

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

**ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA
AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL**



**Uso de la paja de arroz como acolchado en frutales:
efectos sobre la biología, humedad y temperatura del
suelo**

TRABAJO FIN DE GRADO

Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural

Alumna: Rita Segarra Galán

Tutor: Antonio Luis Lidón Cerezuela

Co-tutor: Vicente Castell Zeising

CURSO ACADÉMICO 2019/2020

Valencia – octubre de 2020

RESUMEN

En las zonas agrícolas del área mediterránea es un objetivo prioritario la conservación de suelo y agua, lo que requiere de la adopción de medidas que compatibilicen la consecución de dicho objetivo con la continuidad de la actividad agrícola con adecuadas producciones. Estas medidas hacen referencia al mantenimiento de una adecuada calidad de suelo en los sistemas agrícolas, lo que implica, entre otros factores, alcanzar y mantener un contenido apropiado de materia orgánica, haciendo un aprovechamiento conveniente de los restos de cultivo y/o evitando la rápida descomposición de la materia orgánica del suelo. En ocasiones el aprovechamiento de los residuos de cultivo en el propio sistema no es posible. Es el caso de la paja de arroz, que es uno de los residuos más difíciles de manipular, y cuya gestión en entornos naturales tiene un alto valor ecológico, como es el caso de La Albufera de Valencia, que representa un problema social y medioambiental. Tradicionalmente, el destino final de la paja generada en el cultivo del arroz ha sido la quema, pero esta práctica está cuestionada por los problemas de salud y de contaminación atmosférica que origina en el entorno de las zonas de cultivo. Es preciso buscar alternativas a esta práctica de la quema, y entre ellas se encuentra la retirada de la paja de los campos y su posterior aprovechamiento como acolchado en otros cultivos.

En este contexto de búsqueda de alternativas al problema de la quema de la paja de arroz, se enmarca este Trabajo Final de Grado, que tiene como objetivos evaluar el impacto del uso de la paja del arroz como mulch en frutales, evaluando su efecto sobre la humedad, la temperatura y la biología del suelo. Para ello, se realizaron incubaciones de laboratorio de la paja del arroz con el suelo, y se midió la liberación de CO₂ como indicador de la actividad de los microorganismos. Además, se colocaron sondas capacitivas a distintas profundidades en las parcelas en zonas con paja de arroz y en zonas sin ella, para valorar la influencia de este residuo orgánico sobre la humedad y temperatura del suelo. Los resultados obtenidos muestran que la adición de paja ha supuesto en todos los tratamientos estudiados un incremento de la respiración del suelo, favoreciendo la descomposición la paja triturada, debido al mayor contacto de ésta con el suelo. El porcentaje medio de C mineralizado respecto al añadido con la paja fue del 39.7% en el tratamiento con paja triturada, del 37.4% en el de paja triturada con adición de N mineral y del 33.6% en el caso de la paja no triturada. La adición de N mineral ha puesto de manifiesto que se ha producido inmovilización de N en todos los tratamientos. Se constata un aumento claro de la amplitud térmica en las zonas en las que no hay mulch de paja de arroz, siendo los mayores valores de temperatura máxima de estas zonas los que provocaron las diferencias de amplitud. Sin embargo, se observó un patrón claro de comportamiento respecto la humedad del suelo, aunque en la mayoría de las zonas con mulch la humedad en la capa superficial fue mayor que las zonas sin mulch.

Palabras clave

Paja de arroz, mulch, mineralización, humedad del suelo, temperatura del suelo.

ABSTRACT

In Mediterranean agricultural areas, the soil and water conservation is a priority objective, which requires the adoption of measures that make the achievement compatible with the continuity of agricultural activity with adequate production. These measures refer to the maintenance of adequate soil quality in agricultural systems, which implies, among other factors, achieving and maintaining an appropriate content of organic matter, making a convenient use of crop residues and / or avoiding rapid soil organic matter decomposition. Sometimes crop residues usage in the system itself is not possible. This is the case of rice straw, which is one of the most difficult residues to handle, and whose management in natural environments is of high ecological value, as is the case of La Albufera de Valencia, that represents a social and environmental problem. Traditionally, the fate of rice straw generated in rice growing is to be burned, but this practice is put into doubt by the health problems and air pollution that it originates in the surroundings of the cultivation areas. It is necessary to look for alternatives to this practice of burning, and among them is the rice straw removal from the fields and its subsequent use as mulch in other crops.

In this context of research for alternatives to the problem of burning rice straw is framed this degree thesis, which aims to evaluate the impact of rice straw usage as mulch in fruit trees, evaluating its effect on humidity, temperature and soil biology. For this, laboratory incubations of rice straw with the soil were carried out and the release of CO₂ was measured as a microorganisms' activity indicator. In addition, capacitive probes were placed at different depths in the plots in areas with rice straw and in areas without it, to assess the influence of this organic residue on soil moisture and temperature. The results obtained show that the addition of rice straw has led to an increase in soil respiration in all the studied treatments, favoring decomposition shredded rice straw due to its greater contact with the soil. The average percentage of mineralized C in relation to that added with rice straw was 39.7% in the shredded straw treatment, 37.4% in shredded straw with the addition of mineral N and 33.6% in the case of uncrushed straw. The addition of mineral N has shown that immobilization of N has occurred in all treatments. There is a clear increase in the thermal amplitude in the areas where there is no rice straw mulch, being the highest maximum temperature values in these areas the ones that caused the amplitude differences. However, a clear pattern of behavior in relation to soil moisture was observed, although in most of the mulched areas the moisture in the surface layer was higher than in the areas without mulch.

Keywords

Rice Straw, mulch, mineralization, soil moisture and soil temperature.

AGRADECIMIENTOS

Principalmente a mis padres y hermano, que son lo que más quiero en este mundo y sin ellos no habría llegado hasta aquí, ni sería quien soy. También, agradecer a Antonio Lidón su completa dedicación y tiempo, que para mí son el regalo más valioso que se le puede hacer a alguien. Asimismo, eterna gratitud a Yoana, por estar a mi lado en esos ensayos interminables y hacer que los disfrutase. Igualmente dar las gracias a Vicente, Cristina e Inma por su maravillosa entrega.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Cultivo del arroz	1
1.2	Residuos de cultivo tras la cosecha	1
1.3	Manejos de la paja del arroz	2
1.3.1	Quema de la paja del arroz	4
1.4	Alternativas para el aprovechamiento de la paja de arroz	5
1.5	Efectos del mulch en las propiedades del suelo.	6
1.5.1	Propiedades físicas del suelo.....	6
1.5.2	Propiedades químicas del suelo.....	8
1.5.3	Propiedades biológicas.....	9
2	OBJETIVOS	9
3	MATERIAL Y MÉTODOS	10
3.1	Descripción de la zona de estudio.....	10
3.1.1	Localización	10
3.1.2	Características geológicas y edáficas	10
3.1.3	Climatología.....	11
3.2	Muestreo del suelo y determinaciones analíticas.....	11
3.2.1	pH	12
3.2.2	Conductividad eléctrica.....	12
3.2.3	Textura	13
3.2.4	Densidad aparente	13
3.2.5	Factor de humedad	13
3.2.6	Materia orgánica	13
3.2.7	Carbonatos	14
3.2.8	Carbono orgánico soluble	14
3.2.9	Nitrógeno amoniacal y nítrico	15
3.3	Ensayo de incubación	15
3.4	Cinética de mineralización del carbono	17
3.5	Sondas y dataloggers.....	18
4	RESULTADOS	19
4.1	Caracterización del suelo	19
4.1.1	Caracterización física del suelo	19
4.1.2	Caracterización química del suelo.....	20
4.1.3	Incubación en condiciones controladas de laboratorio	22
4.1.4	Cinética de mineralización del carbono	27

