degradan la pectina y derivados) y bacterias celulolíticas (degradan la celulosa), siendo estas últimas las más abundantes debido a que degradan el compuesto principal en los residuos vegetales (Benintende y Sánchez, 2000). Los actinomicetos son bacterias similares a los hongos por su estructura. Se trata de organismos heterótrofos cuya actividad se ve favorecida por la presencia de restos vegetales y estiércoles. Estos organismos participan en las etapas finales de la degradación (Benintende y Sánchez, 2000). Los hongos son organismos heterótrofos encargados de la degradación de moléculas complejas. Existe diferentes tipos en función de sus particularidades ecológicas. Encontramos hongos saprofitos, otros

fitopatógenos e incluso predadores de otros organismos como los nematodos o protozoos. También tienen especial interés los hongos micorrícicos, los cuales establecen relaciones simbióticas con las raíces de plantas superiores. En general, no son los organismos más importantes del suelo, pero debido a su gran tamaño son una parte relevante de la biomasa presente en el ecosistema del suelo (Benintende y Sánchez, 2000). Las algas son menos abundantes en el suelo en relación al resto de microorganismos edáficos. Son organismos autótrofos, poseen clorofila y utilizan la luz como fuente de energía. Su función principal es la generación de materia orgánica a partir de sustancias inorgánicas a través de la fotosíntesis, aumentando los niveles de carbono orgánico en el suelo. También existen especies heterótrofas o autótrofas facultativas que son capaces de asimilar compuestos orgánicos (Benintende y Sánchez, 2000). En el caso de los protozoos, encontramos organismos fotosintéticos, aunque la mayoría de ellos son organismos saprofitos, que son capaces de asimilar sustancias solubles orgánicas e inorgánicas. En el caso de los protozoos que habitan el suelo, predominan especies con una alimentación fagótrofa, es decir consumen otros microorganismos o partículas. Se encargan del control y regulación de las poblaciones de microorganismos, aunque también pueden participar en la degradación de restos vegetales (Benintende y Sánchez, 2000).

1.7. La respiración del suelo

La respiración del suelo es una medida del dióxido de carbono (CO_2) liberado del suelo por la descomposición de los compuestos orgánicos debido a la acción de los microorganismos del suelo, por la respiración de las raíces de las plantas y de la fauna del suelo. Es un indicador importante de salud del suelo ya que indica el nivel de actividad microbiana, el contenido de compuestos orgánicos lábiles y la descomposición de la materia orgánica. Se puede medir tanto en campo como mediante incubaciones en laboratorio (Olayinka, 2001; Creamer y col., 2014), en estas últimas se habla de respiración basal ya que solo incluye la respiración de los microorganismos del suelo.

Existen factores que afectan a la respiración del suelo como son el clima o el propio tipo de suelo. Las tasas de respiración dependen del contenido y calidad de materia orgánica del suelo, temperatura, humedad, salinidad, pH y aireación, por lo que la actividad biológica varía estacionalmente, así como diariamente. La respiración microbiana aumenta a más del doble con un incremento de la temperatura de $10\text{ }^\circ\text{C}$, hasta alcanzar un máximo en torno a $35 - 40\text{ }^\circ\text{C}$, a partir de la cual la temperatura del suelo es demasiado elevada, lo que limita el crecimiento vegetal, la actividad de los microorganismos y por tanto la respiración del suelo (Nakayama, 1990).

La respiración se ve incrementada al aumentar el contenido de humedad del suelo, hasta alcanzar un máximo que se da cuando los poros del suelo se saturan e impiden la disponibilidad de oxígeno para los microorganismos. El contenido en humedad ideal se sitúa en torno a la capacidad de campo, o cuando entorno a un 60% del espacio poroso está ocupado por agua. Cuando el contenido de humedad ocupa más del 80% del espacio poroso del suelo la respiración se minimiza y los organismos aeróbicos pasan a utilizar nitratos (NO_3^-) en lugar de oxígeno, lo que da lugar a pérdidas de nitrógeno y gases nitrogenados (N_2 y óxidos de nitrógeno) y emisiones de gases de efecto invernadero, disminuyendo el rendimiento y aumentando el gasto de fertilizantes nitrogenados (Nakayama, 1990).

En cuanto a la textura del suelo, los suelos de tipo limoso y franco son más favorables para la respiración del suelo debido a la buena aireación y la elevada capacidad de retención de agua disponible. En el caso de los suelos arcillosos, la descomposición de la materia orgánica del suelo se ve limitada debido a que las partículas de arcilla y los agregados dificultan la respiración, provocando la mineralización del nitrógeno orgánico. Los suelos arenosos suelen tener un bajo contenido en materia orgánica, además de tener una baja capacidad de

retención de agua lo cual limita la respiración del suelo y a su vez la mineralización del nitrógeno (Nakayama, 1990).

1.8. Cinética de mineralización del carbono del suelo

Los suelos son el mayor depósito de C en los ecosistemas terrestres, actuando como fuentes de emisión de CO₂ a la atmósfera o como importantes sumideros de C, de manera que los cambios en el uso del suelo o en el manejo de cultivos influyen en gran medida en el balance global de C. Este comportamiento depende de la relación entre la tasa de incorporación de materia orgánica y la tasa de mineralización de la misma (Sánchez y col., 2008).

Mediante la medición del CO₂ desprendido como indicador de la actividad microbiana y la aplicación y ajuste de modelos exponenciales se puede valorar la cinética de mineralización del C en el suelo, estimando la cantidad de sustrato potencialmente mineralizable y la tasa de mineralización. Estos modelos se desarrollan a fin de ajustar los datos de carbono acumulado en el tiempo, procedentes de ensayos de incubación (Sánchez y col., 2008; Jaramillo y col., 2015).

Uno de los modelos más utilizados para describir la descomposición de los residuos orgánicos debido a su gran versatilidad es el modelo cinético de primer orden o exponencial simple (Stanford y Smith, 1972).

$$C_t = C_0 (1 - e^{-kt}) \text{ (ec. 1)}$$

Donde C_t es la cantidad de carbono total, C₀ es la cantidad de carbono potencialmente mineralizable, k es la tasa de mineralización y t el tiempo (Jaramillo y col., 2015).

Este modelo de primer orden fue utilizado para describir el nitrógeno o carbono mineral acumulado en función del tiempo, de manera que permite representar el carbono potencialmente mineralizable como el carbono fácilmente degradable a una tasa de mineralización constante independientemente del tipo de suelo o de las prácticas de manejo llevadas a cabo (Jaramillo y col., 2015).

1.9. El efecto del acolchado sobre el suelo

En cuanto a la mejora de las propiedades físicas de los suelos, esta técnica permite disminuir la pérdida de humedad por evaporación ya que al cubrir la superficie del cultivo se reduce la radiación solar incidente y se limita el flujo turbulento entre el suelo y la atmósfera. También se consigue un aumento en la permeabilidad del suelo y en la capacidad de retención de agua, aumentando de manera significativa la humedad de la capa superficial del suelo y consiguiendo una tasa de infiltración hasta un 30 % mayor con respecto al suelo desnudo (Zribi y col., 2011).

Los acolchados también tienen un efecto importante sobre el control de la temperatura del suelo, de manera que la cubierta reduce la amplitud térmica de las capas superficiales del suelo durante el día y la noche. Además, se consiguen temperaturas más frescas durante el verano y se evitan las heladas durante el invierno, beneficiando así el desarrollo del sistema radicular de los cultivos (Zribi y col., 2011).

Otro de los efectos positivos de los acolchados es el mantenimiento de la estructura del suelo debido principalmente a la reducción del impacto generado por las gotas de lluvia, provocando una disminución de la dispersión física del suelo, evitando la compactación y la formación de costras superficiales, lo que conlleva a una mejora en la capacidad de infiltración de agua. Por otro lado, el aumento de la humedad y la temperatura beneficia la actividad de los microorganismos del suelo y la mineralización, lo que da lugar a una mayor disponibilidad de

nutrientes y a un incremento en los niveles de materia orgánica que al descomponerse genera compuestos cementantes que permiten la formación de agregados más estables, mejorando así la aireación y la fertilidad del suelo (Zribi y col., 2011).

En relación a las propiedades químicas de los suelos, la disminución de la evaporación de agua permite reducir la acumulación de sales en los suelos debido al efecto de evapoconcentración. Por otro lado, el aumento de la permeabilidad beneficia el lavado de sales por lo que se dificulta la acumulación de estas en los suelos agrícolas (Zribi y col., 2011).

2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este proyecto es analizar el efecto de una cobertura o mantillo de paja de arroz triturada y sin triturar sobre el carbono orgánico del suelo, mediante incubaciones en laboratorio y medida de la respiración. Un objetivo adicional es estudiar el efecto de la adición de estiércol y de nitrógeno mineral. Las incubaciones se realizaron con suelo procedente de parcelas destinadas a la producción de cítricos y caqui bajo dos sistemas de producción diferentes (ecológico y convencional).

Para lograr este objetivo principal, se definen los siguientes objetivos:

- Realizar un seguimiento de la descomposición de la materia orgánica (del suelo, paja de arroz y estiércol) realizada por los microorganismos del suelo mediante la medida del CO₂ desprendido en las muestras incubadas.
- Observar el efecto de la incorporación de N en la actividad de los microorganismos del suelo. La descomposición de la paja de arroz sirve como fuente de nutrientes para el suelo, pero debido a su alta relación C/N es necesario incorporar enmiendas orgánicas con el objetivo de aportar N que permita la adecuada actividad de los microorganismos.
- Observar el efecto de la humedad y temperatura en la actividad de los microorganismos del suelo. Un incremento de la humedad del suelo siempre que sea dentro de los niveles óptimos aumenta la actividad de los microorganismos, obteniendo una mayor mineralización de la materia orgánica y por tanto una mayor cantidad de CO₂ desprendido. Al igual que ocurre con el contenido en humedad del suelo, un incremento de la temperatura dentro de los niveles óptimos supone un aumento en la actividad de los microorganismos, mientras que una disminución excesiva de la temperatura ralentiza la actividad de estos.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio y muestreo del suelo

Las parcelas en las que se llevó a cabo este estudio se encuentran en la localidad valenciana de Pedralba, ubicada en la zona sureste de la comarca de Los Serranos (Comunidad Valenciana). En el Anexo I se ilustran los planos de situación de las parcelas en las que se obtuvieron las muestras de suelo. En la Tabla 1 se muestra el tipo de cultivo y sistema desarrollado en cada parcela, así como las coordenadas geográficas donde se ubican dichas parcelas.

Tabla 1. Sistemas de cultivo en las parcelas de estudio y localización geográfica.

	Parcela A1	Parcela A2	Parcela A3	Parcela A4
Cultivo	Caqui	Caqui	Cítrico variedad barnfield late navel	Cítrico variedad navelina
Sistema de cultivo	Ecológico	Convencional	Ecológico	Convencional
Coordenadas Geográficas	39° 35' 53" N 0° 43' 42" W	39° 35' 56" N 0° 43' 48" W	39° 36' 32" N 0° 44' 42" W	39° 35' 08" N 0° 44' 20" W

Para la caracterización edáfica se realizó un muestreo en septiembre de 2019. Se tomaron dos muestras compuestas alteradas de cada una de las cuatro parcelas a una profundidad entre 0 - 20 cm. Cada muestra compuesta se obtuvo muestreando en cuatro puntos cercanos de la zona seleccionada utilizando una sonda helicoidal. Las muestras de suelo mineral se tamizaron a través de un tamiz de 2 mm para la determinación de pH, textura, conductividad eléctrica y contenido de agua gravimétrica. Una submuestra de suelo se tamizó a través de un tamiz de 500 µm para determinar la materia orgánica. Para todos los ensayos analíticos, se usó el valor promedio de dos réplicas por muestra. La nomenclatura de las muestras se presenta en la Tabla 2.

Se realizó un segundo muestreo en noviembre de 2019 en el que se eligieron 3 puntos por parcela y en cada uno de ellos se tomó una muestra compuesta alterada, de 0 a 20 cm de profundidad mediante una sonda helicoidal. Estas muestras frescas de suelo mineral se pasaron a través de un tamiz de 2 mm y son las que se utilizaron para los ensayos de incubación y la determinación del carbono orgánico soluble, almacenándose a 4 °C hasta su análisis. Por otro lado, se tomaron muestras mediante una sonda Kopecky para determinar la densidad aparente de los suelos.

3.2. Experimentos de incubación

Se utilizaron cuatro suelos procedentes de un campo de cultivo ecológico de caqui, campo convencional de caqui, campo de cultivo ecológico de cítricos y campo de cultivo convencional de cítricos. Los tratamientos que se realizaron quedan recogidos en la Tabla 2. Cada suelo se incubó con el estiércol específico utilizado por el agricultor en cada campo.

Las muestras se incubaron en matraces sellados herméticamente en la oscuridad a una temperatura de 15, 25 y 35 °C según el experimento realizado. La respiración se calculó a partir del incremento en CO₂ (%) en el volumen del espacio superior del matraz, que se midió con un sensor de CO₂ (punto de control, sensor PBI, Ringsted, Dinamarca). La Figura 6 muestra los matraces preparados para su incubación.

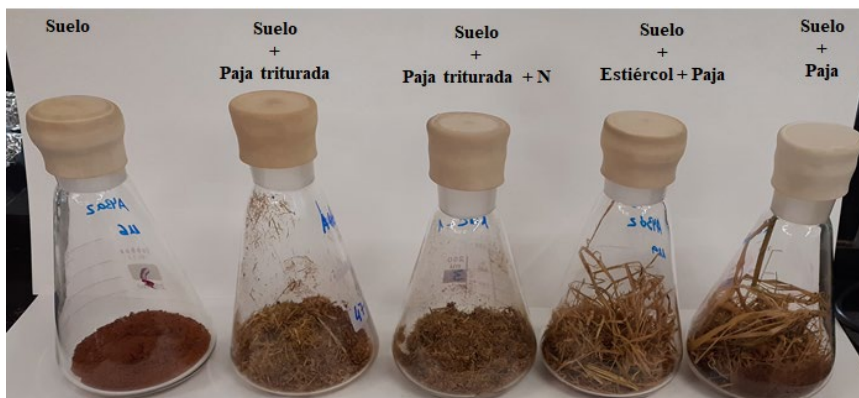


Figura 6. Matraces de incubación con diferentes tratamientos.

El C liberado como CO₂ producto de la actividad microbiana se determinó en los tratamientos que pueden observarse en la Tabla 2:

Tabla 2. Tratamientos realizados en las muestras incubadas.

Tratamiento †	Suelo/ Estiércol origen	Suelo * (g)	Agua destilada (mL)	Paja de arroz triturada § (g)	Paja de arroz sin triturar § (g)	Nitrógeno £ (g)	Estiércol *,¥ (g)	Temp incub. (°C)	Tiempo (días)
Suelo (S)	CqE, CqC, CiE, CiC	20,0	2	-	-	-	-	25	190
Suelo (S)	CqC	20,0	2	-	-	-	-	15/35	99
Paja (PT)		-	2	1,5	-	-	-	25	133
Paja (PNoT)		-	2	-	1,5	-	-	25	133
Paja (PNoT)		-	1	-	1,5	-	-	15/25/35	99
Paja (PNoT)		-	2	-	1,5	-	-	15/25/35	99
Estiércol (E)	CqE, CqC, CiE, CiC		2				3,5	25	133
Estiércol (E)	CqC,		2				3,5	15/25/35	99
Suelo + Estiércol (S + E)	CqC,	20,0	2				3,5	15/25/35	99
Suelo + Paja triturada (S + PT)	CqE, CqC, CiE, CiC	20,0	2	1,5 mezclado	-	-	-	25	190
Suelo + Paja sin triturar (S + PNoT)	CqE, CqC, CiE, CiC	20,0	2		1,5 sobre suelo	-	-	25	190
Suelo + Paja triturada + N (S + PT + N)	CqE, CqC, CiE, CiC	20,0	2	1,5 mezclado		0,213		25	190
Suelo + Estiércol + Paja sin triturar (S+ PNoT + E)	CqE, CqC, CiE, CiC	20,0	2		1,5 sobre suelo	-	3,5	25	190
Suelo + Estiércol + Paja sin triturar (S + PNoT +E)	CqC	20,0	2	-	1,5 sobre suelo	-	3,5	15/35	99
Suelo + Estiércol + Paja triturada (S + PT + E)	CqC	20,0	2	1,5 mezclado		-	3,5	15/25/35	99

† S: suelo, PT: paja triturada, N: nitrógeno, PNoT: paja no triturada, E: estiércol.

§ Corresponde a 8 t ha⁻¹. ¥ Corresponde a 18 t ha⁻¹. £ Corresponde a 150 kg ha⁻¹ (como KNO₃).

CqE: Caqui Ecológico. CqC: Caqui Convencional. CiE: Cítrico Ecológico. CiC: Cítrico Convencional.

3.3. Paja de arroz, estiércol

La paja de arroz se obtuvo de campos de cultivo de la localidad de Catarroja, ubicados en el Parque Natural de "La Albufera de Valencia", durante septiembre de 2019. Los estiércoles utilizados fueron los aportados por el agricultor en cada una de las parcelas estudiadas. La paja se almacenó a temperatura ambiente antes de su uso y los estiércoles se mantuvieron a 4 °C antes de su uso.

3.4. Análisis de los suelos

Para llevar a cabo la caracterización de los suelos objeto de estudio y conocer las propiedades físicas y químicas de estos se determinaron diferentes parámetros: humedad del suelo, textura, pH, conductividad eléctrica, carbonatos totales, contenido en materia orgánica, carbono orgánico soluble en agua, respiración microbiana y contenido de nitrógeno mineral.

3.4.1. Humedad del suelo. Factor de humedad

La humedad gravimétrica de un suelo se define como la cantidad de agua presente por cantidad de suelo seco.

Material: cajas metálicas, balanza con precisión $\pm 0,001$ g, estufa de secado y desecador.

Procedimiento:

Para determinar el porcentaje de humedad y el factor de humedad de los suelos analizados se pesan 25 g de suelo húmedo en cajas metálicas, que posteriormente se introducen abiertas en una estufa a temperatura de 105 °C hasta peso constante. Las muestras se dejan enfriar en un desecador hasta temperatura ambiente y finalmente se pesan las cajas obteniendo así el peso del suelo seco. Por diferencia entre el peso inicial y el peso obtenido tras la desecación de las muestras obtenemos la masa de agua presente en la muestra de suelo.

$$\text{humedad (\%)} = \frac{\text{masa de agua}}{\text{masa de suelo seco}} \times 100 \text{ (ec. 2)}$$

$$f_h = \frac{\text{masa de suelo seco}}{\text{masa de suelo humedo}} \text{ (ec. 3)}$$

3.4.2. Textura

La textura de un suelo representa la composición granulométrica del mismo, es decir, el porcentaje en peso de las partículas inorgánicas menores a 2 mm existentes en el suelo. (Gisbert y col, 2010; Pachés y col, 2017). Para clasificar los suelos según su textura se agrupan los tamaños en fracciones, dividiéndose en tres grupos: arena (2 - 0,05 mm), limo (0,05 - 0,002 mm) y arcilla (< 0,002 mm). La clasificación utilizada es la correspondiente al Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (U.S.D.A.).

La determinación de la textura se realizó por el método de Bouyoucos (Llorca, 1991). Este método se basa en la Ley de Stokes, que demuestra que la velocidad de caída libre de una partícula no coloidal, esférica de diámetro D y densidad aparente ρ_s a través de un líquido en reposo, de viscosidad η , densidad ρ_l y movimiento relativo laminar respecto a la caída de la partícula, tiene un valor constante dado por la ecuación 4:

$$V = \frac{[g \times (\rho_s - \rho_l) \times D^2]}{18\eta} = K \times D^2 \text{ (ec. 4)}$$

Para conseguir que cada partícula sedimente de manera aislada es necesario realizar un pretratamiento que asegure la disgregación mediante la destrucción de los materiales cementantes. Esto se consigue mediante agitación del suelo en una solución de exametafosfato sódico y carbonato cálcico.

Material: densímetro (escala en g/L), batidora eléctrica, probeta de 1L, émbolo agitador de latón, termómetro, cápsula de porcelana de 200 mL y cronómetro.

Reactivos: solución de calgón (se disuelven 50 g de calgón en agua destilada y enrasar a 1 L) y alcohol amílico (dispersante del residuo espumoso de materia orgánica).

Procedimiento:

Añadir 100 mL de solución dispersante de calgón a la probeta de referencia y enrasar con agua destilada hasta 1 L. A continuación, se mezcla bien la solución mediante el embolo agitador.

Pesar 40 g de suelo seco al aire y colocar la muestra en una capsula de porcelana de 200 mL. Seguidamente se añaden 100 mL de la solución de calgón, dejando humedecer bien el suelo durante aproximadamente 10 minutos. A continuación, se transfiere la suspensión al vaso dispensador de la batidora con la ayuda de agua destilada para transvasar toda la muestra. Se bate la suspensión durante 5 minutos, se introduce en una probeta y se enrasa a 1L con agua destilada.

Por último, se mide la temperatura en las probetas que contienen las muestras y se realizan las lecturas del densímetro en la probeta de referencia (blanco) y en dichas muestras. Las lecturas de las muestras se realizan a los 30 y 60 segundos sin retirar el densímetro de la suspensión, y a los 3, 10, 30 y 90 minutos retirando el densímetro entre una medida y la siguiente. Finalmente se realiza una última lectura a las 8 horas de iniciar el ensayo.

3.4.3. Densidad Aparente y porosidad

La densidad aparente es un parámetro utilizado para la caracterización de la estructura del suelo. Este parámetro tiene especial influencia sobre la aireación, la retención y movimiento de agua, la retención y disponibilidad de nutrientes, la facilidad para el laboreo y la erosionabilidad. Se define como la masa que contiene un suelo por unidad de volumen, incluyendo su espacio poroso (Gabriels, D., & Lobo, D. 2011).

Para determinar la densidad aparente se tomó una muestra por parcela mediante una sonda Kopeki de volumen = 272,3 cm³. Las muestras de suelo se secaron en estufa a una temperatura de 105 °C durante 48h. La densidad aparente se obtuvo aplicando la ecuación 5.

$$\rho_a \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \frac{\text{Peso suelo seco (g)}}{V(cm^3)} \quad (ec. 5)$$

La porosidad de los suelos se determinó mediante la aplicación de la ecuación 6.

$$\text{porosidad (\%)} = \left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{real}} \right) * 100 \quad (ec. 6)$$

3.4.4. pH y conductividad eléctrica

Principio:

El pH del suelo determina el grado de adsorción de iones H⁺ por las partículas del suelo e indica si un suelo es ácido o alcalino (Pachés y col, 2017). Para determinar la acidez activa de la solución del suelo se utilizó la relación suelo: agua desmineralizada generalizada, 1: 2,5. El pH se determina por potenciometría directa mediante un electrodo combinado de vidrio-Ag/AgCl.

Por otro lado, la medida de la conductividad eléctrica de un sedimento nos da idea de su grado de salinización. La conductividad eléctrica se midió en un extracto de pasta saturada.

Material y aparatos: pH-metro, conductímetro, vasos precipitados de plástico de 100 mL, agitador magnético, agitador rotativo, balanza con precisión $\pm 0,001$ g.

Procedimiento:

Se pesan 10 g de suelo, se añaden 25 mL de agua destilada y se agita la solución durante 10 minutos en agitador rotativo. Posteriormente se mide el pH.

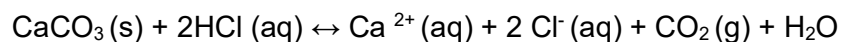
Para determinar la conductividad eléctrica se pesan 10 g de suelo, se añaden 50 mL de agua destilada y se agita durante 30 minutos. Posteriormente se filtra la muestra y se realiza la medición de la conductividad eléctrica.

3.4.5. Carbonatos totales

Los carbonatos tienen un papel importante sobre la estructura del suelo y la actividad de los microorganismos, pero una cantidad excesiva puede generar problemas sobre los cultivos.

Principio:

Al tratar con ácido clorhídrico un sedimento que contenga carbonato, se desprende CO_2 . Si esta operación se lleva a cabo en un dispositivo cerrado (calcímetro), a presión y temperatura constantes, y no se desprenden otros gases, la medida del volumen de CO_2 desprendido permite calcular el contenido de carbonatos totales. El desprendimiento de CO_2 tiene lugar según la ecuación:



Bajo estas condiciones, el volumen de CO_2 desprendido por reacción entre unas cantidades conocidas de suelo (g) y de CaCO_3 puro (g), se puede determinar el total de carbonatos sólidos de la muestra de suelo.

Material: calcímetro de Bernard, matraces Erlenmeyer de 250 mL, tapones de goma, tubos de vidrio pequeños, balanza de precisión $\pm 0,001$ g.

Reactivos: ácido clorhídrico 6 N, solución saturada de NaCl y CO_2 para la columna del calcímetro (a 100 g de NaCl y 1 g de NaHCO_3 disueltos en 350 mL de agua, se le añaden unas gotas de rojo de metilo y H_2SO_4 concentrado; se agita mientras se añade el sulfúrico para eliminar el exceso de CO_2), carbonato cálcico puro, finamente pulverizado y secado en estufa a 105°C .

Procedimiento:

Se pesan 0,500 g de suelo seco al aire en un matraz Erlenmeyer de 250 mL. Se introduce en el interior del matraz un tubo de vidrio que contiene HCl 6N, con cuidado evitando que se vierta el ácido sobre la muestra de suelo. A continuación, se cierra el Erlenmeyer con un tapón de goma. Seguidamente se iguala el contenido de la bureta del calcímetro con el depósito y se agita el matraz vertiendo el ácido sobre el suelo. A medida que desciende el nivel de la bureta se hace descender el nivel del depósito manteniendo el mismo nivel en ambos. Finalmente se toma la lectura al nivel en el que se estabiliza el proceso. Del mismo modo, se realiza el mismo procedimiento con 0,200 g de CaCO_3 puro.

Cálculos:

La ecuación 7 nos permite obtener la cantidad de CaCO_3 expresado en porcentaje:

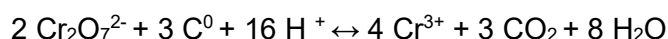
$$\% \text{CaCO}_3 = \frac{(V \times P)}{(V' \times P' \times f_h)} \times 100 \text{ (ec. 7)}$$

Donde:

- V= volumen de CO₂ desprendido por la muestra (mL)
- P = peso de CaCO₃ puro (g)
- V' = volumen de CO₂ desprendido por CaCO₃ puro (mL)
- P' = peso muestra suelo seco al aire (g)
- f_h = factor de humedad de la muestra de suelo

3.4.6. Materia orgánica

Para la determinación de la materia orgánica presente en el suelo se empleó el método de Walkey-Black (1934). Este método consiste en la oxidación del carbono orgánico, utilizando como oxidante el ion dicromato, Cr₂O₇²⁻. El carbono se encuentra en distintos niveles de oxidación dentro de la materia orgánica del suelo. Este método asume por razones empíricas que cada átomo de carbono es oxidado desde un estado de oxidación 0 a un nivel +4, reflejando de esta manera todo el intercambio de electrones en la reacción.



El carbono orgánico se calcula de forma indirecta, a partir del dicromato potásico (K₂Cr₂O₇) que queda tras producirse la reacción y que no ha reaccionado con el carbono.

Materiales: matraces Erlenmeyer de 250 mL, bureta de 10 mL, balanza de precisión ± 0,001 g.

Reactivos: dicromato potásico 1N (disolver 49,09 g de K₂Cr₂O₇ previamente secado en estufa a 105°C y enfriado a temperatura ambiente en desecador, en agua destilada y enrasar a 1L), ácido sulfúrico concentrado (no menos del 96 %), complejo ferroso de ortofenantrolina 0,025M (se disuelven 14,85 g de ortofenantrolina monohidrato y 6,95 g de FeSO₄·7 H₂O en agua y diluir hasta 1 L), sulfato ferroso, 0,5 N (disolver 140 g de FeSO₄·7 H₂O en agua; añadir 15 mL de ácido sulfúrico concentrado, enfriar y diluir hasta 1L).

Procedimiento:

Se pesan 0,500 g de suelo seco al aire pasado por un tamiz de 500 μm en matraces Erlenmeyer de 250 mL. A continuación, se añaden 5 mL de K₂Cr₂O₇ 1N para dispersar el suelo en la solución. Posteriormente se añaden 10 mL de H₂SO₄ en la campana de extracción de gases y se mueve vigorosamente el matraz para mezclar los componentes durante aproximadamente 1 minuto. Se deja enfriar durante 30 min aproximadamente ya que se produce una reacción exotérmica y se añaden 25 mL de agua destilada, dejando enfriar de nuevo durante 30 minutos. A continuación, se añaden 8 gotas del indicador (complejo ferroso de ortofenantrolina) y se valora el exceso de K₂Cr₂O₇ 1N con sulfato ferroso 0,5 N. La valoración concluye cuando se detecta el viraje a color pardo de la solución.

Se realizaron tres repeticiones por muestra y dos blancos. En cuanto a la preparación del blanco se llevó a cabo siguiendo el procedimiento anterior, pero sin añadir suelo a la preparación.

Cálculos:

Para el cálculo del contenido de materia orgánica expresado en porcentaje se utilizó la ecuación 8:

$$\% \text{ Materia Orgánica} = \frac{(m_{eq}K_2Cr_2O_7 - m_{eq}FeSO_4)}{P_{ssa}} \times 0,003 \times 100 \times 1,298 \times 2 \text{ (ec. 8)}$$

Donde:

- $m_{eq} K_2Cr_2O_7 = V \text{ (mL)} (K_2Cr_2O_7) \times N (K_2Cr_2O_7)$
- $V \text{ (mL)} (K_2Cr_2O_7) = 10 \text{ mL}$
- $N (K_2Cr_2O_7) = 1N$
- $m_{eq} FeSO_4 = V \text{ (mL)} (FeSO_4) \times N (FeSO_4)$
- $V \text{ (mL)} (FeSO_4) = V \text{ (mL)} \text{ de } FeSO_4 \text{ utilizado en la valoración}$
- $N (FeSO_4) = 0,5 N$
- $P_{ssa} = \text{ peso (g) de la muestra de suelo seco al aire } \times f_h$
- $0,003 = \text{ peso equivalente del carbono}$
- $1,298 = \text{ Factor de conversión a COT. El método de } Walkey-Black \text{ oxida el } 77 \% \text{ del COT}$
- $2 = \text{ Factor de transformación de carbono orgánico total a Materia Orgánica}$

3.4.7. Carbono orgánico soluble

Para la determinación de carbono orgánico soluble contenido en el suelo se utilizó el método de Yakovchenko y Sikora (1998).

Materiales y aparatos: botellas de plástico de 60 mL, probetas de 25 mL, papel de filtro Whatman n°42, embudos pequeños, tubos ensayo de 15 mL, espectrofotómetro, agitador de brazos, vortex, estufa.

Reactivos: disolución de $K_2Cr_2O_7$ 0,20 N en H_2SO_4 26,7 N (para preparar 100 mL pesar 0,9808 g de $K_2Cr_2O_7$ y disolver en 25 mL de agua destilada en un matraz aforado de 100 mL; una vez disuelto añadir 74,13 mL de H_2SO_4 concentrado poco a poco. Se deja enfriar y se rectifica el enrase), disolución madre de 1000 mg/L de C (para preparar 100 ml pesar 0,25 g de glucosa y enrasar con agua destilada). Curva patrón: de 0, 10, 25, 50, 100, 200 y 300 ppm de C a partir de una disolución de 1000 mg/L (para preparar 50 ml se pipetearon los siguientes volúmenes: 0, 0,5, 1,25, 2,5, 5, 10 y 15 mL, a continuación, se enrasa con agua destilada).