4.1.5	Contenido de nitrógeno mineral en las incubaciones.....	28
4.1.6	Humedad y amplitud térmica del suelo	33
5	CONCLUSIONES	38
6	BIBLIOGRAFÍA.....	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Respiración acumulada, expresada en $\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1}$, durante el período de incubación en las diferentes parcelas en el tratamiento Control.	22
Figura 2.	Respiración acumulada, expresada en $\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1}$, durante el período de incubación en las diferentes parcelas en el tratamiento Paja Triturada.....	23
Figura 3.	Respiración acumulada, expresada en $\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1}$, durante el período de incubación en las diferentes parcelas en el tratamiento Paja Triturada + N.	24
Figura 4.	Respiración acumulada, expresada en $\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1}$ durante el período de incubación en las diferentes parcelas en el tratamiento Paja sin Triturar.	24
Figura 5.	Contenido inicial y final de nitrógeno amoniacal en los diferentes tratamientos de cada parcela estudiada.....	28
Figura 6.	Contenido inicial y final de nitrógeno nítrico en los diferentes tratamientos de cada parcela estudiada.	30
Figura 7.	Variación neta de nitrógeno nítrico en el tratamiento de Suelo + Paja triturada + N en cada una de las cuatro parcelas estudiadas.....	31
Figura 8.	Evolución mensual de la humedad volumétrica del suelo en las diferentes parcelas a 15 cm de profundidad.	34
Figura 9.	Evolución mensual de la humedad volumétrica a 50 cm de profundidad en la zona con y sin paja de las diferentes parcelas.....	36
Figura 10.	Evolución de la amplitud térmica mensual en las cuatro parcelas estudiadas a 15 cm de profundidad.....	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Nomenclatura, ubicación y modo de cultivo de las parcelas y seleccionadas.	10
Tabla 2.	Nomenclatura de las muestras obtenidas en las cuatro parcelas de la zona de estudio.	12
Tabla 3.	Detalle de las muestras incubadas de la parcela B1.....	16
Tabla 4.	Distribución de los sensores instalados en cada parcela.	18
Tabla 5.	Distribución de los sensores instalados en cada parcela.	19
Tabla 6.	Densidad aparente y porosidad de las diferentes parcelas.	20
Tabla 7.	Medidas de pH de las cuatro parcelas objeto de estudio mediante electrometría.....	20
Tabla 8.	Conductividad eléctrica en estrato acuoso 1:5 de las cuatro parcelas objeto de estudio.	21
Tabla 9.	Contenido de carbonatos, expresado como % de CaCO_3 , de las muestras de las parcelas objeto de estudio.....	21
Tabla 10.	Contenido de materia orgánica (%) en cada una de las parcelas objeto de estudio. .	21
Tabla 11.	Carbono orgánico soluble (mg kg^{-1}) presente en cada una de las cuatro parcelas estudiadas.	22

Tabla 12. Valores de respiración obtenida en los tratamientos durante el ensayo de incubación.	25
Tabla 13. Respiración neta debido a la paja del arroz durante el ensayo de incubación.	26
Tabla 14. Cantidad de carbono mineralizado atribuido a la paja y porcentaje del C añadido que se ha mineralizado a los 112 días.	26
Tabla 15. Valores del carbono mineralizable en el período del ensayo y la tasa de descomposición o mineralización.	27
Tabla 16. Valores iniciales, finales y netos de los nitratos del tratamiento Suelo + Paja triturada + N en cada una de las cuatro parcelas.	31
Tabla 17. Mineralización neta del nitrógeno de cada tratamiento y parcela.	33

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Cultivo del arroz

El arroz (*Oryza sativa*) es un cereal fundamental en la alimentación humana. Además, es básico en la dieta de la mitad de la población mundial, en especial en países subdesarrollados o en vías de desarrollo, por lo que es destacable la importancia que presenta su cultivo.

Según el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, en 2016-2017 la superficie cultivada de arroz en España fue de 109411 ha, con una producción de 838279 t, y un rendimiento de 7,66 t ha⁻¹ de arroz (MAPAMA, 2020).

Por otro lado, la Comunidad Valenciana es responsable de un 14% de la producción nacional de arroz, con una superficie cultivada de 15087 ha, localizándose principalmente en el Parque Natural de l'Albufera, donde este cultivo es característico y tradicional, produciendo por término medio unas 8 t de arroz ha⁻¹ y originando aproximadamente 12000 t de paja año⁻¹, lo que viene a suponer 1 t de paja kg⁻¹ de arroz cosechado (Calvo *et al.*, 2004).

1.2 Residuos de cultivo tras la cosecha

Los residuos de cultivo son las partes de las plantas que quedan en campo tras la cosecha y, en el caso de los cereales, tras el trillado de los mismos. Generalmente se ha procedido a su eliminación, pero progresivamente se está considerando cada vez más la importancia que tienen como recursos naturales, debido a que su reciclaje, incorporándolos al suelo, abastece una parte de las necesidades nutritivas de los cultivos y mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Existen muchos productos de origen vegetal que pueden ser utilizados como cubierta orgánica del suelo, tales como el serrín, astillas o virutas de madera, hojas y corteza de pino, restos de madera de poda, paja de distintos cereales, cascarilla de cereales y otros residuos vegetales. El uso de unos u otros depende de su disponibilidad y costo de transporte y aplicación. En el cultivo de frutales, el acolchado de suelo con residuos orgánicos es una práctica ampliamente utilizada en la producción integrada (Mika *et al.*, 1998; Autio y Greene, 1991; Neilsen *et al.*, 2003; citado en Zribi *et al.*, 2013) por sus efectos sobre el suelo, como: la protección de la erosión; la disminución de la evaporación; regulación de la temperatura del suelo, más baja en verano y más alta en invierno (Stinson *et al.*, 1990); mejora de la estructura y fertilidad del suelo favoreciendo la actividad de la microfauna de éste; control de malas hierbas, siendo la paja del arroz tan eficaz como un herbicida, al menos durante el primer año de tratamiento (Verdú *et al.*, 2005), existiendo una correlación positiva entre la cantidad de biomasa dejada sobre el suelo en forma de restos de cosecha de diferentes cultivos y la reducción de la densidad de las poblaciones de malas hierbas (Teasdale *et al.*, 1991, citado en el artículo de Bilalis *et al.*, 2003), es decir, que cuanto mayor sea la masa del material que se utiliza como cubierta, mayor será el recubrimiento y por tanto, mayor será la

limitación para la emergencia de malas hierbas; y reducción de la salinidad debido a que las prácticas que reducen la evaporación del agua y/o el efecto lavado son importantes para el control de la salinidad en la zona radical de los cultivos.

Por otro lado, la producción masiva de restos de cultivo puede suponer un problema, debido a que algunos de ellos poseen un difícil manejo. Por ejemplo, en el caso de la India, la cantidad total de residuos de cultivos producidos es de 350000 t año⁻¹, de los cuales el residuo del arroz constituye alrededor del 51% (Krishna *et al.*, 2004), por ello es importante disponer de alternativas para su uso.

1.3 Manejos de la paja del arroz

El manejo de la paja de arroz es muy importante en este cultivo, porque si ésta no se retira antes de la inundación de otoño-invierno, se pudre y contamina el agua de la laguna, produciéndose un problema medioambiental debido a que la abundante presencia de materia orgánica en el agua causa anoxia, es decir, disminuye el contenido de oxígeno de esta, además de provocar una posible mortandad de aves, como ocurrió en el verano de 2019. La anoxia durante el cultivo también puede provocar importantes mermas en la producción. Según Krishna (2004), existen varias opciones de manejo disponibles para los agricultores como:

Incorporación de residuos: se pueden incorporar residuos de cultivos al suelo de forma parcial o completamente. El método más eficiente para la realización de esta práctica es mediante el arado, y a diferencia de la eliminación o la quema, la incorporación de paja aumenta el contenido en materia orgánica, N, P y K del suelo. Sin embargo, es una práctica que no se realiza en Valencia porque se inundan los campos para que las aves migratorias puedan establecerse, debido a que se trata de un Parque Natural. Si se inundase el terreno tras la incorporación de los residuos, se ocasionaría una descomposición anaerobia y se produciría metano y otros gases de efecto invernadero.

Existen tres alternativas de incorporación directa de la paja: incorporación de la paja sin añadir fertilizante químico; no incorporar la paja y abonar con fertilizante químico (generalmente N, P₂O₅ y K₂O); y una combinación de ambas. La alternativa más recomendable es la incorporación de la mitad de la paja y fertilizar con menos cantidad de fertilizantes, para obtener la máxima producción por unidad de energía consumida teniendo en consideración las horas de trabajo, recursos económicos y combustible (Sarkar *et al.*, 1997, citado en el artículo de Abril *et al.*, 2009).

Existe una contraposición entre las alternativas de quemar o incorporar la paja al suelo, demostrada en diferentes estudios realizados, en los que se ha comprobado que enterrar la paja genera entre 2,5 y 4,5 veces más metano que la quema de la misma, por lo que se puede concluir que, en algunas zonas, esta alternativa tampoco es recomendable (Abril *et al.*, 2009).

Por otra parte, en unos estudios realizados sobre los rendimientos de trigo en Pakistán, se comprobó que éstos fueron menores durante los primeros tres años en los que se incorporó paja de arroz treinta días antes de la siembra de trigo debido a la inmovilización del N inorgánico del suelo, lo que provoca un efecto de deficiencia en N, ya que la paja del arroz presenta una alta relación C/N.

Cuando la relación C/N de los restos vegetales incorporados al suelo es elevada, se produce un decaimiento del contenido del nitrógeno inorgánico de la solución del suelo, debido a que los microorganismos lo necesitan para aprovechar la energía contenida en los restos orgánicos de la paja (en forma de C) y sintetizar sus propias estructuras. Esto ocurre como consecuencia de la baja cantidad de nitrógeno que presenta la paja del arroz, produciéndose una inmovilización de N (normalmente en forma de nitrato) de la solución del suelo, la cual irá desapareciendo a medida que las poblaciones microbianas disminuyan a causa de la degradación de la fuente energética y se reincorpore al suelo el nitrógeno que habían transformado en orgánico. Para soslayar este efecto depresivo de nitratos es conveniente llevar a cabo una aplicación de N mineral mediante un fertilizante nitrogenado sobre los restos que van a ser incorporados al suelo y favorecer la transformación del residuo y la posterior formación del humus.