Procedimiento:

Para la preparación del extracto de las muestras se pesa, en tubos de centrifuga de plástico, el suelo húmedo tamizado a través de 2 mm correspondiente a 10 g de suelo seco y se añaden 25 ml de agua destilada. Posteriormente las muestras se agitan en un agitador de brazos durante 30 minutos. Finalmente, las muestras se centrifugan (2500 r.p.m. durante 10 minutos) y se filtran con papel de filtro Whatman n° 42.

Medida:

Para la detección por reacción colorimétrica se toman 2 ml del extracto (filtrado) en tubos de ensayo y se añaden 3 ml de $K_2Cr_2O_7$ 0,20 N en H_2SO_4 26,7 N. A continuación, se agita durante 15 segundos utilizando un vortex. Se tapan los tubos de ensayo con papel de aluminio y se introducen en estufa a 140 °C durante 20 minutos. Tras dejar enfriar se mide la absorbancia a una longitud de onda de 590 nm.

El autocero se realiza con el patrón 0. Se realizan 3 repeticiones por muestra. En cuanto a la preparación del blanco, se sigue el mismo procedimiento que para las muestras, pero sin suelo, preparándose dos blancos.

3.4.8. Nitrógeno mineral

Para la determinación de nitrógeno inorgánico (nitratos y amonio) en el suelo se utilizaron los siguientes materiales, siguiendo el procedimiento descrito a continuación:

Material: balanza de precisión $\pm 0,001$ g, Erlenmeyer de 250 mL, botellas de plástico de 60 mL, tamices $< 74 \mu\text{m}$.

Procedimiento:

Para la extracción del nitrógeno mineral se pesan 5 gramos de suelo húmedo en matraces Erlenmeyer. Seguidamente se añaden 50 mL de KCl 2M y se agita durante 1 hora a 125 r.p.m., dejando luego sedimentar unos minutos. A continuación, se decantaron en botellas de 60 mL y se centrifugo durante 10 minutos a 2500 r.p.m. Finalmente se pasó el sobrenadante por un tamiz de malla $74 \mu\text{m}$ y se guardó en nevera hasta la determinación del contenido en nitratos y amonio.

Determinación de N-NO_3^- y N-NH_4^+ .

La determinación se llevó a cabo utilizando un FIASStar 5000 Analyzer FOSS TECATOR. Los patrones para la determinación de los nitratos se prepararon a partir de una disolución de nitrato potásico y para la determinación del amonio a partir de una disolución de cloruro de amonio. Los patrones al igual que las muestras se prepararon en KCl 2 M.

3.4.9. Respiración microbiana

La respiración del suelo (actividad mineralizadora de carbono) cuantifica la producción de CO_2 como resultado de los procesos metabólicos de los organismos vivos del suelo. En el procedimiento utilizado se mide el CO_2 desprendido por muestras de suelo incubadas en condiciones óptimas de humedad y temperatura en un sistema cerrado. Como el objetivo es medir la respiración microbiana se eliminan de las muestras de suelo las raíces que puedan contener, así como macroorganismos.

En los ensayos de incubación, la medición de CO_2 se realiza con un equipo analizador de gases portátil (Dansensor, CheckPoint). Una vez obtenido los registros periódicos del porcentaje en volumen de CO_2 presente en los matraces se procedió a convertir los datos a tasa de $\text{mg C kg}^{-1} \text{ día}^{-1}$ utilizando la ecuación de los gases perfectos y el porcentaje de CO_2 acumulado en cada uno de los tratamientos en un determinado período de tiempo.

Materiales: matraces Erlenmeyer de 250 mL con sus tapones septa, balanza de precisión $\pm 0,001$ g, medidor de CO_2 (Checkpoint, PBI Dansensor, Ringsted, Denmark), aireador.

Procedimiento:

Se pesan en los matraces 20 g de suelo seco y las cantidades correspondientes de paja de arroz y estiércol en función del experimento realizado. Seguidamente se añade un volumen de agua determinado dependiendo del experimento realizado. En la Tabla 2 se recoge la cantidad de suelo, paja, estiércol y nitrógeno aplicado para cada uno de los tratamientos, así como los volúmenes de agua añadidos. En el día 74 para los ensayos que duraron 190 días se añadió una pequeña cantidad de agua para restituir las pérdidas producidas durante los períodos de aireación de los matraces.

Finalmente, se taparon los matraces y se pusieron a incubar en cámaras de incubación a 15, 25 y 35 °C en función del experimento realizado. Se realizó una primera medida del porcentaje de CO_2 a las 24 h. La frecuencia de medición del porcentaje de CO_2 fue variable a lo largo del tiempo dependiendo de las medidas obtenidas. Para evitar condiciones de anaerobiosis, cuando fue necesario, se airearon los matraces hasta niveles de CO_2 del 0 %.

La tasa de respiración de los microorganismos del suelo se obtiene del incremento en porcentaje en volumen de CO₂ producido en los matraces en un determinado período de tiempo y se consigue mediante la siguiente expresión:

$$mg\ C\ kg^{-1}\ d^{-1} = \frac{\left(P_{atm} * \frac{CO_2}{100} * V_{matraz} * Mr_{Carbono} * 1000 \frac{mg}{g} * 1000 \frac{g}{kg} \right) / (R * T)}{Suelo\ seco * n^{\circ}\ días} \quad (ec. 9)$$

Donde:

- P_{atm} (J/m³) = Presión atmosférica (101300)
- CO₂ (%) = Porcentaje de CO₂
- V_{matraz} (m³) = Volumen del matraz
- Mr_{Carbono} (g/mol) = Masa atómica C (12 g/mol)
- R (cte gases) (J mol⁻¹ K⁻¹) = Constante de los gases ideales (8,314)
- T (K) = Temperatura
- Suelo seco (g) = Suelo fresco (g) * f_h siendo f_h el factor de humedad.

3.5. Análisis estadístico

Para la estimación de la cantidad de carbono potencialmente mineralizable (C₀) y su tasa de mineralización (k), se utilizaron regresiones no lineales empleando el modelo cinético de primer orden descritos en la sección 1.8 (ec.1). Todos los análisis estadísticos se han realizado utilizando el software STATGRAPHICS Centurión XVII.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Características de los residuos orgánicos

A continuación, se muestra la Tabla 3 en la que se recogen características bibliográficas de la paja de arroz (Huang y col., 2011).

Tabla 3. Caracterización de la paja de arroz. Fuente: (Huang y col., 2011).

C (%)	N (%)	S (%)	f _h	C/N
45,41	0,99	0,21	0,918	46

Como podemos observar en la Tabla 3, la paja de arroz presenta un elevado contenido en carbono y una pequeña cantidad de nitrógeno, por lo que la relación C/N es elevada.

Para caracterizar los estiércoles utilizados en las parcelas se determinó el contenido de carbono orgánico total obtenido por el método de Walkey-Black (1934). El valor mostrado es el resultado de multiplicar el carbono orgánico oxidable por 1,298, ya que se estima que con este método se oxida el 77 % del carbono orgánico. La Tabla 4 muestra los resultados obtenidos en esta determinación.

Tabla 4. Resultados en la determinación de carbono orgánico total de los estiércoles utilizados.

	Estiércol A1. Caqui Ecológico	Estiércol A2. Caqui Convencional	Estiércol A3. Cítrico Ecológico	Estiércol A4. Cítrico Convencional
Carbono orgánico total (%)	17,72	16,79	19,50	20,77

El estiércol aportado en la parcela de cítrico convencional presenta un 20,77 % en carbono orgánico total. Le sigue el estiércol aportado en la parcela de cítrico ecológico, con un 19,50 %. Para los estiércoles aportados en la parcela de caqui ecológico y caqui convencional los resultados obtenidos muestran un contenido de carbono orgánico total de 17,72 y 16,79 % respectivamente.

4.2. Caracterización física y química del suelo

La Tabla 5 recoge los resultados obtenidos en la caracterización de los cuatro suelos objeto de estudio.

Tabla 5. Características físicas y químicas de los suelos estudiados. Los valores representan la media \pm desviación estándar ($n=3$).

	A1. Caqui Ecológico	A2. Caqui Convencional	A3. Cítrico Ecológico	A4. Cítrico Convencional
Arcilla (%)	9,4 \pm 0,1	19,8 \pm 2,0	11,3 \pm 1,6	23,8 \pm 1,3
Limo (%)	33,1 \pm 0,2	42,4 \pm 2,8	23,8 \pm 0,5	41,8 \pm 0,2
Arena (%)	57,6 \pm 0,2	37,8 \pm 0,9	64,9 \pm 2,0	34,3 \pm 1,1
Textura	Franco arenoso	Franco	Franco arenoso	Franco
Densidad aparente (g/cm³)	1,161	1,303	1,349	1,388
Porosidad (%)	56,19	50,84	49,08	47,64
pH H₂O 1:2,5	7,76 \pm 0,03	8,16 \pm 0,08	8,35 \pm 0,25	8,46 \pm 0,07
CE* 1:5 (dS/m)	0,40 \pm 0,03	0,20 \pm 0,06	0,16 \pm 0,05	0,18 \pm 0,00
CaCO₃ (%)	43,18 \pm 0,12	37,04 \pm 1,82	34,43 \pm 0,50	52,31 \pm 4,06
Materia Orgánica (%)	13,05 \pm 1,29	3,42 \pm 0,05	3,28 \pm 1,90	2,35 \pm 0,37

* CE: conductividad eléctrica.

En relación a la textura del suelo, la Tabla 5 muestra las clases texturales obtenidas experimentalmente mediante densímetro. Los suelos de las parcelas caqui convencional y cítrico convencional son de clase textural franca mientras que los de las parcelas caqui ecológico y cítrico ecológico la textura es franco-arenosa.

De acuerdo con la clasificación del USDA para el pH del suelo, el suelo de la parcela de caqui ecológico es ligeramente alcalinos mientras que el pH de los otros 3 suelo es moderadamente alcalino.

La conductividad eléctrica es una medida indirecta de la cantidad de sales que contiene un suelo. Se considera que un suelo no presenta problemas de salinidad cuando la conductividad eléctrica no supera los 2 dS m⁻¹ (Villalbí y Vidal, 1988). Como no se superaron los 0,4 dS/m se consideran suelos no salinos.

Los carbonatos del suelo afectan a la estructura del mismo, a la actividad biológica, a la capacidad de almacenaje de nutrientes y a su asimilación. El exceso en el contenido de carbonatos dificulta la capacidad nutricional del suelo. El contenido en carbonato cálcico en el suelo varió entre 34,43 % y 52,31 %.

Uno de los componentes de mayor importancia en los suelos es la materia orgánica. El suelo obtenido de la parcela de caqui ecológico presenta un elevado contenido en materia orgánica ($13,05 \pm 1,29$ %), mientras que los suelos de las otras parcelas presentan un contenido que varía entre $2,35 \pm 0,37$ % y $3,42 \pm 0,05$ %.

4.3. Carbono lábil del suelo

El carbono orgánico lábil del suelo es vital para la actividad de los organismos edáficos (Martínez y col., 2008). El carbono orgánico de suelo soluble en agua (COS) hace referencia a una pequeña parte del carbono orgánico total del suelo. Esta fracción es la más móvil y reactiva, proporciona recursos energéticos a los organismos heterótrofos en forma de carbono lábil (Martínez y col., 2008). Los compuestos orgánicos más lábiles sirven como fuente de energía directamente utilizable para los microorganismos del suelo y por tanto son más susceptibles para ser mineralizados.

Los resultados obtenidos en la determinación del COS contenido en los suelos de cada parcela se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Carbono orgánico soluble (mg C kg^{-1}) contenido en cada una de las parcelas objeto de estudio. Los valores representan la media \pm desviación estándar ($n=3$).

Parcelas	COS* (mg C kg^{-1} suelo)	Porcentaje sobre MO** (%)
A1: Caqui Ecológico	$29,12 \pm 18,99$	0,022
A2: Caqui Convencional	$27,59 \pm 8,28$	0,081
A3: Cítrico Ecológico	$20,92 \pm 5,12$	0,064
A4: Cítrico Convencional	$17,18 \pm 0,83$	0,073

*COS: carbono orgánico soluble. **MO: materia orgánica del suelo.

La parcela dedicada al cultivo ecológico de caqui es la que presenta niveles más elevados de COS, con un total de $29,12 \pm 18,99$ mg C kg^{-1} , lo que supone un mayor contenido de sustancias orgánicas lábiles que pueden ser aprovechadas de manera directa por los microorganismos edáficos y por tanto ser mineralizadas, aunque hay que destacar la variabilidad obtenida. En segundo lugar, se encuentra la parcela de caqui con sistema convencional con un contenido en COS de $27,59 \pm 8,28$ mg C kg^{-1} . Las parcelas con un contenido de COS más bajo son las destinadas al cultivo de cítrico, con un total de $20,92 \pm 5,12$ mg C kg^{-1} para el sistema ecológico y $17,18 \pm 0,83$ mg C kg^{-1} para el sistema convencional. Comparando los resultados en función del tipo de cultivo, se observa un mayor contenido de COS en aquellas parcelas que desarrollan un sistema ecológico. Respecto al porcentaje de COS sobre el total de MO presente en los suelos ocurre lo contrario, de manera que los cultivos con sistema convencional presentan porcentajes más elevados que los que desarrollan sistemas ecológicos.

4.4. Nitrógeno mineral en el suelo

El nitrógeno es uno de los elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas, dados los altos requerimientos que presentan la mayoría de cultivos (Martín, 1993).

El nitrógeno puede encontrarse en el suelo en forma orgánica y mineral. La fracción mayoritaria del nitrógeno en el suelo es la asociada a la materia orgánica (97 – 99 %). En esta forma permanece estable, siendo liberado en la mineralización por la acción de los microorganismos del suelo, dando lugar a compuestos solubles inorgánicos (amonio y nitrato) que pueden ser absorbidos por las plantas. El nitrógeno amoniacal puede encontrarse directamente disponible para los cultivos o encontrarse fijado en el suelo por la acción de ciertos minerales de las arcillas, mientras que la forma nítrica se encuentra disponible para la

planta ya que no es inmovilizada por el suelo, siendo más susceptible de perderse por lixiviación (Martín, 1993)

Para determinar el contenido en nitrógeno en los suelos se extrajo el nitrógeno mineral con KCl, posteriormente se determinaron el amonio y los nitratos. El nitrógeno mineral es la suma de los nitratos y del amonio.

La Tabla 7 muestra los resultados obtenidos en la determinación de nitrógeno mineral contenido en los suelos.

Tabla 7. Resultados en la determinación de nitrógeno mineral contenido en los suelos. Los valores representan la media \pm desviación estándar (n=3).

Parcela	N-NH ₄ ⁺ (mg kg ⁻¹ suelo)	N-NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹ suelo)	N mineral (mg kg ⁻¹ suelo)
A1. Caqui Ecológico	0,46 \pm 0,55	44,90 \pm 2,92	45,35 \pm 3,42
A2. Caqui Convencional	0,69 \pm 0,10	52,65 \pm 16,80	53,34 \pm 16,82
A3. Cítrico Ecológico	0,58 \pm 0,29	22,25 \pm 19,41	22,82 \pm 19,63
A4. Cítrico Convencional	0,20 \pm 0,35	90,35 \pm 52,04	90,46 \pm 52,47

La parcela de cítrico convencional es la que presenta mayor cantidad de nitrógeno mineral, con una cantidad total de 90,46 \pm 52,47 mg N-mineral kg⁻¹ suelo. A pesar de obtener los valores más elevados, hay que destacar la gran dispersión obtenida en estas determinaciones. En segundo lugar, se encuentra el suelo de la parcela de caqui convencional, con una cantidad total de 53,34 \pm 16,82 mg N-mineral kg⁻¹ suelo. La parcela destinada al cultivo ecológico de caqui presenta niveles de N-mineral ligeramente inferiores, pero en este caso la dispersión de las medidas es mucho menor, obteniendo un valor de 45,35 \pm 3,42 mg N-mineral kg⁻¹ suelo. El suelo con un menor contenido en nitrógeno mineral es el de la parcela de cítrico ecológico, en el que el resultado de la determinación fue 22,82 \pm 19,63 mg N-mineral kg⁻¹ suelo.

4.5. Respiración microbiana en las incubaciones de laboratorio

A continuación, se muestra la evolución de la mineralización de C en los diferentes ensayos de incubación realizados en laboratorio. Para ello se registró la cantidad de C-CO₂ acumulada durante un periodo de 190, 133 y 99 días dependiendo del experimento realizado.

Durante todo el ensayo se produjo una liberación de C en todos los tratamientos. La aplicación de paja y estiércol produjo un aumento en la liberación de C como ya ha sido comprobado en numerosos estudios (Ribeiro y col., 2010).

4.5.1. Respiración microbiana de los residuos orgánicos utilizados

Para realizar este estudio se utilizaron en las incubaciones muestras de los estiércoles que aplicaron los agricultores en campo y paja de arroz. Los estiércoles y la paja de arroz se incubaron a 25 °C durante 133 días.

La Figura 7 muestra la evolución de la liberación de C-CO₂ procedente de los ensayos de incubación de los estiércoles aplicados en cada una de las parcelas.

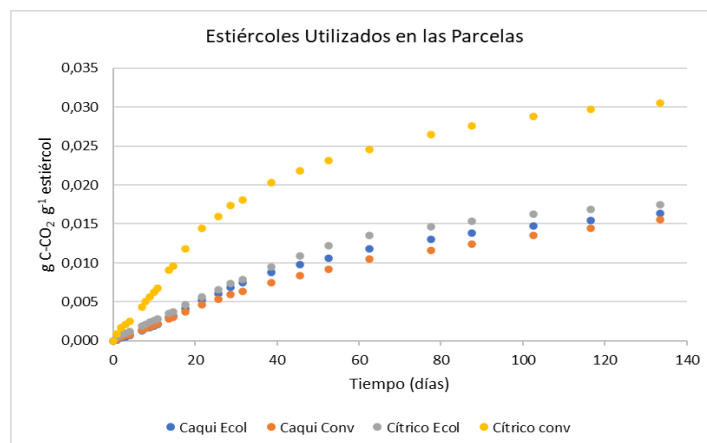


Figura 7. Respiración acumulada para los ensayos de incubación de los estiércoles utilizados en las diferentes parcelas, expresado como g C-CO₂ g⁻¹ estiércol.

La evolución de la respiración acumulada en los ensayos de incubación de los estiércoles aplicados en cada parcela es semejante, a excepción del estiércol utilizado en la parcela de cítrico convencional en el que se registró una acumulación mucho mayor a lo largo de los 133 días de incubación.

Los resultados indican una mayor mineralización de C para el estiércol utilizado en la parcela que desarrolla un cultivo convencional de cítrico, obteniendo una masa acumulada de C de 0,031 g C-CO₂ g⁻¹ estiércol. Los estiércoles del resto de parcelas muestran una respiración acumulada similar durante todo el proceso, siendo mayor para el estiércol aportado al cultivo ecológico de cítrico, con una masa de C acumulada de 0,017 g C-CO₂ g⁻¹ estiércol, seguido de los aplicados en el cultivo de caqui ecológico y caqui convencional en los que se obtuvieron 0,016 y 0,015 g C-CO₂ g⁻¹ estiércol respectivamente.

La Figura 8 muestra la respiración acumulada correspondiente a la paja de arroz.

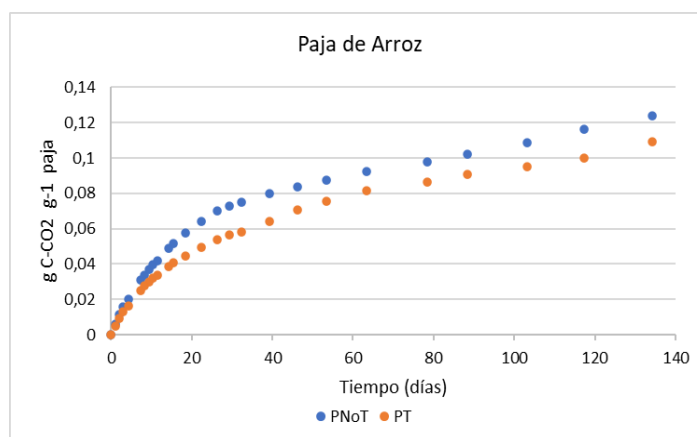


Figura 8. Respiración acumulada para los ensayos de incubación de la paja de arroz utilizada, expresado como g C-CO₂ g⁻¹ paja.

Los resultados muestran una evolución semejante de la liberación de C-CO₂ en ambos ensayos. En el caso del ensayo con paja triturada, la respiración acumulada es menor respecto a la paja no triturada durante todo el periodo de incubación, obteniendo un total de 0,110 y 0,124 g C-CO₂ g⁻¹ paja respectivamente.

Comparando los residuos orgánicos utilizados en los tratamientos, los resultados reflejan una respiración acumulada de la paja de arroz muy superior a los valores registrados en las incubaciones de los diferentes estiércoles.

4.5.2. Respiración microbiana en los tratamientos realizados

La Figura 9 muestra la acumulación de C-CO₂ en las incubaciones de suelo de las parcelas objeto de estudio.

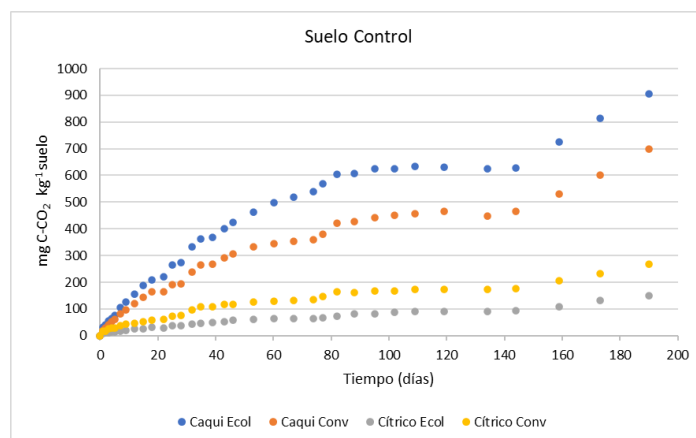


Figura 9. Respiración acumulada para los ensayos de incubación de suelo de las diferentes parcelas estudiadas, expresado como mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo.

Los valores de respiración acumulada registrados en las incubaciones de los suelos de las diferentes parcelas siguen una evolución similar. Se observa un aumento en la respiración del suelo a partir del 74 día, momento en el cual se añadió 1 mL de agua, provocando un incremento de la actividad microbiana. Del mismo modo, se observa un nuevo aumento en los valores de respiración a partir del día 144, debido a la aireación de los matraces de incubación, lo que provoca una renovación de la fase gaseosa contenida en los poros del suelo y una mayor liberación de C debido a la actividad metabólica de los organismos del suelo.

En cuanto a las diferencias entre los distintos suelos, la parcela en la que se desarrolla un cultivo de caqui ecológico presenta valores de respiración mayores que el resto de parcelas, debido a que este suelo contiene un porcentaje elevado de materia orgánica (13,05 %) y parte de esta se encuentra disponible para los microorganismos en forma de compuestos orgánicos lábiles ($29,12 \pm 18,99$ mg C kg⁻¹ suelo). La parcela en la que se lleva a cabo un cultivo de caqui convencional presenta valores de respiración inferiores a la parcela de caqui ecológico, siendo estos más elevados que las parcelas destinadas al cultivo de cítrico. El contenido en materia orgánica de este suelo es inferior a la parcela de caqui con sistema ecológico (3,42 %), pero los valores de COS son similares ($27,59 \pm 8,28$ mg C kg⁻¹ suelo), por lo que también se registraron valores de respiración elevados. En cuanto a las parcelas destinadas al cultivo de cítricos, ambas presentan una acumulación de C liberado menor que las parcelas de caqui, siendo el suelo en el que se desarrolla un cultivo de cítrico ecológico, el que presenta una respiración acumulada mayor. Los valores de respiración acumulada en los cuatro suelos oscilaron entre 905 y 266 mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo.

Comparando los resultados en función de las especies cultivadas, en nuestro caso, se cumple que las parcelas con sistema ecológico, tanto de caqui como de cítrico presentan una respiración acumulada mayor que las que desarrollan un sistema convencional, debido al mayor contenido en MO y COS.

En la Figura 10 se muestran los resultados en el tratamiento de suelo junto con paja triturada. Los resultados se expresan como respiración neta debido a la mineralización del carbono procedente de la paja triturada, es decir, se descontó la respiración derivada del suelo.

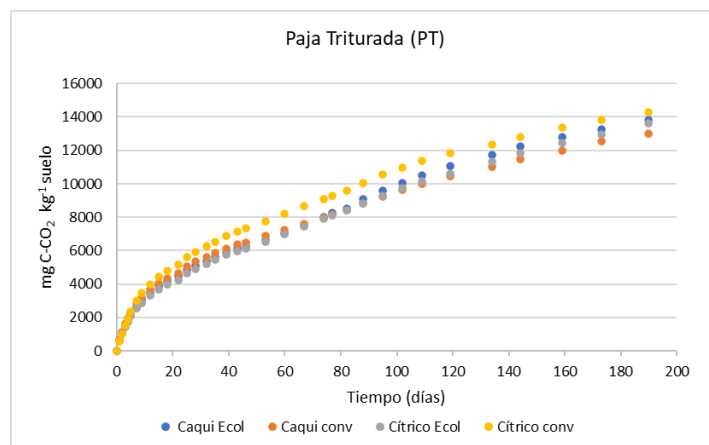


Figura 10. Respiración acumulada procedente de la paja de arroz triturada, expresado como mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo.

Los resultados reflejan una evolución de la respiración similar en los cuatro ensayos realizados. En este tratamiento se obtuvieron unos valores de respiración superiores al resto de tratamientos en los que se añadió como residuo orgánico únicamente paja de arroz. Esta respiración acumulada ligeramente mayor puede deberse a que la paja se encuentra en contacto con el suelo, facilitando así la descomposición de esta por parte de los organismos edáficos. Tras finalizar el periodo de incubación, se registró un máximo de 14266 mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo para la parcela de cítrico convencional, y un mínimo de 13019 mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo para la parcela de caqui convencional.

La Figura 11 muestra la acumulación de C-CO₂ en el tratamiento al que se incorporó al suelo paja triturada junto con Nitrógeno. Del mismo modo que en el tratamiento anterior, se presentan los resultados correspondientes a la respiración neta debido a la paja de arroz.

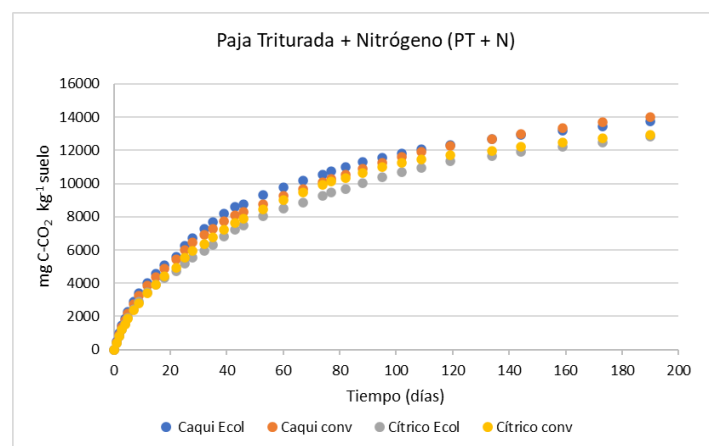


Figura 11. Respiración acumulada procedente de la paja de arroz triturada en el tratamiento en el que se incorporó Nitrógeno, expresado como mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo.

Los resultados muestran una evolución de la respiración acumulada similar en todas las parcelas. El total de C-CO₂ acumulado durante el periodo de incubación es ligeramente inferior al obtenido en el tratamiento de paja triturada, por lo que podemos afirmar que la incorporación de nitrógeno mineral (KNO₃) no ha generado una mayor descomposición de la paja de arroz, pero sí que ha provocado una velocidad de degradación del residuo mayor, obteniendo una respiración acumulada superior durante los primeros 100 días de incubación. Finalmente, tras finalizar el periodo de incubación se registró un contenido máximo de carbono mineralizado de 13999 mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo para la parcela de caqui convencional y un mínimo de 12834 mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo para la parcela de cítrico ecológico.

La Figura 12 muestra los resultados obtenidos para la respiración neta acumulada debido a la paja de arroz en el tratamiento en el que se incorporó paja sin triturar.

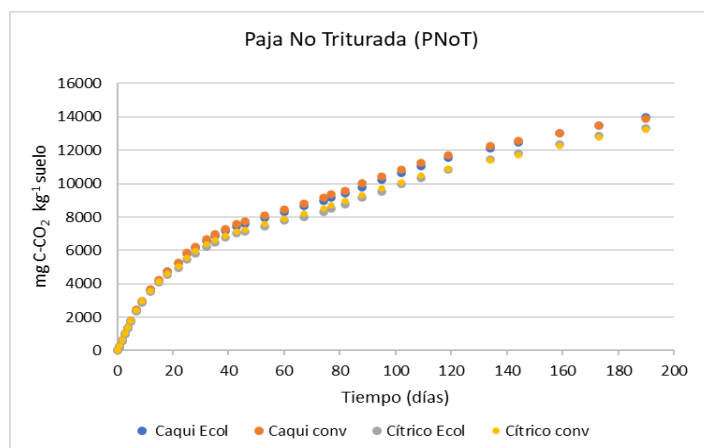


Figura 12. Respiración acumulada procedente de la paja de arroz sin triturar, expresado como mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo.

Los valores registrados durante el ensayo reflejan una evolución de la liberación de C-CO₂ similar al tratamiento en el que se añadió paja triturada, obteniendo una acumulación de carbono mineralizado ligeramente menor que en dicho tratamiento. Al finalizar los 190 días de duración del ensayo se registró un valor máximo de carbono mineralizado de 13979 mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo, correspondiente a la parcela de caqui convencional, y un valor mínimo de 13229 mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo para la parcela de cítrico convencional.

Por otro lado, se observó el crecimiento de hongos sobre el residuo vegetal, los cuales pudieron desarrollarse debido a las óptimas condiciones de temperatura en la incubación y a la humedad proporcionada por la evaporación de agua contenida en el suelo. Por ello se estima que parte de la respiración registrada puede provenir del desarrollo de estos organismos.

En la Figura 13 podemos ver la evolución de la mineralización de carbono en el tratamiento en el que se añadió al suelo estiércol junto con paja no triturada. Los resultados muestran la respiración neta acumulada debido a los residuos orgánicos utilizados.

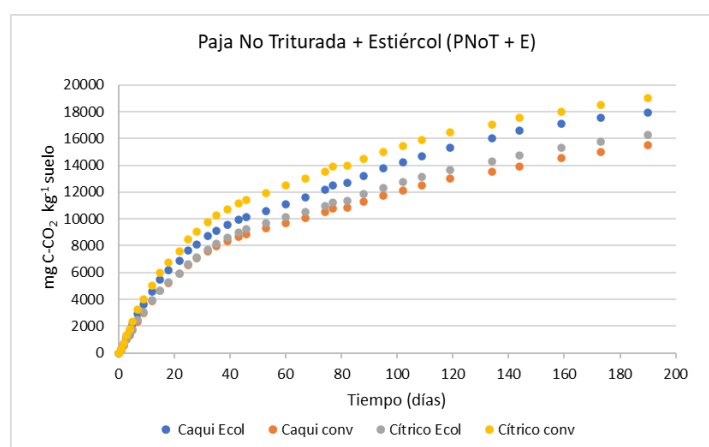


Figura 13. Respiración acumulada procedente de la paja de arroz no triturada y los estiércoles utilizados, expresado como mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo.