Los agricultores para evitar la inmovilización del nitrógeno inorgánico de la solución del suelo, incorporan fertilizantes nitrogenados de diferentes maneras junto con los residuos de arroz, como por ejemplo, la incorporación del fertilizante de N debajo de la capa superficial del suelo que se enriquece con carbono después de la incorporación de residuos de cultivos; la aplicación de fertilizante nitrogenado en una tasa más alta que la recomendada; y la aplicación de una dosis de 15-20 kg N ha⁻¹ junto con la paja incorporada del arroz, aumenta el rendimiento de este cultivo y el del trigo, en comparación con la quema o la incorporación de residuos al suelo sin N (Krishna *et al.*, 2004).

Retención de superficie y mulching (acolchado): en esta práctica se dejan los residuos de paja de un cultivo previo en la superficie del suelo sin ninguna forma de incorporación. Esto ayuda a protegerlo de la erosión del viento y del agua, aunque los residuos que quedan en la superficie dificultan la labor de la maquinaria afectando a la siembra del siguiente cultivo. Por esa razón, este método se utiliza en lugares en los cuales se realiza la labranza de conservación o siembra directa.

Empacado y extracción de la paja: la paja excedente de la agricultura puede usarse para diferentes fines útiles, como pienso para el ganado, combustible, materiales de construcción, lechos de ganado, compostaje para el cultivo de los hongos y mulching para huertos y otros cultivos, aunque la retirada de la paja de arroz del suelo implica la extracción de nutrientes como N, P y K, siendo necesaria la reincorporación mediante la fertilización. También se retira sílice en forma de dióxido de silicio (Datnoff *et al.*, 1997, citado en el artículo de Abril *et al.*, 2009).

Sin labranza: la adición de 10 t ha⁻¹ de paja de arroz las 4-5 semanas antes del trasplante de arroz es equivalente a la aplicación de 40 kg ha⁻¹ de N en forma de urea. Para realizar esta práctica es necesaria la adopción del sistema de laboreo de conservación.

Debido a que la labranza cero implica la incorporación directa de semillas sobre los residuos de arroz, la humedad residual se utiliza de manera eficiente y se ahorra aproximadamente hasta 10⁶ de L ha⁻¹ de agua de riego. De hecho, cambiar al sistema de no labranza puede suponer un ahorro de 60 litros de combustible y 1 millón de litros de agua de riego en una hectárea. Usando un factor de conversión de 2,6 kg de CO₂ por litro de diésel quemado, esto representa aproximadamente 1560 kg CO₂ ha⁻¹ menos de emisiones del principal contribuyente al calentamiento global (Krishna *et al.*, 2004). Para facilitar las operaciones de incorporación de las semillas, se deben triturar los residuos de arroz y esparcirlos uniformemente. Otra forma es modificar la labranza cero con máquinas de triturado e incorporación de los residuos para poder sembrar en presencia de estos.

1.3.1 Quema de la paja del arroz

Otro manejo de la paja del arroz es su quema, y se realiza para que los residuos que quedan tras la recolección no interfieran en las operaciones de labranza y siembra del siguiente cultivo.

La paja del arroz es un residuo que presenta el inconveniente de originarse en gran volumen durante un corto período de tiempo de tres semanas, resultando difícil su gestión. Si bien en el cultivo de cereales es habitual que los agricultores cosechen la paja para alimentar al ganado. En el caso del arroz, la paja se considera un alimento pobre para los animales debido a su alto contenido en sílice. Además, la recolección mecánica de estos residuos conduce a problemas porque la cosechadora deja franjas de paja que dificultan las labores posteriores; además de que según los autores Doberman y Fairhist (2002), la maquinaria pesada desnivela el terreno sobre el suelo fangoso, ocasiona daños en canales y márgenes (citado en el artículo Abril *et al.*, 2009), lo que encarece de forma importante esta práctica. Por eso los agricultores recurren a la quema de estos residuos, además de que consideran que esta práctica favorece la destrucción de las esporas de algunos hongos como *Pyricularia oryzae*, bacterias, y semillas de malas hierbas. Sin embargo, en la combustión de la paja se producen emisiones de gases de efecto invernadero, siendo el principal gas resultante el CO₂, seguido del metano (CH₄) (Abril *et al.*, 2009).

Al quemar la paja se generan instantáneamente hasta 13t de CO₂. Consecuentemente se contamina el aire y se priva a los suelos de una fuente de materia orgánica (Krishna *et al.*, 2004). Por otra parte, el metano es un gas que presenta un efecto invernadero mayor que el CO₂, que contribuye a la formación de ozono troposférico.

Además de estos dos gases, en la quema de la paja se liberan también óxido nitroso (N₂O), monóxido de carbono (CO), hidrocarburos (HC), óxidos de nitrógeno (NO_x),

óxidos de azufre (SO_x) y agua. Esta práctica supone una gran fuente de contaminantes atmosféricos, por lo que el efecto que tiene sobre la contaminación ambiental, la muerte de insectos y microorganismos del suelo es de gran importancia y consideración. Otro inconveniente que presenta esta combustión es la contaminación local, produciendo problemas respiratorios agudos, asma o alergias en la población. Asimismo, se han investigado las emisiones de sustancias cancerígenas como dibenzodioxinas policloradas y dibenzofuranos que quedan en las cenizas (Korenaga *et al.*, 2001, citado por Abril *et al.*, 2009).

A pesar de que la quema de los residuos del arroz presenta algunas ventajas como las mencionadas anteriormente, esta práctica, además de contaminar, produce unas pérdidas de (hasta 80%) de N, de P (25%) y de K (21%) y de S (4-60%).

En la Albufera, los agricultores aseguraban que la combustión de la paja era el método más eficaz, pero en 2018 llegaron a un acuerdo con la Consellería de Emergencia Climática debido a las protestas y denuncias por las molestias que crea esta práctica a los ciudadanos de la ciudad de Valencia y las localidades de alrededor de L'Albufera. Se estableció una sectorización de la zona de cultivo de arroz alrededor de esta laguna en dos áreas, denominadas A y B, en las que se autorizaba la quema un año sí y otro no de forma alternativa, mientras que la Generalitat se comprometía a retirar los restos en la parte que no se pudiese eliminar. La zona A comprende los municipios de Silla, Alfafar Massanassa, Catarroja y Sollana. La zona B corresponde a la más próxima a Sueca. Sin embargo, son numerosos los problemas a los que se enfrentan los agricultores, ya que en el segundo año en el que se aplicó ese acuerdo, la administración autonómica adjudicó tarde el contrato de recogida, por lo que una gran parte de la paja de arroz se quedó en los campos. Además, en el caso de El Palmar, las máquinas no pueden acceder a las zonas más bajas del parque porque al ser un terreno muy húmedo se hunden. Por todo esto, la retirada está siendo un procedimiento bastante complicado y poco eficaz, por lo que una solución para soslayar estos problemas sería la adopción de medidas para administrar este recurso natural.

1.4 Alternativas para el aprovechamiento de la paja de arroz

La paja del arroz se podría aprovechar para la generación de energía, tableros composites (materiales compuestos por fibras naturales y plásticos) de fibra de paja y plásticos para envases y la construcción, pasta de celulosa y otros subproductos para la industria del papel, obtención de celulosa, hemicelulosas, lignina y derivados. Sin embargo, aunque la producción de celulosa y papel a partir de la paja es viable desde el punto de vista técnico y económico, es una práctica que produce contaminación ambiental. El desarrollo de una industria que aproveche los componentes químicos de la paja de arroz, celulosa, hemicelulosas, lignina y silicio, es una alternativa muy interesante (Abril *et al.*, 2009).

Otra alternativa, además del aprovechamiento industrial de la paja de arroz, sería su uso como mulch aplicado a otros cultivos, que en la zona de Valencia serían principalmente cítricos y frutales como el caqui. Ello requiere de la recolección y empaquetado de la paja para su posterior traslado a las zonas de aplicación del mulch.

1.5 Efectos del mulch en las propiedades del suelo

Como el resto de restos orgánicos utilizados para cubrir el suelo, los residuos del cultivo del arroz afectan a sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

1.5.1 Propiedades físicas del suelo

Las prácticas de gestión de residuos influyen en las propiedades físicas del suelo, como la estructura, el contenido de humedad, la temperatura, la formación de agregados, la densidad aparente, la porosidad del suelo y la conductividad hidráulica.

El suelo acolchado mantiene la estructura del suelo en mejor estado que la del suelo desnudo, debido a la protección que ejerce el mulching contra los agentes atmosféricos. El efecto beneficioso que proporcionan en la estructura del suelo es consecuencia de una amortiguación de la energía cinética de las gotas de lluvia, produciendo una reducción de la dispersión física del suelo y del sellado superficial, manteniendo la tasa de infiltración de agua en el suelo (Erenstein, 2002). Asimismo, además de la lluvia, el acolchado protege al suelo de las tormentas de granizo, la erosión y la desecación del suelo por el viento (Smets y Poesen, 2009).

Los suelos cubiertos con paja de arroz presentan una mayor humedad que los suelos desnudos, debido a que al reducir la evaporación del suelo aumenta la duración del período de secado de este (Krishna *et al.*, 2004). En un ensayo en Punjab (India), el acolchado aumentó el contenido de agua del suelo, lo que provocó una mejora significativa en el crecimiento y rendimiento de los cultivos donde el agua era limitante (Balvinder *et al.*, 2010); y en Queensland (Australia), los tratamientos de acolchado de residuos retuvieron más agua que en los que se produjo la quema de residuos o la incorporación de estos.

Además, en Punjab, con la programación del riego basada en el potencial matricial del suelo, la cantidad de riego se redujo en 75 mm cada año con el mulching en comparación con la ausencia de este, y manteniéndose el rendimiento del grano.

La temperatura del suelo se ve afectada por el mecanismo de intercambio radiativo, el balance de energía radiante y el aislamiento que supone la cubierta de la paja. El balance de radiación está influenciado por el calentamiento del aire y el suelo, la evaporación del agua del suelo y la reflexión de la radiación entrante por los residuos de la superficie. El efecto de aislamiento de los residuos está determinado por la cantidad, el tamaño de residuos y el grosor de la cubierta (Krishna *et al.*, 2004).

Stinson *et al.* (1990) indica que la cubierta orgánica permite mantener la temperatura del suelo más baja en verano y más alta en invierno, siendo las temperaturas de los suelos acolchados significativamente más bajas en verano en comparación con el suelo

desnudo. Los acolchados de paja en períodos de calor mantienen la superficie del suelo más fresca que en los lugares en los cuales no exista cobertura. Además, funcionan como moderadores de los descensos rápidos de temperatura en los períodos fríos de invierno (Salton y Mielniczuk, 1995)

Por otra parte, en un experimento realizado en Punjab (India) sobre el estudio de los efectos de la paja del arroz sobre la temperatura, se concluyó que el mulching reducía la temperatura media del suelo y retrasaba el desarrollo del cultivo hasta la antesis (Balvinder *et al.*, 2010).

La agregación del suelo se refiere al agrupamiento de las partículas minerales del suelo, que constituye la base de su porosidad y de su estructura. Algunos trabajos muestran que el manejo de los residuos no tiene impacto en la agregación del suelo; así, en un estudio mencionado por Krishna *et al.* (2004) con una duración de 14 años y realizado en Kansas, se demostró que las prácticas de gestión de residuos como la eliminación, incorporación y quema, no afectaron significativamente la agregación del suelo.

Según los estudios de Kladvko (1994), citados por Blanco-Caqui y Lal (2009) en la tesis de Henríquez *et al.* (2014), indican que a medida que aumenta la dosis de paja de arroz aplicada a la superficie de Alfisoles en Nigeria, aumenta la infiltración del agua y los macro y meso poros del suelo, al igual que disminuye la densidad aparente y la microporosidad. A su vez, según Tesi *et al.* (2000) con la aplicación de las cubiertas, la porosidad del suelo también aumenta hasta una profundidad de 50 cm, lo que permite una buena aireación del suelo y un mayor desarrollo del sistema radical.

En lo referente a la conductividad hidráulica del suelo y la infiltración, los residuos de los cultivos las aumentan al modificar principalmente la estructura del suelo, la proporción de macroporos y la estabilidad de los agregados. Estos aumentos se han observado en tratamientos en los que los residuos de los cultivos fueron retenidos en la superficie del suelo o incorporados mediante laboreo de conservación (Krishna *et al.*, 2004).

Finalmente, la evaporación puede influir en la cantidad de agua disponible para la transpiración (Balwinder-Singha *et al.*, 2008). Experimentos de campo sobre los efectos del acolchado de paja de arroz en el balance hídrico de trigo regado en Punjab, India, en un suelo franco arcilloso mostraron que el mulching redujo la evaporación en 35 mm en 2006-2007 (año de precipitación abundante en el cual solo fue necesario un riego) y 40 mm en 2007-2008 (año de precipitación escasa en el cual fueron requeridos 3 riegos). Sin embargo, la transpiración aumentó en 30 y 37 mm en los años de alta y baja precipitación, respectivamente. Como resultado, la evapotranspiración total no se vio afectada por el acolchado en ninguno de los años. En ambos años, hubo una tendencia al alza en la producción de biomasa y rendimiento de grano con el mulching, pero con diferencias significativas solo en 2006–2007. El trigo cultivado con mulching tendía a disminuir la eficiencia de transpiración, aunque esto solo fue significativo en 2007–2008. Los resultados sugieren que el uso de mulching en un cultivo de trigo bien regado reduce

la evaporación, pero no ahorra agua porque el trigo en compensación aumenta la transpiración y reduce la eficiencia de la misma.

1.5.2 Propiedades químicas del suelo

Los residuos de la paja del arroz influyen en las propiedades químicas del suelo, como el pH, el contenido de nutrientes y la salinidad.

El pH del suelo es uno de los factores más importantes que determinan la fertilidad de este por su efecto sobre la disponibilidad de macro y micronutrientes. Se ha demostrado que si la paja del arroz, que es un residuo orgánico, se devuelve al suelo, el pH puede aumentar debido a la descarboxilación de aniones orgánicos en la descomposición por microorganismos. Numerosos informes indican que el pH del suelo puede aumentar independientemente de si se ha realizado la quema, la incorporación o acolchado de los residuos (Krishna *et al.*, 2004). El aumento del pH después de la combustión se atribuyó a la acumulación de cenizas, ya que los residuos de cenizas generalmente están dominados por carbonatos de metales alcalinos y alcalinotérreos, pero también contienen cantidades variables de sílice, metales pesados, sesquióxidos, fosfatos y pequeñas cantidades de N orgánico e inorgánico.

Por otra parte, con el uso de la cobertura orgánica, los residuos se descomponen lentamente en la superficie, lo que provoca un aumento del N total en los 5-15 cm superiores del suelo, por lo que reduce los requerimientos de fertilizante para el cultivo. Además, la retención de residuos en la superficie aumentó la concentración de NO_3^- del suelo en un 46%, la absorción de N en un 29% y el rendimiento en un 37% en comparación con la quema (Krishna *et al.*, 2004)

El acolchado, además de aumentar el contenido en nitrógeno del suelo también incrementa el del potasio y el del fósforo; el aporte al suelo de los residuos de arroz generados en India (unos $120 \times 10^6 \text{ kg año}^{-1}$) supondrían una mejora de su calidad, ya que considerando un contenido de nutrientes en la paja de arroz de 0,61% de N, 0,18% de P_2O_5 y 1,38% de K_2O , este aporte contribuiría con 2,604 toneladas de $\text{N} + \text{P}_2\text{O}_5 + \text{K}_2\text{O}$ a la reserva de nutrientes del suelo (Krishna *et al.*, 2004).

Por último, la aplicación del mulching disminuye la salinidad y sodicidad del suelo, debido a que esta práctica reduce la evaporación del agua, además de conservar la humedad en la zona radicular (Rahman *et al.*, 2006), permitiendo el uso de aguas más salinas sin un efecto perjudicial sobre el crecimiento de los cultivos. Zhang *et al.* (2008) indica que en suelos desnudos se produce la mayor acumulación de sales en la capa superficial debido a la evaporación del agua. Estos autores concluyen que que el aumento de la salinidad del agua de riego incrementaba la salinidad del suelo en un cultivo de pimiento, pero el uso del acolchado de paja de arroz disminuyó la concentración de sales en el suelo en comparación con el suelo desnudo.

1.5.3 Propiedades biológicas

El aumento de la temperatura y la humedad del suelo por la aplicación de la paja en la superficie de éste, favorece los procesos de transformación de materia orgánica del suelo, lo que genera una mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas y un aumento de la materia orgánica, caracterizada por un alto índice de humificación (Ceccanti *et al.*, 2007, citado en el artículo de Zribi *et al.*, 2011). En la descomposición de la materia orgánica se forman compuestos que crean agregados más estables, favoreciendo el movimiento de gases como el CO₂ y el O₂ y aumentando la fertilidad del suelo (Turney y Menge, 1994, citado también por Zribi *et al.*, 2011).

Además, las cubiertas orgánicas favorecen la actividad de la microfauna del suelo, tales como microorganismos, insectos y lombrices, y les proporcionan un hábitat favorable, contribuyendo al aumento de la biodiversidad de la edafofauna. Los organismos del suelo, tanto vegetales como animales, presentan una gran importancia porque afectan a la estabilidad de los agregados, por ejemplo, las lombrices de tierra ingieren el suelo y la materia orgánica y después, mediante sus excrementos descargan los residuos transformados para formar agregados nuevos y estables. Además, cuando la materia orgánica de las plantas se descompone por la acción de los micro, meso y macroorganismos del suelo, sus productos junto con las secreciones de los organismos vivientes suministran materiales susceptibles de unir partículas entre sí.