Los resultados obtenidos en este tratamiento son mayores al resto, debido a la incorporación de la paja de arroz y los diferentes estiércoles. El ensayo en el que se registraron unos valores más elevados de carbono mineralizado corresponde a la parcela de cítrico convencional, ya

que el estiércol incorporado en esta parcela presenta una respiración acumulada superior al resto, registrando un total de 19021 mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo. En segundo lugar, se encuentra la parcela de caqui ecológico, en la que la respiración acumulada al final del ensayo fue de 17928 mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo. En este caso los valores de respiración obtenidos debido al estiércol aportado a la parcela son menores a los que se registraron para el estiércol de la parcela de cítrico ecológico, por lo que no se cumple la condición de una mayor respiración debido a dicho residuo orgánico. Finalmente, los ensayos con menor acumulación de C-CO₂ corresponden a las parcelas de cítrico ecológico y caqui convencional, obteniendo unos valores de 16288 y 15497 mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo respectivamente.

Para determinar la respiración en este tratamiento correspondiente a la paja de arroz no triturada se descontó los valores obtenidos en las incubaciones de los diferentes estiércoles utilizados. Los resultados se muestran en la Figura 14.

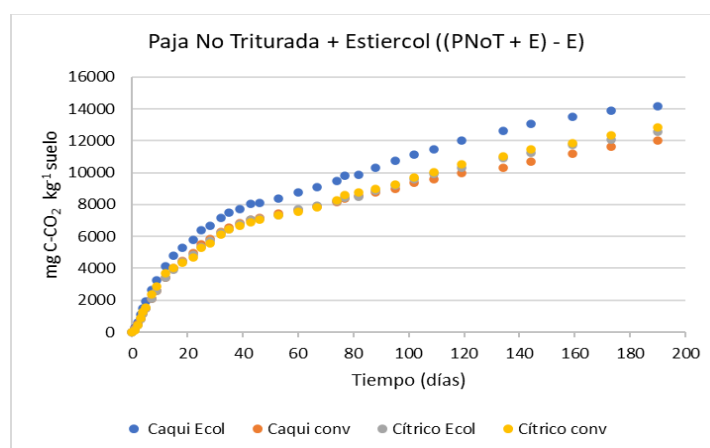


Figura 14. Respiración acumulada procedente de la paja de arroz en el tratamiento de paja no triturada + estiércol, expresado como mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo.

Los resultados obtenidos para la mineralización de carbono procedente de la paja no triturada en el ensayo correspondiente a la parcela de caqui ecológico son similares a los registrados en el tratamiento donde se incorporó únicamente paja no triturada, obteniendo un máximo de 14176 mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo. En el resto de parcelas los valores son inferiores, oscilando entre 12859 mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo en la parcela de cítrico convencional y 12004 mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo en la parcela de caqui convencional.

4.5.3. Efecto de la temperatura y la humedad en la respiración microbiana.

Para determinar el efecto de las condiciones ambientales sobre la respiración microbiana se realizaron diferentes ensayos de incubación de los residuos orgánicos y los suelos de las parcelas objeto de estudio, sometiéndolos a diferentes condiciones de humedad y temperatura. El aumento de la temperatura y la humedad dentro de unos niveles óptimos producen un incremento en la actividad de los microorganismos, consiguiendo así una mayor mineralización del carbono.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en los ensayos de incubación de los residuos orgánicos bajo diferentes condiciones ambientales.

En la Figura 15 se muestra la acumulación de C-CO₂ en las incubaciones a diferente temperatura del estiércol aportado a la parcela de caqui convencional.

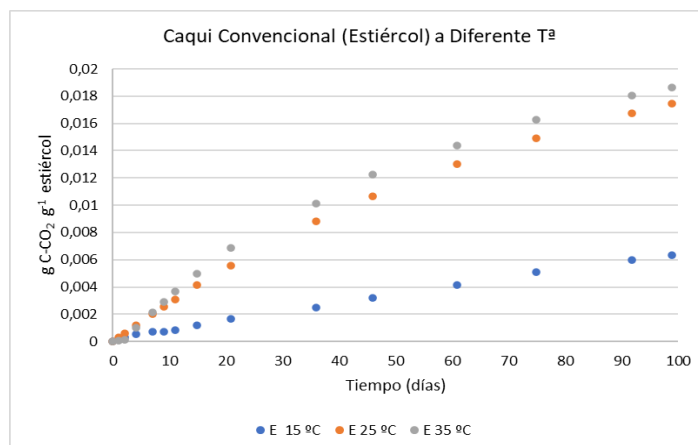


Figura 15. Respiración acumulada para los ensayos de incubación de estiércol procedente de la parcela caqui convencional a diferente temperatura, expresado como g C-CO₂ g⁻¹estiércol.

En relación a la dinámica de la mineralización del carbono, los valores obtenidos muestran una evolución casi lineal de la curva de C-CO₂ acumulado en los tres ensayos. Los resultados reflejan una mayor mineralización del carbono en el ensayo a temperatura de 35 °C, en el que se produjo un total de 0,018 g C-CO₂ g⁻¹ estiércol. El ensayo a 25 °C produjo una respiración acumulada ligeramente inferior, registrando 0,017 g C-CO₂ g⁻¹ estiércol al finalizar el periodo de incubación. Por último, se observa como la reducción de la temperatura de incubación a 15 °C provoca una ralentización de la actividad de los microorganismos, de manera que los resultados obtenidos para la respiración acumulada son muy inferiores a los anteriores tratamientos, finalizando el proceso con una acumulación de 0,006 g C-CO₂ g⁻¹ estiércol.

Fu y col. (2020) indican que el acolchado de paja se ha adoptado ampliamente en los cultivos de secano, pero su efecto sobre la respiración del suelo y las comunidades microbianas a mayores temperaturas no se comprenden bien. En los ensayos que realizaron tomaron muestras de suelo de un campo de maíz que había estado bajo mantillo de paja durante nueve años y muestras de suelo sin mantillo de paja y las incubaron a 15 °C, 25 °C y 35 °C durante 60 días. Observaron que el efecto del acolchado de paja sobre el ciclo del C del suelo y la estructura de la comunidad microbiana puede ser altamente modificado al aumentar la temperatura.

La Figura 16 muestra los resultados obtenidos en las incubaciones de paja de arroz a diferente temperatura y humedad.

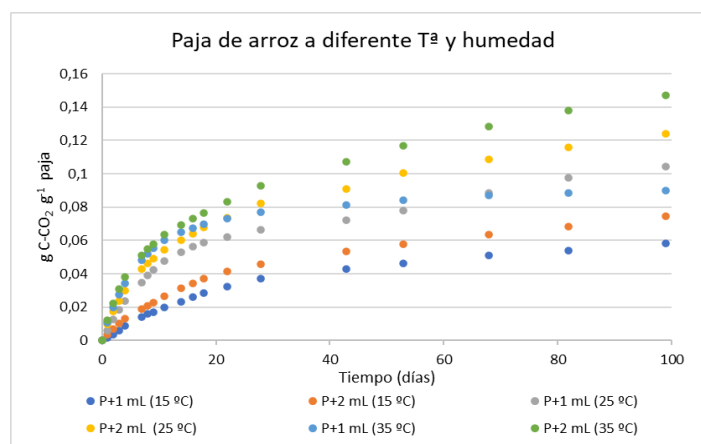


Figura 16. Respiración acumulada para los ensayos de incubación de la paja de arroz bajo diferentes condiciones de temperatura y humedad, expresado como g C-CO₂ g⁻¹ paja.

Los resultados muestran una mineralización del carbono superior en el tratamiento en el que se realizó la incubación a 35 °C con un aporte de 2 mL de agua, registrando un total de 0,147 g C-CO₂ g⁻¹ paja. Le siguen los tratamientos en los que se realizó el ensayo a 25 °C, obteniendo unos valores a los 99 días de 0,124 y 0,105 g C-CO₂ g⁻¹ paja, siendo mayor el ensayo en el que se aportó mayor cantidad de agua. Para el tratamiento a 35 °C con un aporte de únicamente 1 mL de agua se registraron unos valores superiores a los ensayos a 25 °C durante los primeros 20 días de incubación, pero posteriormente se estabilizó la liberación de C-CO₂, alcanzando valores inferiores a dichos ensayos al concluir el proceso (0,090 g C-CO₂ g⁻¹ paja). Esto puede deberse a que el incremento en la temperatura provoca una evaporación del agua contenida en el matraz, de manera que esta condensa sobre las paredes y no puede ser aprovechada por los microorganismos, mientras que en el ensayo a la misma temperatura con mayor aporte de agua existe un exceso de humedad y no se ralentiza la mineralización del carbono. Finalmente, los resultados registrados más bajos fueron para los ensayos a 15 °C, obteniendo un total de 0,074 g C-CO₂ g⁻¹ paja para un aporte de 2 mL de agua y 0,058 g C-CO₂ g⁻¹ paja para el matraz en el que se añadió 1 mL de agua.

A continuación, se exponen los resultados obtenidos en los tratamientos realizados bajo diferentes condiciones de temperatura.

La Figura 17 muestra los resultados obtenidos en el ensayo de incubación a diferente temperatura del suelo correspondiente a la parcela de caqui convencional.

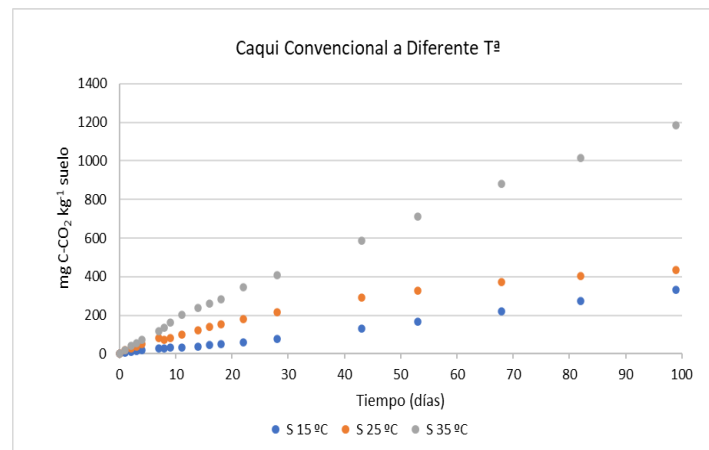


Figura 17. Respiración acumulada en los ensayos de incubación de suelo a diferente temperatura, expresado como mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo.

La dinámica de mineralización del carbono en estas incubaciones sigue una tendencia lineal para las tres temperaturas. El ensayo a 35 °C presenta una respiración acumulada mucho mayor al resto, con un total de 1184 mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo al concluir el ensayo. Los resultados en el resto de tratamientos varían ligeramente, obteniendo una respiración acumulada de 433 mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo para el ensayo a 25 °C y 330 mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo para la incubación a 15 °C. En este tratamiento se cumple la hipótesis de a mayor temperatura, mayor actividad de los microorganismos.

En la Figura 18 podemos observar los resultados obtenidos en las incubaciones de suelo junto con estiércol a diferente temperatura. Para representar la mineralización del carbono correspondiente al estiércol, se descontaron los valores de respiración obtenidos en el ensayo de suelo a diferente temperatura.

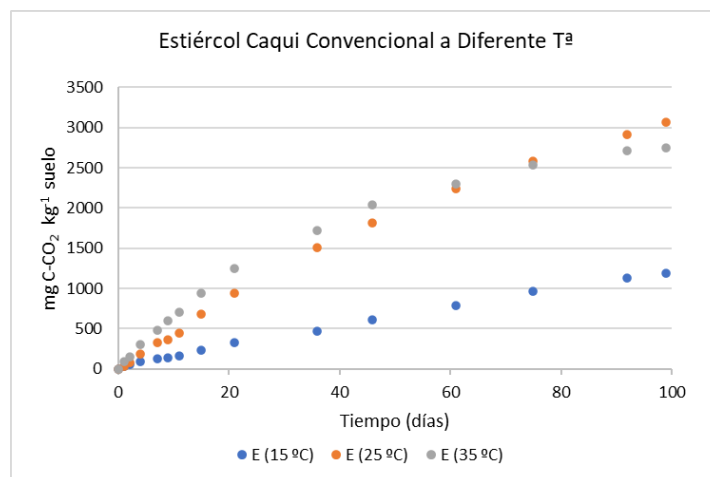


Figura 18. Respiración neta acumulada procedente del estiércol en los ensayos de incubación de suelo junto con estiércol a diferente temperatura, expresado como mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo.

La evolución de la acumulación de carbono mineralizado sigue una tendencia casi lineal en todos los tratamientos, observándose una ligera estabilización únicamente en el ensayo de incubación a 35 °C. En este caso el ensayo a 25 °C registro una mayor mineralización de carbono, alcanzando un total de 3067 mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo, por lo que no se cumple la condición de mayor actividad de los microorganismos con el incremento de la temperatura de incubación. El ensayo a una temperatura de incubación de 35 °C presenta una respiración acumulada menor que en el caso anterior, con un total de 2744 mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo. Para la incubación a 15 °C se registró una acumulación de C-CO₂ mucho menor al resto de tratamientos, con un total de 1195 mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo.

Los resultados obtenidos para las incubaciones a diferente temperatura en el que se incorporó al suelo paja triturada junto con estiércol se muestran en la Figura 19. Los resultados muestran la respiración neta acumulada debido a los residuos orgánicos utilizados.

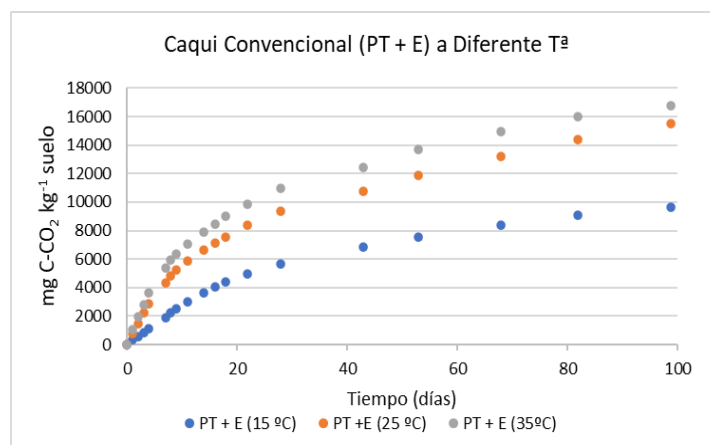


Figura 19. Respiración neta acumulada procedente de la paja de arroz triturada y el estiércol en las incubaciones a diferente temperatura, expresado como mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo.

El tratamiento a 35 °C registro una acumulación de carbono mineralizado mayor al resto de tratamiento, registrando un total de 16772 mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo. Para el ensayo a 25 °C la respiración acumulada al concluir el ensayo fue de 15226 mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo, por lo que no existe una gran diferencia respecto al anterior ensayo. En la incubación a 15 °C los resultados fueron muy inferiores, registrando un valor total de 9648 mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo. En este tratamiento se cumple la condición de mayor actividad de los microorganismos al incrementar la temperatura de incubación.

En la Figura 20 se muestran la acumulación de carbono mineralizado en el tratamiento de en el que se incorporó al suelo paja no triturada junto con estiércol. Los resultados muestran la respiración acumulada debido a los residuos orgánicos.

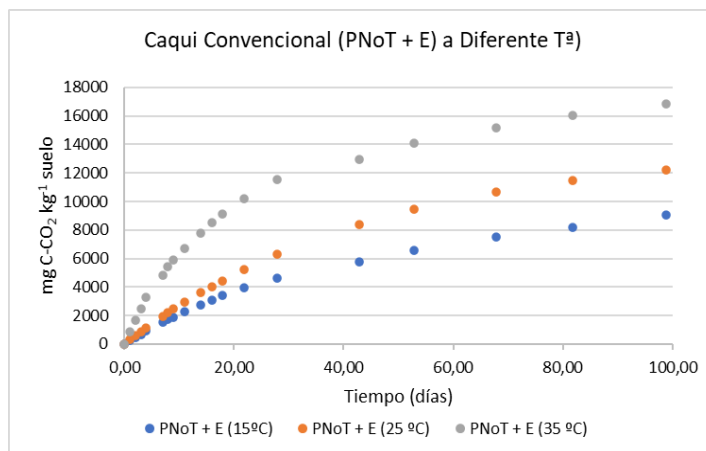


Figura 20. Respiración acumulada procedente de la paja de arroz no triturada y el estiércol en las incubaciones a diferente temperatura, expresado como mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo.