En último lugar, el acolchado también aumenta el contenido de carbono orgánico en los primeros 5-15 cm superiores del suelo debido a la lenta descomposición de los residuos de la paja del arroz (Krishna *et al.*, 2004).

2 OBJETIVOS

Ante la problemática planteada en los últimos años por la quema de la paja de arroz en la zona de Valencia y dados los beneficios reportados por el uso de las cubiertas orgánicas en diferentes cultivos, se plantea el presente trabajo cuyo principal objetivo es contribuir a la búsqueda de alternativas a la práctica de la quema de la paja de arroz, evaluando el impacto del uso de la paja como mulch en frutales. En concreto se estudia su afección sobre la humedad y la temperatura del suelo, y se evalúa la tasa de descomposición de la paja en condiciones controladas de temperatura y humedad.

Con el fin de llevar a cabo estos objetivos se realizaron las siguientes tareas:

- Caracterización edáfica de la zona seleccionada. Muestreo de suelo y determinación de las principales propiedades fisicoquímicas (textura, materia orgánica, pH, salinidad, carbonatos...), y calibración de sonda WET de humedad, temperatura y salinidad del suelo.

- Determinación de la tasa de descomposición de la paja de arroz mediante incubaciones de laboratorio y medida del CO₂ liberado como indicador de la actividad de los microorganismos.
- Seguimiento de la humedad y temperatura del suelo en parcelas de frutales con acolchado y sin acolchado mediante sensores de medida en continuo.

Los resultados obtenidos acerca de la velocidad de descomposición de la paja del arroz contribuirán a la toma de decisiones de cuándo reponer el mulch así como la forma de aplicación. Los primeros resultados del efecto del acolchado sobre la humedad y temperatura del suelo permitirán a corto plazo evaluar patrones del régimen térmico y de humedad del suelo que, en un futuro y con más datos analizados, permitirán elaborar diferentes manejos del riego.

3 MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 Descripción de la zona de estudio

3.1.1 Localización

El área de estudio corresponde a cuatro parcelas de árboles frutales situadas en la comarca de la Ribera Alta (Valencia). Dos de ellas contienen cítricos y se encuentran situadas en La Casella (Alzira); mientras que en las otras dos hay caqui y se localizan en L'Alcúdia. En el Anexo 1 se ilustran los planos de situación, y en la tabla 1 se muestra la nomenclatura de las parcelas que se utilizará en el trabajo y el modo de cultivo de cada una de ellas.

Tabla 1. Nomenclatura, ubicación y modo de cultivo de las parcelas y seleccionadas.

Parcela	Ubicación	Frutal	Modo de cultivo
B1	L'Alcúdia	Caqui	Ecológico
B2	L'Alcúdia	Caqui	Convencional
B3	La Casella	Cítrico	Ecológico
B4	La Casella	Cítrico	Convencional

3.1.2 Características geológicas y edáficas

La mayor parte del término municipal de L'Alcudia se sitúa en la llamada llanura costera valenciana, constituyendo una plana que desciende suavemente en la dirección NO-SE. Al oeste del término se encuentra la Sierra del Caballón, coincidiendo con la zona más elevada del municipio (140 m). La mayoría del municipio pertenece al Cuaternario, con relieves suaves y deprimidos en dirección hacia la costa, coincidiendo con la parte llana. Entre los materiales cuaternarios se hallan costras constituidas por calizas pulverulentas, glaciares de acumulación constituidos por arcillas rojas y materiales arcillo-limosos carbonatados, limos, arenas y cantos aislados, arcillas marrones algo arenosas, y arenas y limos con cantos redondeados. En la parte occidental del término aparecen materiales cretácicos y terciarios, que se corresponden con los relieves más elevados constituidos por calizas micríticas blancas y compuestos de margas y calizas lacustres.

En el término municipal predominan diferentes tipos de suelos, que de acuerdo con la clasificación FAO y atendiendo a su mayor presencia, se corresponden con fluvisoles, cambisoles, luvisoles crómicos, phaeozem haplico y calcáreo y regosol calcáreo. Predominan los fluvisoles provenientes de materiales aluviales recientes, carecen de horizontes de diagnóstico, tratándose de materiales depositados en las llanuras de inundación. Su pedregosidad, contenido en materia orgánica y estabilidad estructural son bajos, y presentan una concentración media en carbonato cálcico. Son suelos recomendados para cultivo intensivo, con un espesor efectivo comprendido entre 60-120 cm.

Por su parte, el término municipal de Alzira se encuentra situado en la transición de la Cordillera Ibérica con el Sistema Prebético. Ocupa las Sierras de Corbera y Les Agulles, los valles de Aigües Vives, La Murta y la Casella. La zona de Alzira se encuentra formada por materiales cuya edad abarca desde el Jurásico hasta el Cuaternario. La zona de estudio se encuentra situada en El Paraje Natural Municipal La Murta y La Casella, situado al sureste del término municipal de Alzira, dentro del LIC de la Sierra de Corbera, entre las Sierras del Cavall Bernat i de Les Agulles. En concreto las parcelas se ubican al comienzo del valle de La Casella. En esta zona predominan materiales pertenecientes al Terciario, formados por margas y areniscas, y materiales del Cuaternario, predominando en esta zona los materiales aluviales, constituidos por cantos, arenas y arcillas. En la zona de estudio predominan los fluvisoles eútricos caracterizados por suelos con una secuencia de horizontes Ap (0–25 cm), Bw (25–45 cm), B/C (45–80 cm) y C (80–130 cm) de textura areno-franca, no calcáreos y baja pedregosidad (Soriano, 2020, comunicación personal).

3.1.3 Climatología

El clima de ambos municipios es de tipo mediterráneo típico, y se caracteriza por inviernos húmedos, lluviosos y con temperaturas suaves; mientras que los veranos se presentan muy secos y calurosos, con temperaturas medias por encima de los 22° C.

Para obtener los datos meteorológicos de los últimos 20 años tanto de la zona de la Casella como de L'Alcúdia, se han elegido las estaciones meteorológicas más cercanas a estas zonas de entre las disponibles en el Sistema de Información Agroclimática para el Regadío (SIAR), siendo seleccionadas las de Carcaixent (La Casella) y Carlet (Alcúdia). Los datos se muestran en el Anexo 2, en las tablas A5 y A6, donde se observa que el régimen térmico es similar en ambas zonas, con una temperatura media anual de 17°C, pero la precipitación anual es más alta en la zona de Alzira con un registro medio anual de 625 mm frente a los 489 de la zona de L'Alcúdia. La radiación y la ETo son máximas en los meses más calurosos, promediando anualmente unos 191 MJ m⁻² y unos 1121 mm, respectivamente.

3.2 Muestreo del suelo y determinaciones analíticas

La caracterización edáfica se realizó a partir de ocho muestras de suelo procedentes en las zonas de estudio. Se tomaron dos muestras compuestas de cada una de las cuatro parcelas, correspondientes a lo que posteriormente serían las zonas con paja y sin paja. Cada muestra compuesta se obtuvo muestreando en cuatro puntos cercanos de la zona

seleccionada. El muestreo se realizó el 1 de octubre de 2019 a una profundidad entre 0-20 cm y se utilizó una sonda helicoidal para conocer el volumen de suelo muestreado y su densidad aparente. La nomenclatura de las ocho muestras se presenta en la tabla 2.

Tabla 2. Nomenclatura de las muestras obtenidas en las cuatro parcelas de la zona de estudio.

Parcela	Nº de muestra	Nombre de la muestra	Cultivo
B1	1	B1.1	Caqui ecológico
	2	B1.2	Caqui ecológico
B2	3	B2.1	Caqui convencional
	4	B2.2	Caqui convencional
B3	5	B3.1	Cítricos ecológicos
	6	B3.2	Cítricos ecológicos
B4	7	B4.1	Cítricos convencionales
	8	B4.2	Cítricos convencionales

Posteriormente, las muestras se trasladaron al laboratorio de Edafología de la Universitat Politècnica de València, donde se llevaron a cabo los diferentes análisis de cada una de las ocho muestras.

Antes de realizar los análisis, una parte de cada muestra de suelo se pesó en una balanza digital con precisión centesimal y se dejó secar a temperatura ambiente. Tras unos días de secado al aire, estas muestras se volvieron a pesar para obtener el peso del suelo seco, y posteriormente se procedió al tamizado con tamiz de 2 mm de diámetro para separar la fracción de elementos gruesos (> 2 mm) y de elementos finos (< 2mm). El suelo seco al aire se utilizó para su posterior caracterización. La otra parte de las muestras de suelo se empleó para el ensayo de incubación, y se tamizó en fresco por 2 mm.

3.2.1 pH

Para medir el pH del suelo se prepara un extracto acuoso 1:2,5 (masa:volumen), pesando aproximadamente 10 g de suelo tamizado, y añadiendo 25 mL de agua destilada a cada muestra. Después, se agitaron durante 10 min a 525 rpm. Concluida la agitación, se mide el pH de cada muestra con el micro-pHmetro 2001 Crison®. De cada muestra se realizan dos repeticiones analíticas.

Por otro lado, el pH del suelo es una medida de la acidez o alcalinidad del mismo, y se define como el logaritmo en base 10 negativo de la actividad de los iones hidronio (H_3O^+) en una solución. La escala varía desde 1 hasta 14, siendo 7 pH neutro. Un pH inferior a 7 es ácido y superior a 7 es básico. Un pH superior a 8,5 corresponde a un suelo alcalino. El pH del suelo controla muchos procesos químicos que tienen lugar en este, y además, afecta a la disponibilidad de nutrientes para las plantas, mediante el control de sus formas químicas.

3.2.2 Conductividad eléctrica

La CE mide la concentración de las sales solubles presentes en la solución del suelo. A mayor valor de CE, mayor es la salinidad presente, la cual es un fenómeno indeseable porque afecta al crecimiento de las plantas provocando una disminución del

rendimiento. Las sales más comunes en los suelos salinos son: cloruro de sodio, cloruro de magnesio, sulfato de magnesio y sulfato de sodio.

Para su determinación, se pesan aproximadamente 10 g de cada muestra, realizando a su vez dos repeticiones de todas ellas, al igual que en el procedimiento de la medida del pH. Después se añaden 50 mL de agua destilada a cada una de las dieciséis muestras y se agitan durante 30 minutos. Posteriormente, se centrifugan durante 3 minutos, y finalmente, se mide la conductividad eléctrica con el conductímetro GLP 31 Crison® en extracto acuoso 1:5 (masa volumen⁻¹).

3.2.3 Textura

Para determinar la textura de las muestras se utiliza el método del densímetro de Bouyoucos (MAPA, 1982), el cual se basa en la ley de Stokes. En primer lugar, se pesan 40 g de suelo tamizado por 2 mm, y se añaden 100 mL de solución dispersante a base de hexametafosfato sódico y carbonato sódico. A continuación, la disolución se bate con batidora mecánica durante 10 min, y se transfiere a una probeta de 1 L, pero habiéndola pasado previamente por un tamiz de 50 µm para separar la fracción de arena. La muestra se enrasa con agua. Posteriormente, se homogeniza la suspensión con émbolo agitador y se empieza a realizar mediciones de densidad a los 30 segundos, 1 min, 3 min, 10 min, 30 min, 90 min y después de 8 horas de haber agitado la suspensión. Además, se realizan también medidas de temperatura. Finalmente, una vez efectuadas las lecturas del densímetro se obtienen en hoja Excel los porcentajes de arena, limo y arcilla, y a partir de éstos se calcula la clase textural mediante la clasificación USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos).

3.2.4 Densidad aparente

Se obtuvieron otras ocho muestras (dos por parcela) con una sonda Kopeki cuyas características eran las siguientes: Ø= 5,27 cm, h= 13 cm y volumen= 283 cm³. A continuación, esas muestras de suelo se introdujeron en estufa a 105°C durante 48 horas para su secado. La densidad aparente se obtuvo mediante la eq. 1:

$$Da \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \frac{P_{ss} (g)}{Vol (cm^3)} \quad (1)$$

donde Da es densidad aparente en g cm⁻³, P_{ss} corresponde al peso del suelo seco a 105°C y Vol es el volumen del cilindro.

3.2.5 Factor de humedad

Es un parámetro utilizado para expresar los resultados sobre suelo seco a 105°C. Su determinación se lleva a cabo colocando una submuestra de suelo seco al aire en la estufa a 105 °C y se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$f = \frac{P_{ss\ 105^{\circ}C}}{P_{ss\ aire}} \quad (2)$$

donde P_{SS105} es el peso del suelo seco a 105 °C y P_{SSaire} es el peso del suelo seco al aire.

3.2.6 Materia orgánica

La materia orgánica (MO) se expresa en porcentaje, y hace referencia a la cantidad de restos orgánicos que se encuentran en diferentes fases de descomposición y que

pueden incrementar el contenido en nutrientes del suelo. La medida de este parámetro resulta muy útil para conocer de forma indirecta la fertilidad de un suelo determinado. La materia orgánica presenta una elevada capacidad de intercambio catiónico, lo que significa que posee una gran capacidad para retener cationes en el suelo. Además, cuenta con las ventajas de favorecer la microestructura del suelo, siendo un elemento muy efectivo para la reducción de la erosión de los suelos, y fomentar también el desarrollo de microfauna edáfica.

Para calcular el porcentaje de materia orgánica es necesario obtener primero el del carbono orgánico oxidable. Este se determina por el método Walkley-Black (1934) mediante la siguiente expresión:

$$\% \text{ Carbono orgánico oxidable} = \frac{(Vb - Vm) \cdot 0.5 \cdot f \cdot 0.003 \cdot 100 \cdot 1.3}{P} \quad (3)$$

donde Vm y Vb son los volúmenes en mL de FeSO_4 y K_2CrO_7 , respectivamente, utilizados en la valoración de las muestras y de los blancos; f corresponde al factor de molaridad y P es el peso de la muestra en g.

Una vez calculado el porcentaje de carbono orgánico oxidable, el de materia orgánica se obtiene utilizando la expresión:

$$\% \text{ Materia orgánica} = 2 \cdot \% \text{ Carbono orgánico oxidable} \quad (4)$$

3.2.7 Carbonatos

La determinación del contenido de carbonatos en suelos se realiza con el calcímetro de Bernard y su resultado se da en porcentaje en peso de carbonato cálcico en el suelo. Es un método que se basa en la descomposición de los carbonatos por la acción del ácido clorhídrico, con desprendimiento de dióxido de carbono que es registrado mediante la medida del desplazamiento de una solución saturada de CO_2 .

El contenido de carbonato cálcico, expresado en porcentaje en peso, se obtiene mediante la expresión:

$$\% \text{ Caliza} = \frac{L \cdot P'}{L' \cdot P} \cdot 100 \quad (5)$$

donde L es la lectura de la muestra y L' es la del CO_3Ca puro, observadas en el calcímetro. P es el peso seco de la muestra de suelo en g; y P' es el peso de CO_3Ca en g utilizado, que en este caso es de 0,2 g.

3.2.8 Carbono orgánico soluble

Se determina por el método Yakovchenko y Sikora (1998). En primer lugar, se preparan los reactivos para bajas y altas concentraciones de carbono orgánico soluble, que son $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,015 N o 0,20 N, respectivamente.

Además, se efectúa una curva patrón de 0, 2,5, 5, 10, 15, 20, 25 ppm de C a partir de una disolución de 100 mg L^{-1} . Para preparar 50 mL se pipetea los siguientes volúmenes: 0, 1,25, 2,5, 5, 7,5, 10, 12,5 mL.

Se prepara un extracto acuoso con 10 g de suelo tamizado a través de 2 mm, y 25 mL de H₂O desionizada y se agita en agitador de brazos durante 30 min. Posteriormente, se centrifuga y se filtra a través del papel de filtro de Whatman 42. Se utilizan tubos de ensayo para provocar la reacción colorimétrica. Se pipetea 2 mL del extracto y se añaden 3 mL de K₂Cr₂O₇ 0,015 N ó 0,20 N, dependiendo de si se está trabajando a bajas o altas concentraciones de carbono orgánico soluble.

Se agita utilizando un “vortex”. Se tapa con papel de aluminio y se pone en estufa a 140 °C durante 20 minutos. Para bajas concentraciones se lee a una $\lambda = 340$ nm utilizando una curva de calibrado de 0 a 25 ppm de C. Para altas concentraciones se lee a una $\lambda = 590$ nm utilizando una curva de calibre de 0 a 400 ppm.

3.2.9 Nitrógeno amoniacal y nítrico

Para poder obtener la mineralización neta de N, el nitrógeno inorgánico (amónico y nítrico) fue medido al comienzo y al final del ensayo de incubación, el cual duró 112 días. El nitrógeno mineral se determinó en un extracto de cloruro potásico, añadiendo a 20 g de suelo a 100 mL de KCl 2M. Tanto el nitrógeno en forma amónica (N-NH₄⁺) como en forma nítrica (N-NO₃⁻) se determinó utilizando un analizador de inyección de flujo (FIASStar 5000, Foss Tecator, Höganäs, Sweden) y un intervalo de absorbancia entre 0-2,5 AU. A través de esta técnica el extracto de suelo es inyectado a una corriente de disolución neutra o portadora, siendo en este caso el KCl 2M. Esta corriente se mezcla con los diferentes reactivos en función de la especie química a analizar, produciendo un compuesto coloreado con una intensidad de color proporcional a la concentración, y que puede ser medida fotométricamente a una determinada longitud de onda. Para medir el contenido de nitrato se utiliza un tamaño de bucle de 40 μ L. El nitrato pasa por una columna de cadmio donde se reduce a nitrito y se mide la cantidad presente en cada una de las muestras.

3.3 Ensayo de incubación

El ensayo tuvo la finalidad de evaluar el impacto de la adición de paja del arroz en la biología del suelo. Para ello se realizaron incubaciones en condiciones controladas de laboratorio de las muestras de suelo a las que se les aplicó una determinada cantidad de este residuo orgánico.