En este tratamiento se observa una mineralización del carbono para el ensayo a 35 °C similar al tratamiento de paja triturada junto con estiércol, siendo mayor el valor registrado tras finalizar la incubación que en dicho tratamiento (18836 mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo). En el ensayo a 25 °C, la respiración acumulada disminuyó notablemente, alcanzando un total de 12192 mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo. A esta temperatura de incubación, la paja no triturada tuvo una respiración acumulada menor que la registrada en el tratamiento de paja triturada. Los valores de respiración más bajos fueron los obtenidos en el ensayo a 15 °C, con un total de respiración acumulada de 9048 mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo, valor similar al obtenido en el tratamiento anterior.

Para conocer la cantidad de carbono mineralizado procedente de la paja de arroz en los tratamientos en los que se aportó al suelo paja triturada y paja no triturada junto con estiércol a diferente temperatura, se descontó los valores de respiración obtenidos en las incubaciones de estiércol. Los resultados obtenidos se muestran en las siguientes figuras.

La figura 21 muestra los resultados correspondientes al ensayo con paja triturada.

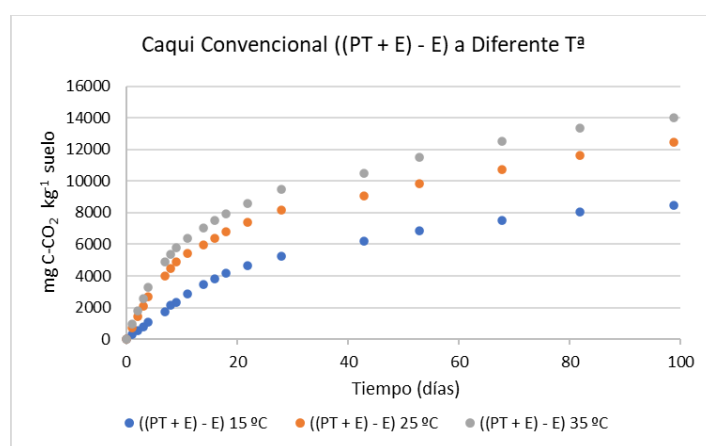


Figura 21. Respiración acumulada procedente de la paja de arroz triturada en el tratamiento de paja triturada + estiércol, expresado como mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo.

El ensayo de incubación a 35 °C muestra una respiración acumulada de la paja mayor que el resto de tratamientos, alcanzando un total de 14029 mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo. Le sigue el ensayo

a 25 °C y por último la incubación a 15 °C, registrando unos valores de 12461 y 8455 mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo respectivamente.

La figura 22 muestra los resultados correspondientes al ensayo con paja no triturada.

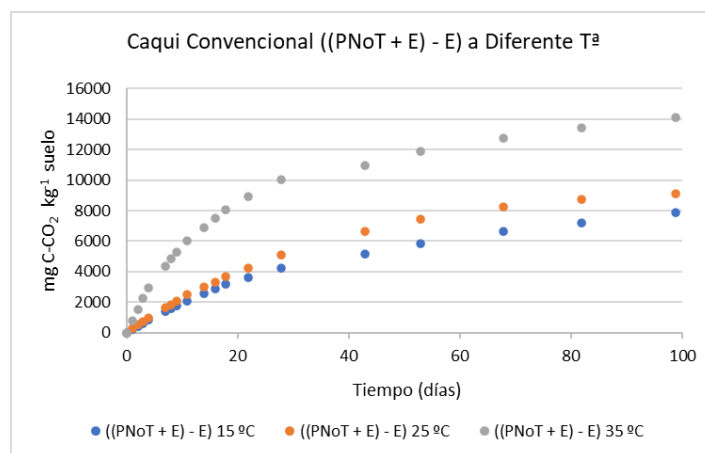


Figura 22. Respiración acumulada procedente de la paja de arroz no triturada en el tratamiento de paja no triturada + estiércol, expresado como mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo.

Los valores de respiración acumulada para la paja no triturada son mayores en la incubación realizada a 35 °C, obteniendo un total de 14092 mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo, muy similar que para el ensayo de paja triturada a la misma temperatura de incubación. En el caso del ensayo a 25 °C, los valores registrados para la paja no triturada son muy inferiores en comparación con los obtenidos para el ensayo de paja triturada, obteniendo un total de 9117 mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo. Finalmente, el ensayo a 15 °C muestra unos valores similares a los registrados en el ensayo de paja triturada a dicha temperatura, siendo también ligeramente inferiores (7854 mg C-CO₂ kg⁻¹ suelo).

En definitiva, podemos afirmar que el triturado de la paja de arroz presenta una mineralización del carbono mayor a una temperatura de 15 y 25 °C, mientras que con una temperatura de 35 °C, los valores son semejantes tanto para la paja triturada como la paja sin triturar.

4.6. Cantidad de carbono mineralizado en las incubaciones.

Para calcular la cantidad de carbono que se ha mineralizado respecto al total de carbono aportado con la paja de arroz consideramos que, por cada 100 g de paja añadida se aportan 45,41 g de carbono (Huang y col., 2011). Teniendo en cuenta que para los ensayos de incubación en los diferentes tratamientos se añadieron 1,5 g de paja de arroz y 20 g de suelo, se añadió un total de 34,06 g C kg⁻¹ suelo. Para los ensayos de incubación en los que únicamente se aportó paja de arroz la cantidad de C aportada fue 454,1 g C kg⁻¹ paja. A partir de esta información y de los resultados de respiración acumulada obtenidos en los ensayos de incubación podemos obtener el porcentaje de carbono mineralizado en cada tratamiento.

4.6.1. Cantidad de carbono mineralizado en las incubaciones de residuo orgánico.

La Tabla 8 muestra la cantidad de carbono mineralizado tras la incubación de la paja de arroz a 25 °C durante un periodo de 133 días y el porcentaje mineralizado respecto al total añadido.

Tabla 8. Cantidad de carbono mineralizado y porcentaje de C mineralizado respecto al total aportado a los 133 días de incubación.

Residuo Orgánico	g C mineralizado	% C mineralizado
Paja Triturada	109,21	24,05
Paja No Triturada	123,82	27,27

Para la paja triturada la mineralización del carbono fue del 24,05 % respecto al total aportado, mientras que para la paja no triturada se mineralizó el 27,27 %.

4.6.2. Cantidad de carbono mineralizado en los tratamientos realizados

La Tabla 9 recoge los resultados obtenidos para la mineralización del carbono procedente de la paja de arroz en los tratamientos de incubación a 25 °C durante un periodo de 190 días.

Tabla 9. Cantidad de carbono mineralizado procedente de la paja de arroz en los tratamientos realizados y porcentaje de C mineralizado respecto al total aportad a los 190 días de incubación.

Tratamiento	Parcela	g C mineralizado	% C mineralizado
Paja Triturada (PT)	A1. Caqui Ecológico	13,83	40,60
	A2. Caqui Convencional	13,02	38,22
	A3. Cítrico Ecológico	13,59	39,91
	A4. Cítrico Convencional	14,27	41,89
Paja Triturada + Nitrógeno (PT + N)	A1. Caqui Ecológico	13,74	40,33
	A2. Caqui Convencional	14,00	41,10
	A3. Cítrico Ecológico	12,83	37,68
	A4. Cítrico Convencional	12,94	38,00
Paja No Triturada (PNoT)	A1. Caqui Ecológico	13,98	41,04
	A2. Caqui Convencional	13,90	40,80
	A3. Cítrico Ecológico	13,31	39,08
	A4. Cítrico Convencional	13,23	38,84
Paja No Triturada + Estiércol ((PnoT + E) – E)	A1. Caqui Ecológico	14,18	41,62
	A2. Caqui Convencional	12,00	35,24
	A3. Cítrico Ecológico	12,55	36,85
	A4. Cítrico Convencional	12,86	37,76

El tratamiento en el que se produjo una mayor mineralización de carbono fue el de paja triturada, con un valor promedio de 41,16 % de C mineralizado respecto al total aportado. La mineralización fue superior en este ensayo debido al contacto directo de la paja de arroz con el suelo. El segundo tratamiento en el que se produjo una mayor mineralización del carbono fue el ensayo con paja no triturada, obteniendo un valor de 39,94 % respecto al total aportado. El tratamiento de paja triturada junto con nitrógeno presenta una mineralización del carbono ligeramente menor, con un valor promedio de 39,28 % respecto al total aportado. Por último, el tratamiento con un porcentaje más bajo de C mineralizado fue el tratamiento de paja no triturada junto con estiércol, obteniendo un 37,87 % de C mineralizado respecto al total aportado con la paja de arroz.

4.6.3. Cantidad de carbono mineralizado en los tratamientos a diferente temperatura y humedad

La Tabla 10 muestra los resultados obtenidos para la mineralización de carbono en las incubaciones de paja de arroz a diferente temperatura y humedad durante un periodo de 99 días.

Tabla 10. Cantidad de carbono mineralizado en las incubaciones de paja de arroz a diferente temperatura y humedad y porcentaje de C mineralizado respecto al total aportado a los 99 días de incubación.

Residuo orgánico	Condiciones	g C mineralizado	% C mineralizado
Paja No Triturada	15 °C + 1 mL	58,13	12,80
Paja No Triturada	15 °C + 2 mL	74,40	16,38
Paja No Triturada	25 °C + 1 mL	104,60	23,03
Paja No Triturada	25 °C + 2 mL	123,95	27,30
Paja No Triturada	35 °C + 1 mL	89,80	19,78
Paja No Triturada	35 °C + 2 mL	146,88	32,35

El ensayo en el que se produjo una mayor mineralización de la paja de arroz fue para la incubación a 35 °C junto con 2 mL de agua (32,35 %). Le siguen los ensayos a 25 °C, con una mineralización de 27,30 % para el aporte de 2 mL de agua y un 23,03 % en el que se aportó 1 mL de agua. El ensayo a 35 °C con solo 1 mL de agua muestra una mineralización más baja (19,78 %), posiblemente debido a que parte del agua se pierde por evaporación al incrementar la temperatura, condensando en las paredes del matraz. Por último los valores más bajos son para los tratamientos a 15 °C, siendo mayor la respiración para el aporte de 2 mL de agua (16,38 %) que para el aporte de 1 mL (12,80 %). En estos ensayos se cumple que el aumento de la temperatura de incubación y la humedad aportada en niveles óptimos supone un incremento en la actividad microbiana.

La Tabla 11 muestra la cantidad de carbono mineralizado procedente de la paja de arroz en los tratamientos a diferente temperatura.

Tabla 11. Cantidad de carbono mineralizado procedente de la paja de arroz en los tratamientos a diferente temperatura y porcentaje mineralizado respecto al total aportado a los 99 días de incubación.

Tratamiento	Condiciones	g C mineralizado	% C mineralizado
Caqui Convencional ((PT + E) – E)	15 °C	8,46	24,82
	25 °C	12,46	36,59
	35 °C	14,03	41,19
Caqui Convencional ((PNoT + E) – E)	15 °C	7,85	23,06
	25 °C	9,13	26,80
	35 °C	14,09	41,38

Para el tratamiento de paja triturada junto con estiércol se observa una mayor mineralización del carbono a 35 °C, con un total del 41,19 % respecto al total de carbono aportado con la paja de arroz. Le sigue el tratamiento a 25 °C con un 36,59 % del carbono mineralizado y para el ensayo a 15 °C los resultados fueron inferiores, con un 24,82 % mineralizado.

En cuanto a los ensayos de paja no triturada, en la incubación a 35 °C la mineralización del C fue superior al resto de ensayos, con un total de 41,38 % respecto al total de carbono aportado. Del mismo modo que el tratamiento anterior, la incubación a 25 °C presenta mayor mineralización que para el ensayo a 15 °C, obteniendo un 26,80 y 23,06 % respectivamente.

La mineralización del carbono en el ensayo a 35 °C fue similar tanto para la paja triturada como para la paja no triturada, pero en el caso de los ensayos a 15 y 25 °C la mineralización del C fue superior para la paja triturada.

4.7. Modelización de la cinética de mineralización del C

La modelización de la mineralización del C se realizó aplicando el modelo cinético de primer orden descrito anteriormente. En el caso de los residuos orgánicos utilizados, la modelización se realizó para un periodo de 133 días, mientras que en los diferentes tratamientos y en los

ensayos bajo diferentes condiciones de temperatura y humedad el periodo fue de 190 y 99 días respectivamente. Tras la modelización de la cinética de mineralización del C se registraron los resultados obtenidos para el carbono potencialmente mineralizable (C_0) y la tasa de mineralización (k) en los diferentes ensayos de incubación.

4.7.1. Cinética de mineralización del C en los residuos orgánicos utilizados

La Tabla 12 muestra los resultados obtenidos al aplicar el modelo cinético de primer orden para la mineralización del carbono en los residuos orgánicos utilizados.

Tabla 12. Cinética de mineralización del carbono de las materias orgánicas utilizadas.

Residuo Orgánico	Parcela	C_0 (g C-CO ₂ kg ⁻¹ estiércol)	k (día ⁻¹)
Estiércol	A1. Caqui Ecológico	19,1420	0,0147
	A2. Caqui Convencional	18,8020	0,0127
	A3. Cítrico Ecológico	20,3320	0,0159
	A4. Cítrico Convencional	31,0940	0,0262
Residuo Orgánico	Condiciones	C_0 (g C-CO ₂ kg ⁻¹ paja)	k (día ⁻¹)
Paja de Arroz	Paja Triturada	99,6520	0,0305
	Paja No Triturada	109,5210	0,0383

El estiércol aplicado en la parcela de cítrico ecológico presenta unos valores de respiración mucho mayores al resto, con una mineralización del carbono más rápida, por lo que los resultados obtenidos con la aplicación del modelo muestran un mayor contenido de carbono potencialmente mineralizable (31,094 g C-CO₂ kg⁻¹ estiércol) y una tasa de mineralización más elevada (0,0262 día⁻¹). Para el resto de estiércoles la cantidad de C_0 obtenida se encuentra entre 20,332 y 18,802 g C-CO₂ kg⁻¹ estiércol, con una tasa de mineralización entre 0,0159 y 0,0127 día⁻¹. Observando los resultados obtenidos, se cumple que los estiércoles con una respiración acumulada mayor presentan un contenido de carbono potencialmente mineralizable superior y una tasa de mineralización más elevada.

En cuanto a la paja de arroz, se obtuvo una respiración acumulada mayor en las incubaciones de paja no triturada que en los ensayos con paja triturada. Los resultados tras la aplicación del modelo para la mineralización del carbono en la paja no triturada muestran un contenido de carbono potencialmente mineralizable mayor (109,521 g C-CO₂ kg⁻¹ paja) y una tasa de mineralización superior (0,0383 d⁻¹). Para la paja de arroz triturada los resultados de carbono potencialmente mineralizable obtenidos fueron 99,652 g C-CO₂ kg⁻¹ paja, con una tasa de mineralización de 0.0383 d⁻¹.

4.7.2. Cinética de mineralización del C en los tratamientos realizados

En la Tabla 13 se recogen los resultados obtenidos tras la aplicación del modelo cinético de primer orden para la mineralización del carbono en los tratamientos realizados.

Tabla 13. Cinética de mineralización del carbono en los tratamientos realizados.