Un método para determinar la velocidad de descomposición de la materia orgánica consiste en medir el consumo de O₂ y la producción de CO₂. En presencia de O₂ la descomposición la producen los microorganismos aerobios con un cociente respiratorio (relación entre volumen de O₂ consumido y volumen de CO₂ producido) igual a la unidad. El CO₂ producido por la actividad metabólica de los microorganismos se determinó midiendo periódicamente la concentración de CO₂ mediante la absorción de infrarrojos utilizando un medidor portátil (Checkpoint, PBI Dansensor, Ringsted, Denmark). Se realizaron cuatro tratamientos en matraces Erlenmeyer de 250 mL correspondientes a:

- **Control (C):** 20 g de suelo.
- **Paja triturada (PT):** 20 g de suelo con 1,5 g de paja triturada.

- **Paja triturada +N (PTN):** 20 g de suelo con 1,5 g de paja triturada y 2 mL de una disolución 1,05M de KNO₃.
- **Paja sin triturar (PSIN):** 20 g de suelo con 1,5 g de paja sin triturar.

Además, se añadieron 2 mL de agua desionizada a todos aquellos matraces que no contenían los 2 mL de nitrato potásico, con el objeto de mantener la misma humedad en todas las muestras incubadas.

De cada tratamiento se prepararon cuatro muestras, es decir, dos repeticiones de cada una de las dos muestras de suelo obtenidas en cada una de las parcelas. En la tabla 3 y a modo de ejemplo se muestran los tratamientos de la parcela B1 siguiendo el mismo esquema para las parcelas B2, B3 y B4.

Tabla 3. Detalle de las muestras incubadas de la parcela B1.

Parcela	Muestras	Repetición	Nº de matraz	Tratamiento
B1	B1.1	a	1	Control
			2	Paja triturada
			3	Paja triturada + N
			4	Paja sin triturar
		b	5	Control
			6	Paja triturada
			7	Paja triturada + N
			8	Paja sin triturar
	B1.2	a	9	Control
			10	Paja triturada
			11	Paja triturada + N
			12	Paja sin triturar
		b	13	Control
			14	Paja triturada
			15	Paja triturada + N
			16	Paja sin triturar

Considerando que a cada parcela le corresponden dieciséis matraces, para llevar a cabo el ensayo de incubación se utilizaron sesenta y cuatro matraces Erlenmeyer, más dos matraces utilizados como control de funcionamiento del equipo de medida del CO₂ y que solo contenían aire. El ensayo de incubación comenzó el 19 de noviembre de 2019, y finalizó el 11 de marzo de 2020, por lo que alcanzó una duración de 112 días.

La frecuencia de medición del porcentaje de CO₂ de cada tratamiento fue variable a lo largo del ensayo. Al inicio del ensayo se realizaron medidas diarias pues la velocidad de descomposición cabía esperar que fuera más alta, posteriormente la frecuencia cambió a semanalmente y en la fase final del ensayo se medía cada quincena. Por otro lado, cuando fué imprescindible airear se utilizó una pequeña bomba que generaba aire necesario para alcanzar los niveles de CO₂ y O₂ iniciales (0% y 21%, respectivamente), evitando así posibles condiciones de anaerobiosis producidas cuando la concentración de oxígeno en los matraces descendía por debajo del 10% de oxígeno.

En el período de incubación del ensayo, los matraces se encontraban en condiciones de temperatura (25 °C) y humedad constante (60-70% la humedad a capacidad de campo). Aproximadamente a mitad del ensayo, se añadió una pequeña cantidad de agua para restituir las pérdidas producidas durante los períodos de aireación de los matraces.

Por otro lado, 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 la masa de CO₂ producido se consigue mediante la siguiente expresión:

$$\frac{g \text{ CO}_2}{kg \text{ ss}} = \frac{\left[\frac{(\text{Presión atm} \cdot \frac{\% \text{CO}_2 \text{ var}}{100}) \cdot \text{volumen matraz} \cdot m \text{ molecular}}{(R \cdot T^a \text{ incubación})} \right]}{\frac{Pss}{100}} \quad (6)$$

donde $g \text{ CO}_2$ es la masa de CO₂ producida; $kg \text{ ss}$ son los kilogramos de suelo seco; Presión atm es la presión atmosférica, que corresponde a 101300 Nm⁻²; $\% \text{CO}_2 \text{ var}$ es el porcentaje de CO₂ que ha variado desde la medición anterior; volumen matraz son 0,000307 m³; $m \text{ molecular}$ es la masa molecular del CO₂, que son 44 g mol⁻¹; R es la constante de los gases, y tiene un valor de 8,314 J mol⁻¹ K⁻¹; $T^a \text{ incubación}$ es la temperatura del ensayo de incubación, siendo esta 298 K; Pss es el peso del suelo seco en g de cada muestra.

3.4 Cinética de mineralización del carbono

La mineralización es un proceso biológico en el que la materia orgánica se transforma a un estado inorgánico mediante la acción de los microorganismos. En el proceso de transformación de la materia orgánica, los microorganismos del suelo tienen en promedio una eficiencia de asimilación del carbono orgánico, que es el principal componente de los seres vivos, del 33%. Esto quiere decir que, de cada 3 moléculas de carbono metabolizadas, una es asimilada como carbono orgánico por los microorganismos y dos son desprendidas como resultado de la respiración de los mismos como carbono mineral, es decir, CO₂. Este CO₂ va a la atmósfera, donde será tomado por las plantas en la fotosíntesis cerrando el ciclo del carbono. Este CO₂ desprendido (respiración) es el que se ha medido con un medidor portátil en cada uno de los 64 matraces durante 112 días, indicando un mayor porcentaje de CO₂ que ese suelo contiene una alta actividad biológica y viceversa. La evolución de la respiración en el tiempo, permite obtener la cinética de mineralización y la tasa de respiración en cada tratamiento.

Para obtener el carbono mineralizable (Co) en el período de ensayo y la tasa de descomposición o mineralización (k) se ha asumido que el modelo es no lineal y se ha optado por una cinética de primer orden, porque al principio la tasa de mineralización del carbono es elevada y rápida, y después converge de forma asintótica al eje de abscisas. Esto es debido a que el carbono orgánico que se mineraliza en cada momento depende del C que va quedando. La ecuación del modelo no lineal es la que se muestra a continuación:

$$C_{CO2} = C_o \cdot (1 - e^{-kt}) \quad (7)$$

donde C_{CO2} son los mg de carbono procedente del CO_2 desprendido por kg de suelo; C_o es el carbono mineralizable en el período del ensayo expresado en $mg\ C\ kg^{-1}$; k es la tasa de descomposición o mineralización en $día^{-1}$; y t es tiempo en días. El ajuste de los valores medidos de CO_2 a la cinética de primer orden (Eq. 7) se hizo con el programa estadístico Statgraphics XVII (bajo licencia UPV). Para ello, se han introducido los datos de respiración expresados como carbono ($mg\ C\ kg^{-1}$) correspondientes a los tratamientos de cada parcela, y en consecuencia se han obtenido los valores de C_o y k de cada uno de ellos.

3.5 Sonatas y dataloggers

En cada parcela se instalaron 6 sondas capacitivas para medir la humedad del suelo. Tres de ellas se establecieron en la zona de la parcela en la que se había añadido paja de arroz como mulch, y las otras tres se instalaron en la zona sin paja (Tabla 4). Tanto en la zona con paja como sin ella, una de las sondas se destinó para la medida de la humedad, la temperatura y la conductividad eléctrica del suelo (sonda tipo TEROS 12 de METER Group®), y las otras dos sondas se utilizaron para medir solamente la humedad del suelo (sonda tipo TEROS 10 de METER Group®). Las seis sondas de cada parcela se conectaron a un datalogger (modelo ZL6 de METER Group®) utilizando el software ZENTRA Utility para descargar los datos. Al inicio del ensayo el registro de datos fue cada 30 minutos, pero al transcurrir dos meses aproximadamente se cambió a un registro horario. A partir de los datos horarios se obtuvieron los datos diarios, promediando la temperatura de las 24 h de día en el caso de la temperatura; en el caso de la humedad del suelo se consideró como valor diario la humedad volumétrica registrada en la medianoche.

Tabla 4. Distribución de los sensores instalados en cada parcela.

Zona	Árbol	Profundidad (cm)	Tipo sonda	Medida registrada
Con paja	1	15	Teros 12	Humedad volumétrica, temperatura y conductividad eléctrica
		50	Teros 10	Humedad volumétrica
	2	15	Teros 10	Humedad volumétrica
Sin paja	1	15	Teros 12	Humedad volumétrica, temperatura y conductividad eléctrica
		50	Teros 10	Humedad volumétrica
	2	15	Teros 10	Humedad volumétrica

Las sondas se instalaron entre julio y octubre de 2019, pero en dos de las parcelas, el registro de datos se interrumpió por diversos motivos (vandalismo, animales, etc...) entre noviembre y febrero.