Tratamiento	Parcela	C ₀ (g C-CO ₂ kg ⁻¹ suelo)	k (día ⁻¹)
Suelo Control	A1. Caqui Ecológico	0,8081	0,0155
	A2. Caqui Convencional	0,6100	0,0140
	A3. Cítrico Ecológico	0,3789	0,0180
	A4. Cítrico Convencional	0,2285	0,0146
Paja Triturada (PT)	A1. Caqui Ecológico	13,7411	0,0142
	A2. Caqui Convencional	11,9976	0,0185
	A3. Cítrico Ecológico	13,3867	0,0142
	A4. Cítrico Convencional	13,3868	0,0188
Paja Triturada + Nitrógeno (PT + N)	A1. Caqui Ecológico	13,0119	0,0258
	A2. Caqui Convencional	13,2211	0,0228
	A3. Cítrico Ecológico	12,3631	0,0211
	A4. Cítrico Convencional	12,6305	0,0225
Paja No Triturada (PNoT)	A1. Caqui Ecológico	12,8416	0,0203
	A2. Caqui Convencional	12,8790	0,0210
	A3. Cítrico Ecológico	12,1710	0,0200
	A4. Cítrico Convencional	11,9861	0,0214
Paja No Triturada + Estiércol (PNoT + E)	A1. Caqui Ecológico	16,9186	0,0208
	A2. Caqui Convencional	14,3008	0,0217
	A3. Cítrico Ecológico	15,2764	0,0203
	A4. Cítrico Convencional	17,6936	0,0235
Paja No Triturada + Estiércol ((PNoT + E) – E)	A1. Caqui Ecológico	12,7252	0,0271
	A2. Caqui Convencional	10,6424	0,0256
	A3. Cítrico Ecológico	11,3415	0,0222
	A4. Cítrico Convencional	11,6690	0,0209

Para las incubaciones de suelo se obtuvo un contenido de carbono potencialmente mineralizable superior en la parcela de caqui ecológico con un total de 0,8081 g C-CO₂ kg⁻¹ suelo y una tasa de mineralización de 0,0155 d⁻¹. En segundo lugar, se encuentra la parcela de caqui convencional con una cantidad C₀ de 0,6100 g C-CO₂ kg⁻¹ suelo y una tasa de mineralización de 0,0140 d⁻¹. Para las parcelas de cítrico ecológico y cítrico convencional el contenido de C₀ fue de 0,3789 y 0,2285 g C-CO₂ kg⁻¹ suelo respectivamente, siendo mayor la tasa de mineralización en la parcela de cítrico ecológico (0,0180 d⁻¹) que para la parcela de cítrico convencional (0,0146 d⁻¹).

Para los tratamientos de paja triturada se obtuvo una cantidad de carbono potencialmente mineralizable similar, con un valor promedio de 13,1281 g C-CO₂ kg⁻¹ suelo y una tasa de mineralización media de 0,0164 d⁻¹. En el tratamiento en el que se incorporó paja triturada junto con nitrógeno se obtuvo un valor de C₀ promedio de 12,8066 g C-CO₂ kg⁻¹ suelo. Los resultados muestran que el aporte de nitrógeno a la paja triturada supone un incremento de la tasa de mineralización, obteniendo valores superiores con un promedio de 0,0231 d⁻¹.

En el tratamiento de paja no triturada se obtuvo un promedio de C₀ de 12,4694 g C-CO₂ kg⁻¹ suelo, con una tasa de mineralización media de 0,0207 d⁻¹. El aporte de estiércol junto con paja no triturada provocó una mayor respiración acumulada en los ensayos de incubación debido al mayor contenido de residuo orgánico, por lo que los resultados para el carbono potencialmente mineralizable fueron superiores, obteniendo un promedio de 16,0474 g C-CO₂ kg⁻¹ suelo, con una tasa de mineralización media de 0,0216 d⁻¹. Para conocer los resultados correspondientes a la paja de arroz en el tratamiento de paja no triturada junto con estiércol se descontó la respiración acumulada obtenida en los ensayos de incubación de estiércol por separado. Posteriormente se aplicó el modelo para la mineralización del carbono obteniendo una cantidad C₀ de 11,5945 g C-CO₂ kg⁻¹ suelo y una tasa de mineralización de 0,0234 d⁻¹, superior al resto de los tratamientos.

4.8. Contenido de nitrógeno mineral en las incubaciones

Se midió tanto al inicio de la incubación como al final el contenido de amonio y nitrato con la finalidad de determinar en cada tratamiento el incremento neto de N mineral producido durante el ensayo.

4.8.1. Contenido de nitrógeno mineral en los tratamientos realizados

La Figura 23 muestra los resultados obtenidos en la determinación de nitrógeno amoniacal contenido en el suelo en los diferentes tratamientos incubados a 25 °C durante un periodo de 190 días.

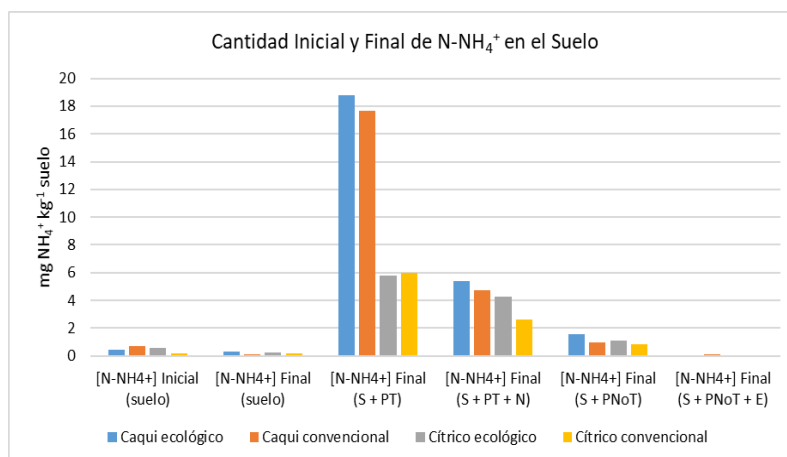


Figura 23. Cantidad inicial y final de nitrógeno amoniacal en el suelo en los tratamientos realizados.

Inicialmente el contenido de amonio en los suelos de las parcelas estudiadas se encuentra entre 0,20 y 0,69 mg N-NH₄⁺ kg⁻¹ suelo. Para el ensayo de incubación de suelo y suelo junto con paja no triturada y estiércol, se observa una disminución de la cantidad de amonio en las cuatro parcelas, siendo mayor el descenso en este último tratamiento (S + PNoT + E). En el resto de ensayos se observa un incremento de la cantidad de amonio, siendo mayor para los tratamientos de suelo junto con paja triturada en los que se obtuvieron valores muy elevados para la parcela de caqui ecológico y caqui convencional, 18,81 y 17,65 mg N-NH₄⁺ kg⁻¹ suelo respectivamente. El siguiente tratamiento en el que se obtuvieron valores mayores de amonio tras la incubación fue en el que se incorporó al suelo paja triturada junto con nitrógeno (KNO₃), obteniendo valores que oscilan entre 5,38 y 2,63 mg N-NH₄⁺ kg⁻¹ suelo. Por último, para el tratamiento de suelo junto con paja no triturada el incremento de amonio fue mucho menor, obteniendo valores entre 1,58 y 0,85 mg N-NH₄⁺ kg⁻¹ suelo.

En la Figura 24 se muestra los resultados obtenidos en la determinación de nitrógeno nítrico contenido en el suelo en los tratamientos incubados a 25 °C durante 190 días.

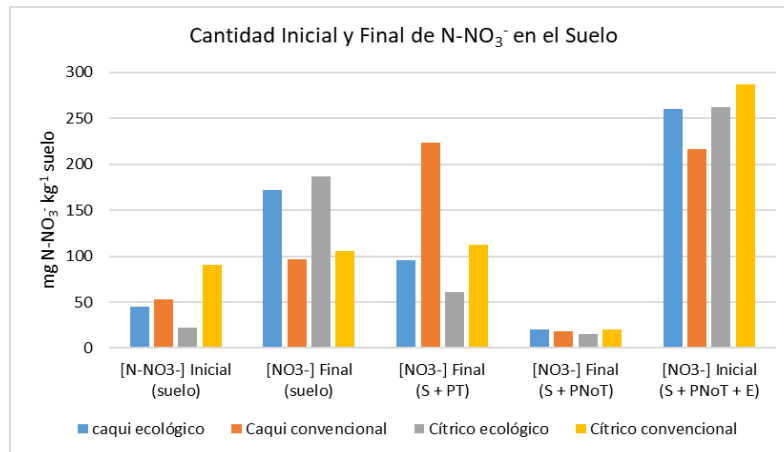


Figura 24. Cantidad inicial y final de nitrógeno nítrico en el suelo en los tratamientos realizados.

La cantidad inicial de nitrógeno nítrico en los suelos de las cuatro parcelas se encuentra entre 22,25 y 90,35 mg N-NO₃⁻ kg⁻¹ suelo. Tras finalizar la incubación durante 190 días, los resultados muestran un incremento del contenido de nitrógeno nítrico en todos los tratamientos a excepción de aquellos en los que se incorporó suelo con paja no triturada y suelo junto con paja triturada y aporte de nitrógeno. El tratamiento en el que se produjo un mayor incremento del contenido de nitrato fue para el ensayo de incubación en el que se aportó suelo junto con paja no triturada y estiércol, debido a la mineralización del nitrógeno contenido en el residuo orgánico incorporado, obteniendo valores entre 1194,33 y 1004,27 mg N-NO₃⁻ kg⁻¹ suelo. Para el ensayo de incubación de suelo se produjo un gran aumento del contenido de nitrato en las parcelas de cítrico convencional y caqui ecológico, registrando 186,86 y 171,57 mg N-NO₃⁻ kg⁻¹ suelo respectivamente, mientras que para las parcelas con un sistema de cultivo convencional el incremento fue menor. En el caso del tratamiento de suelo junto con paja triturada, para la parcela de caqui convencional se obtuvo un valor de 223,42 mg N-NO₃⁻ kg⁻¹ suelo. En el resto de parcelas el incremento no fue tan notable, obteniendo valores que oscilan entre 112,58 y 60,59 mg N-NO₃⁻ kg⁻¹ suelo. Por último, para el tratamiento de paja no triturada se produjo una inmovilización del nitrógeno nítrico contenido en el suelo, obteniendo valores inferiores a los iniciales que oscilan entre 16,41 y 20,61 mg N-NO₃⁻ kg⁻¹ suelo.

La Figura 25 muestra la cantidad inicial y final de nitrógeno nítrico en el suelo en los tratamientos de suelo junto con paja triturada y aporte de nitrógeno incubados a 25 °C durante un periodo de 190 días.

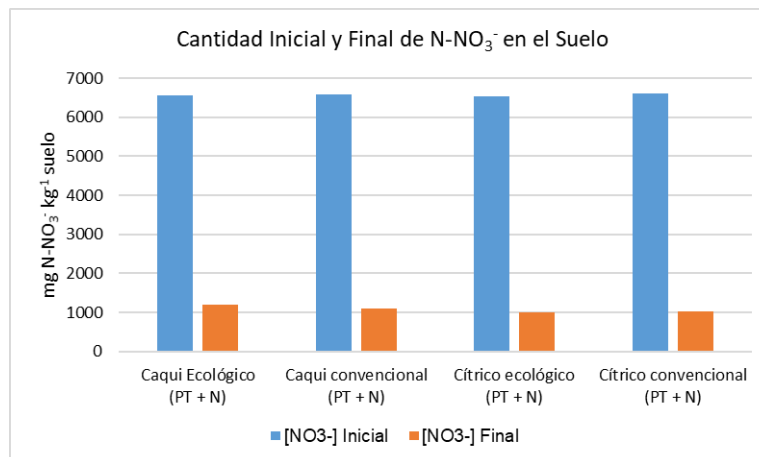


Figura 25. Cantidad inicial y final de nitrógeno nítrico en el suelo para el tratamiento de paja triturada + N.

En este tratamiento se aportaron a cada matraz 2 mL de una disolución de nitrato potásico (KNO_3) 1,05 M, de manera que la cantidad inicial de nitrógeno nítrico en el suelo es superior al resto de los ensayos, oscilando entre 6544 y 6612 $\text{mg N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$ suelo. En todas las parcelas se produjo una disminución de la cantidad de nitrato similar, obteniendo unos valores entre 1000 y 1189 $\text{mg N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1}$ suelo.

4.8.2. Contenido de nitrógeno mineral en los tratamientos a diferente temperatura

En la Figura 26 podemos observar los resultados obtenidos en la determinación de nitrógeno amoniacal contenido en el suelo en los tratamientos incubados a diferente temperatura (15, 25 y 35 °C) durante un periodo de 99 días.

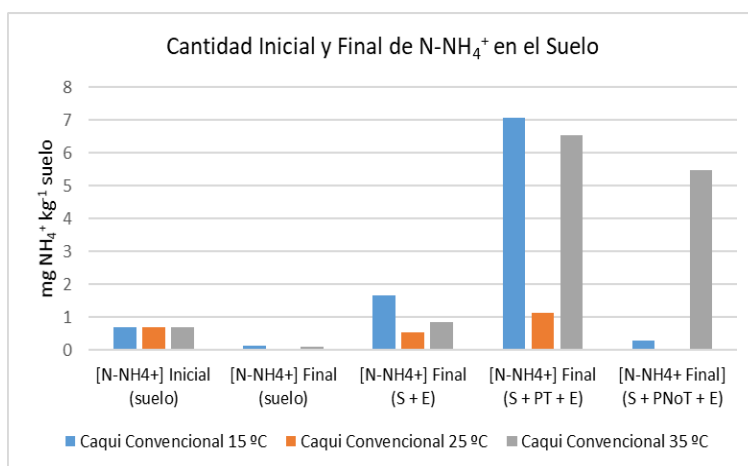


Figura 26. Cantidad inicial y final de nitrógeno amoniacal en el suelo en las incubaciones a diferente temperatura.

La determinación de nitrógeno amoniacal contenido inicialmente en el suelo de la parcela de caqui convencional es de 0,69 $\text{mg N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1}$ suelo. En las incubaciones de suelo a 15 y 35 °C se observa una reducción del contenido de amonio al finalizar el periodo de estudio, registrando valores de 0,13 $\text{mg N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1}$ suelo para el ensayo a 15 °C y 0,12 $\text{mg N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1}$ suelo para el ensayo a 35 °C. Para el ensayo de suelo con estiércol los resultados fueron variables, de manera que para la incubación a 15 y 35 °C se observa un aumento de la cantidad de amonio, mientras que para el ensayo a 25 °C se redujo el contenido. En el caso del tratamiento de paja triturada junto con estiércol se observa un gran incremento de nitrógeno amoniacal en las incubaciones a 15 y 35 °C, registrando valores de 7,07 y 6,54 $\text{mg N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1}$ suelo respectivamente, a diferencia del ensayo a 25 °C donde el incremento fue mínimo. Finalmente, para el tratamiento de paja no triturada junto con estiércol, se produjo inmovilización de nitrógeno amoniacal en el ensayo a 15 °C, disminuyendo el contenido a 0,29 $\text{mg N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1}$ suelo, mientras que para la incubación a 35 °C se incrementó el contenido hasta 5,49 $\text{mg N-NH}_4^+ \text{ kg}^{-1}$ suelo.

La Figura 27 muestra los resultados obtenidos en la determinación de nitrógeno nítrico contenido en el suelo en los tratamientos a diferente temperatura.

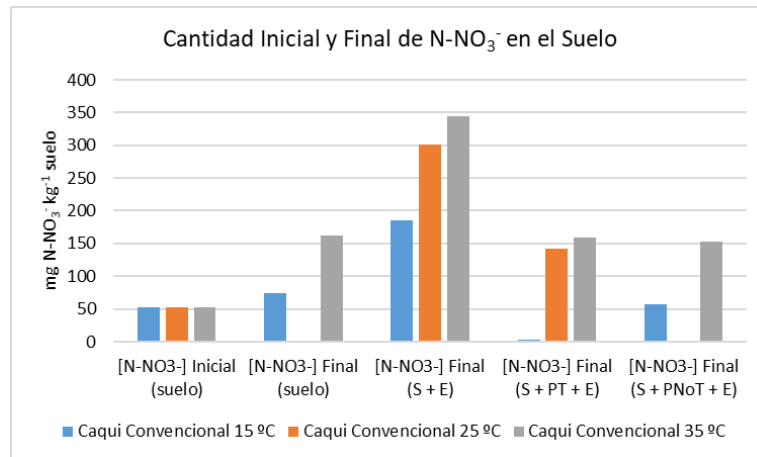


Figura 27. Cantidad inicial y final de nitrógeno nítrico en el suelo en las incubaciones a diferente temperatura.

Inicialmente, los resultados obtenidos en la determinación de nitrógeno nítrico contenido en el suelo de la parcela de caqui convencional fueron $52,65 \text{ mg N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1} \text{ suelo}$. Se produjo un incremento de la cantidad de nitrato en todos los tratamientos tras finalizar el periodo de incubación excepto para el ensayo de suelo junto con paja triturada y estiércol a $15 \text{ }^\circ\text{C}$, en el que se redujo la cantidad. La incubación de suelo a $15 \text{ }^\circ\text{C}$ presenta un menor incremento del contenido de nitrato que para la incubación a $35 \text{ }^\circ\text{C}$, obteniendo valores finales de $74,54$ y $161,85 \text{ mg N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1} \text{ suelo}$ respectivamente. Para los tratamientos de suelo junto con estiércol el incremento de la cantidad de nitrógeno nítrico fue superior al resto de tratamientos debido a que se aportó mayor cantidad de residuo orgánico y por tanto la mineralización fue mayor. La cantidad de nitrato oscila entre $184,57$ y $343,69 \text{ mg N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1} \text{ suelo}$, siendo más elevados los valores para las incubaciones a mayor temperatura. En el caso de los tratamientos de suelo junto con paja triturada y estiércol, se produjo una inmovilización de nitrato en la incubación a $15 \text{ }^\circ\text{C}$, en cambio para los ensayos a 25 y $35 \text{ }^\circ\text{C}$ se produjo un incremento en el contenido de nitrato en el suelo, obteniendo valores de $142,45 \text{ mg N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1} \text{ suelo}$ a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ y $158,72 \text{ mg N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1} \text{ suelo}$ a $35 \text{ }^\circ\text{C}$. Por último, en el tratamiento de suelo junto con paja no triturada y estiércol el contenido de nitrato aumento ligeramente en el ensayo a $15 \text{ }^\circ\text{C}$, alcanzando $57,20 \text{ mg N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1} \text{ suelo}$ en cambio para la incubación a $35 \text{ }^\circ\text{C}$ el incremento fue mucho mayor, obteniendo $157,73 \text{ mg N-NO}_3^- \text{ kg}^{-1} \text{ suelo}$.

5. CONCLUSIONES

1) La caracterización de los suelos utilizados en este trabajo muestra diferencias en las propiedades físicas y químicas que podrían afectar a los procesos que se lleven a cabo en el suelo. Los suelos de los campos bajo sistema de cultivo ecológico tienen una clase textural franco arenoso, presentando un mayor contenido en arena y menor contenido en arcilla, mientras que los dos suelos bajo sistema convencional presentan una clase textural franca. En relación a la materia orgánica, el suelo obtenido de la parcela de caqui con cultivo ecológico presenta un contenido que prácticamente cuadruplica el valor de los otros suelos y tiene consecuentemente una menor densidad aparente. También presentó este suelo un mayor contenido en carbono orgánico soluble en agua que es una fracción lábil y por tanto más susceptible para ser mineralizado. El suelo con estas características es el que presentó una mayor mineralización del carbono orgánico del suelo.

En relación a los ensayos de incubación se han obtenido las siguientes conclusiones:

2) Los estiércoles que se ha utilizado en los experimentos presentaron contenidos en carbono orgánico total distintos, siendo el estiércol correspondiente a la parcela de cítricos en sistema de cultivo convencional el que presentó un mayor contenido y presentando este último una mayor mineralización del carbono orgánico de este material, llegando a ser la masa de carbono mineralizado a los 133 días $0,031 \text{ g C-CO}_2 \text{ g}^{-1}$ estiércol. Sin embargo, los otros tres estiércoles presentaron una mineralización del carbono semejante.

3) En relación a la paja de arroz incubada a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ triturada y sin triturar con agua, se observó que la paja sin triturar presentó una ligera mayor mineralización del carbono orgánico de este material, llegando a ser el carbono mineralizado a los 133 días $0,124 \text{ g C-CO}_2 \text{ g}^{-1}$ paja. La respiración acumulada de la paja de arroz triturada y sin triturar fue muy superior a los valores registrados en las incubaciones de los diferentes estiércoles, posiblemente debido a los microorganismos como los hongos que se desarrollan en la paja de arroz en condiciones de humedad y temperatura adecuadas para su desarrollo, como fueron los de los ensayos.

4) La adición de la cubierta de paja conllevó un incremento de la respiración en todos los tratamientos estudiados. Sin embargo, los resultados fueron diferentes según se utilizara paja triturada y sin triturar y según el suelo empleado en las incubaciones. En las incubaciones con el suelo obtenido de una parcela de cítricos en cultivo convencional la mineralización acumulada del carbono orgánico fue mayor con paja triturada que con paja no triturada. Sin embargo, para las otras tres incubaciones fue al contrario. Se observó una mayor diferencia entre los distintos suelos en el carbono mineralizado a lo largo del tiempo para las incubaciones con paja triturada. El porcentaje medio de C mineralizado respecto al añadido con la paja fue del $41,16 \%$ en el tratamiento con paja triturada, del $39,94 \%$ en el de paja triturada con adición de N mineral y del $39,28 \%$ en el caso de la paja no triturada.

5) En relación al carbono mineralizado en los tratamientos de paja triturada con adición de N mineral, la cantidad de C mineralizado fue menor en el caso del suelo obtenido de una parcela de cítricos en cultivo convencional en relación al tratamiento de suelo con paja triturada, esto podría significar que debido a que la concentración añadida en un único momento fue elevada pudo afectar a la población microbiana inicia. Sin embargo, se observó lo contrario para los suelos obtenidos de parcelas de caqui donde la adición de N mineral conllevó un aumento de la respiración.

6) En los tratamientos de suelo con paja de arroz no triturada y estiércol, los valores más elevados de carbono mineralizado corresponde a la parcela de cítrico convencional, coincidiendo con que el estiércol incorporado también presentó una respiración acumulada superior al resto cuando se incubo solo el estiércol con agua.

7) De los ensayos llevados a cabo para estudiar el efecto de la temperatura en la mineralización del carbono se concluye el gran efecto de la temperatura, obteniéndose en todos los ensayos valores superiores en las incubaciones a $35 \text{ }^\circ\text{C}$. Para las incubaciones de suelo junto con paja triturada y estiércol, a una temperatura de $15 \text{ }^\circ\text{C}$ se registró una mineralización del carbono de $24,82 \%$ respecto al total aportado, mientras que para una temperatura de 25 y $35 \text{ }^\circ\text{C}$ se obtuvieron unos valores de $36,59$ y $41,19 \%$ respectivamente.

8) En cuanto a la modelización de la cinética de mineralización del carbono, el aporte de nitrógeno a los tratamientos de paja triturada supuso un incremento en la tasa de mineralización del carbono, obteniendo un valor promedio de $0,0231 \text{ d}^{-1}$, mientras que para la paja triturada sin aporte de nitrógeno se registró una tasa de mineralización media de $0,0164 \text{ d}^{-1}$.

9) Los cuatro suelos presentaron un bajo contenido en nitrógeno amoniacal antes de incubarse como al final de la incubación (190 días). Sin embargo, se observó una mayor producción de nitrógeno amoniacal tras 190 días de incubación de suelo con paja triturada. En el caso de los nitratos al cabo de 190 días de incubación el contenido fue mayor en todos los tratamientos y para los cuatro suelos salvo para el tratamiento suelo con paja no triturada. Se observó en todos los tratamientos en los que se adicionó nitrógeno mineral una inmovilización de este, lo cual era de esperar teniendo en cuenta la alta relación C/N de la paja de arroz.

6. BIBLIOGRAFIA

Adnan, M., Asif, M., Khalid, M., Abbas, B., Hayyat, M.S., Raza, A., Khan, B.A., Hassan, M., Khan, M.A.B, Hanif, M.S. 2020. Role of mulches in agriculture: A review. *International Journal of Botany Studies*, 5(3), 309-314.

Agroambient.GVA. 2018. El Consell consensua con el sector arrocero un plan con soluciones alternativas para la gestión de la paja hasta 2021. <http://www.agroambient.gva.es/es/inicio/area_de_prensa/not_detalle_area_prensa?id=764509> [Consulta: 12/03/2019]

Benintende, S., Sánchez, C. 2000. Microorganismos del suelo. Universidad Nacional de Entre. <http://www2.fca.uner.edu.ar/files/academica/deptos/catedras/microbiologia/parte_de_unidad_es_10_y_11_microorganismos_del_suelo.pdf> [Consulta: 18/03/2020].

Campbell, C.A., Zentner, R.P. 1993. Soil organic matter as influenced by crop rotations and fertilization. *Soil Science Society of America Journal*, 57(4), 1034-1040.

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

Cook, B.D., Allan, D.L. 1992. Dissolved organic carbon in old field soils: total amounts as a measure of available resources for soil mineralization. *Soil Biology and Biochemistry*, 24(6), 585-594.

Domínguez-Escribá, L., Porcar, M. 2010. Rice straw management: the big waste. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 4(2), 154-159.

FAO. 2004. El arroz es vida. <<http://www.fao.org/rice2004/es/rice-us.htm>> [Consulta: 18/03/2020].

FAO. 2011. *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. La gestión de los sistemas en situación de riesgo*. FAO, Roma, y Mundi-Prensa, Madrid. <<http://www.fao.org/3/a-i1688s.pdf>> [Consulta: 19/03/2020].

FAO. 2018. Seguimiento del mercado del arroz de la FAO. <<http://www.fao.org/3/I9243ES/i9243es.pdf>> [Consulta: 19/03/2020].

FAO. 2020 a. Propiedades físicas del suelo. <<http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>> [Consulta: 24/03/2020]

FAO. 2020 b. Propiedades químicas. <<http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>> [Consulta 24/03/2020]

FAOSTAT. 2017 y 2018. < <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC> > [Consulta: 19/03/2019].

Franquet, J.M., Borrás, C. 2004. Variedades y mejora del arroz (*oryza sativa*, L.) (Vol. 2). < <http://e-spacio.uned.es/fez/view/bibliuned:UNEDCentroAsociadoTortosa-Libros-5025>> [Consulta 20/03/2020].

Fu, X., Wang, J., Xie, M., Zhao, F., & Doughty, R. 2020. Increasing temperature can modify the effect of straw mulching on soil C fractions, soil respiration, and microbial community composition. *PloS one*, 15(8), e0237245.

Gabriels, D., Lobo, D. 2011. Métodos para determinar granulometría y densidad aparente del suelo. *Venesuelos*, 14(1), 37-48.

García, A., Morón, A. 1992. Estudios de C, N y P en la biomasa microbiana del suelo en tres sistemas de rotación agrícola. *Revista INIA de Investigaciones Agronómicas*, 1, 111-126.

Gisbert Blanquer, J. M., Ibañez Asensio, S., Moreno Ramón, H. 2010. La textura del suelo. Riunet. UPV.

Huang, Y.F., Kuan, W.H., Lo, S.L., Lin, C.F. 2008. Total recovery of resources and energy from rice straw using microwave-induced pyrolysis. *Bioresource technology*, 99(17), 8252-8258.

Iranzo, M., Canizares, J. V., Roca-Perez, L., Sainz-Pardo, I., Mormeneo, S., Boluda, R. 2004. Characteristics of rice straw and sewage sludge as composting materials in Valencia (Spain). *Bioresource Technology*, 95(1), 107-112.

Jaramillo, C. X., Lidón, A., Ramos, C. 2015. Mineralización de la gallinaza y de los restos de cosecha en el suelo. Aplicación al cultivo de la coliflor en la Huerta de Valencia. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de Valencia.

Kludze, H. K., DeLaune, R. D. 1995. Straw application effects on methane and oxygen exchange and growth in rice. *Soil Science Society of America Journal*, 59(3), 824-830.

Llorca, R. (1991). Prácticas de edafología. Editorial Universitat Politècnica de València.

Mandal, K.G., Misra, A.K., Hati, K.M., Bandyopadhyay, K.K., Ghosh, P.K., Mohanty, M. 2004. Rice residue-management options and effects on soil properties and crop productivity. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 2, 224-231.

MAPA. Cultivos Herbáceos e Industriales. Arroz. <<https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/cultivos-herbaceos/arroz/default.aspx>> [Consulta 20/03/2020].

MAPA. 2017. Superficie y Producción de Cultivos. Cereales – Grano – Arroz. <https://www.mapa.gob.es/estadistica/pags/anuario/2018/CAPITULOSPDF/CAPITULO07/pd_fc07_1.7.1.pdf> [Consulta 20/03/2020].

MAPA. 2020. <<https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/cultivos-herbaceos/arroz/default.aspx>> [Consulta 20/03/2020].

Martín, P. 1993. Mineralización del nitrógeno orgánico en suelos tratados con compost de alpechín y vinaza concentrada de melaza de remolacha. Memoria del XXX Curso Internacional de Edafología y Biología Vegetal. < https://digital.csic.es/bitstream/10261/130883/1/Mineralizacion_nitrogeno_organico_suelos1993.pdf> [Consulta 20/03/2020].

Martínez E., Fuentes, J.P., Acevedo E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 8: 68-96.

Nakayama, F.S. 1990. Soil respiration. *Remote Sensing Reviews*, 5(1), 311–321.

Olayinka, A. 2001. Effect of co-applied cowdung and inorganic nitrogen on microbial respiration in soil under laboratory conditions. *Communications in soil science and plant analysis*, 32(19-20), 3229-3242.

Pachés, M.A.V., Martínez, M. R., Aguado, D. 2017. Manual de prácticas de laboratorio. Evaluación de la calidad ambiental. Editorial Universitat Politècnica de València.

Ramírez, R. 1997. Propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos. Santa Fé de Bogotá. < <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6636/1/083.pdf>> [Consulta 20/03/2020].

Ribeiro, H.M., Fangueiro, D., Alves, F., Vasconcelos, E., Coutinho, J., Bol, R., Cabral, F. 2010. Carbon-mineralization kinetics in an organically managed Cambic Arenosol amended with organic fertilizers. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 173(1), 39-45.

Ribo, M., Albiach, R., Pomares, F., Canet, R. 2017. Alternativas de gestión de la paja de arroz en la Albufera de Valencia. *Vida rural*, (430), 56-60.

Sánchez, M.L., Álvarez, F.L., Cantera, C.R., Nieves, M. B. T. 2008. Uso de parámetros microbiológicos edáficos como indicadores del efecto del uso del suelo en el páramo calizo castellano-leonés. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, (25), 273-279.

Schoenholtz, S. H., Van Miegroet, H., Burger, J. A. 2000. A review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. *Forest ecology and management*, 138(1-3), 335-356.

Soam, S., Borjesson, P., Sharma, P. K., Gupta, R. P., Tuli, D. K., Kumar, R. 2017. Life cycle assessment of rice straw utilization practices in India. *Bioresource technology*, 228, 89-98.

Soil Survey Staff. 1999. *Soil Taxonomy: A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys*, second edition. USDA-NRCS Agric. Handbook No: 436. US Government Printing Office, Washington, DC, USA.

Stanford G., Smith S.J. 1972. Nitrogen mineralization potentials of soils. *Soil Science Society of America Journal*, 36, 465–472.

Villalbí, I., Vidal, M. 1988. *Análisis de suelos y foliares. Interpretación y fertilización*. Fundación Caja de Pensiones. Barcelona.

Walkley A., Black I.A. 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-37.

Yakovchenko V.P., Sikora L.J.1998. Modified dichromate method for determining low concentrations of extractable organic carbon in soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 29: 421-433.

Zribi, W., Faci González, J. M., Aragüés Lafarga, R. 2011. Mulching effects on moisture, temperature, structure and salinity of agricultural soils.