4 RESULTADOS

4.1 Caracterización del suelo

Determinar las características físico-químicas del suelo facilita y hace posible la interpretación de cómo funciona un ecosistema edáfico y la recomendación de hacer un uso del suelo que suponga su conservación y un impacto mínimo en el ecosistema.

4.1.1 Caracterización física del suelo

4.1.1.1 Textura

Los análisis granulométricos realizados a las muestras de cada parcela mediante el método del hidrómetro de Bouyoucos se muestran en la tabla 5 y se calcula la clase textural mediante la clasificación USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos), localizada en las tablas A9 y A10 del Anexo 3.

Tabla 5. Distribución de los sensores instalados en cada parcela.

Parcela	Promedio			Desv estándar			Textura
	% Arena	% Limo	% Arcilla	% Arena	% Limo	% Arcilla	
Caqui Ecológico	44,6	35,3	20,0	0,8	0,8	0,1	Franco
Caqui convencional	40,6	32,1	27,3	0,1	1,0	0,8	Franco-arcilloso
Cítrico ecológico	89,5	6,7	3,8	0,9	0,9	0,0	Arenoso
Cítrico convencional	57,4	25,7	16,9	1,9	1,0	0,9	Franco-arenoso

Los resultados muestran que no hay una textura predominante, sino que en cada parcela es distinta, siendo más arenosas las de la zona de La Casella. La parcela de caqui ecológico B1, presenta una textura franca, la cual se caracteriza por presentar unos valores porcentuales correspondientes a un 44,6 % de arena, 35,3 % de limo y 20 % de arcilla, los cuales se consideran óptimos. Además, el suelo franco es uno de los tipos de suelo con mayor productividad agrícola, debido a que tiene una combinación de arena, limo y arcilla idónea para los cultivos. Esto supone un equilibrio entre permeabilidad al agua y retención de ésta y de los nutrientes. La textura de la parcela de caqui convencional, B2, es franco-arcillosa, caracterizándose por contener más arcilla de lo que se considera óptimo. Por otro lado, la parcela de cítricos ecológico presenta una textura arenosa, y se distingue por tener una elevada permeabilidad al agua y por tanto una escasa retención de esta y de nutrientes. Por último, la textura de la parcela convencional con cítricos es franco-arenosa y se diferencia porque contiene más arena de lo óptimo. Además, se trata de una textura áspera al tacto, y no se puede moldear.

4.1.1.2 Densidad aparente

Este parámetro se define como la masa de suelo por unidad de volumen ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ o $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) y describe la compactación del suelo, representando la relación entre sólidos y espacio poroso (Keller y Hakansson, 2010). En la tabla 6 se representan los valores de densidad

aparente de las muestras obtenidas en las parcelas estudiadas. El valor más bajo corresponde a la textura franca (B1) y el más alto al de la textura franco arcillosa (B4). Asumiendo una densidad real del suelo de $2,65 \text{ g cm}^{-3}$ se puede estimar la porosidad, que oscila entre un 43 – 58% de volumen de poros respecto al volumen de suelo.

Tabla 6. Densidad aparente y porosidad de las diferentes parcelas.

Parcelas	Densidad aparente ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	Porosidad (% vol)
B1	1,107	58,2
B2	1,318	50,3
B3	1,275	51,9
B4	1,502	43,3

4.1.2 Caracterización química del suelo

4.1.2.1 pH

Mediante electrometría se han obtenido los valores de pH de las muestras de las diferentes parcelas, los cuales se representan en la tabla 7.

Tabla 7. Medidas de pH de las cuatro parcelas objeto de estudio mediante electrometría.

Parcelas	pH	Desv estándar
B1	8,34	0,17
B2	8,40	0,06
B3	8,33	0,25
B4	8,71	0,05

A partir de los resultados obtenidos y atendiendo a los rangos de pH establecidos por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (Anexo 3, tabla A7), se aprecia que las parcelas B1, B2 y B3 presentan un pH moderadamente alcalino, mientras que el de la B4 es fuertemente alcalino.

Los suelos alcalinos son suelos arcillosos con una estructura pobre y densa, baja capacidad de infiltración y lenta permeabilidad. Estas propiedades físicas desfavorables se deben mayormente a que la presencia de carbonato de sodio causa la expansión de la arcilla cuando están húmedos. A pesar de que las parcelas presentan un pH elevado obtienen unos rendimientos adecuados debido a las apropiadas prácticas culturales que se llevan a cabo en el suelo.

4.1.2.2 Conductividad eléctrica (CE)

Tras medir la conductividad eléctrica de las muestras de suelo de las cuatro parcelas se obtuvieron los valores recogidos en la tabla 8, cuya interpretación atiende a la clasificación USDA, representada en la tabla A8 del Anexo 3. A la vista está que los suelos de las parcelas B2, B3 y B4 no son salinos, con lo que no habrá un efecto sobre los cultivos. Sin embargo, la parcela B1 presenta un suelo ligeramente salino, lo cual significa que los rendimientos de los cultivos más sensibles pueden disminuir. Ello pudo

ser debido a algún aporte reciente de materia orgánica realizado en esta parcela de cultivo ecológico.

Tabla 8. Conductividad eléctrica en estrato acuoso 1:5 de las cuatro parcelas objeto de estudio.

Parcelas	CE _{1:5} (dS·m ⁻¹)	Desv estándar
B1	0,398	0,223
B2	0,166	0,007
B3	0,092	0,003
B4	0,097	0,001

4.1.2.3 Carbonatos

En la tabla 9 se establecen los porcentajes de carbonatos obtenidos mediante el calcímetro de Bernard de cada una de las cuatro parcelas objeto de estudio.

Tabla 9. Contenido de carbonatos, expresado como % de CaCO₃, de las muestras de las parcelas objeto de estudio.

Parcelas	CO ₃ Ca (%)	Desv estándar
B1	10,16	0,05
B2	2,89	0,70
B3	0,04	0,06
B4	7,40	5,86

Las parcelas de caqui ecológico, B1, y cítricos convencional, B4, son las que presentan mayor porcentaje de carbonatos, pero con porcentajes inferiores al 15%, límite considerado como no problemático para los cultivos. Las otras dos parcelas presentan contenidos bajos de carbonatos, destacando la parcela de cítricos ecológico, situada en una zona de La Casella, que prácticamente no tiene carbonatos debido a que se trata de areniscas descalcificadas.

4.1.2.4 Materia orgánica

La tabla 10 muestra los valores de MO de los suelos analizados obtenidos a partir de la ecuación 4.

Tabla 10. Contenido de materia orgánica (%) en cada una de las parcelas objeto de estudio.

Parcelas	MO (%)	Desv estándar
B1	6,57	1,67
B2	2,71	0,69
B3	1,57	0,26
B4	0,78	0,04

Tanto en L'Alcúdia como en La Casella (Alzira), predominan los suelos denominados fluvisoles, los cuales se caracterizan, en la Comunidad Valenciana, por poseer un bajo contenido en materia orgánica (< 2%) (Centro de Investigación sobre Desertificación. C.S.I.C. – Universitat de València). A la vista de los resultados obtenidos, se aprecia como las dos primeras parcelas contienen un porcentaje superior al 2%, especialmente la B1 cuyo elevado contenido está muy ligado al manejo ecológico, mientras que las dos

últimas sí que presentan porcentajes inferiores cumpliendo con la tendencia de los suelos agrícolas de la Comunidad Valenciana, a contener menos del 2% de MO. Destaca el bajo contenido de la parcela ecológica de cítricos, quizás debido a su textura tan arenosa que dificulta la estabilización en forma de humus de la MO trasformada.

4.1.2.5 Carbono orgánico soluble

El carbono orgánico del suelo soluble en agua (COS) hace referencia a una pequeña parte del carbono orgánico total del suelo, relacionada con el carbono más fácilmente asimilable, constituyendo una parte muy activa del carbono orgánico del suelo. Éste contiene sustancias lábiles que son la fuente de energía más inmediata para el metabolismo de los microorganismos del suelo. La tabla 11 recoge los valores de COS obtenidos.

Tabla 11. Carbono orgánico soluble (mg kg^{-1}) presente en cada una de las cuatro parcelas estudiadas.

Parcelas	Carbono orgánico soluble ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	Porcentaje sobre MO (%)
B1	16,98	0,026
B2	25,03	0,092
B3	6,69	0,043
B4	11,34	0,145

La parcela con mayor contenido de COS es la B2 con $25,03 \text{ mg kg}^{-1}$, lo que significa que es la que contiene más sustancias lábiles de especial importancia para el metabolismo de los microorganismos del suelo. La parcela B1 contiene $16,98 \text{ mg kg}^{-1}$, y las que menos carbono orgánico soluble poseen son la B4 y B3, cuyos valores son $11,34$ y $6,69 \text{ mg kg}^{-1}$, respectivamente. Sin embargo, el mayor porcentaje de COS sobre MO se encuentra en las dos parcelas de cultivo convencional, con un 0.145% en la de cítricos y un 0.092% en la de caqui.

4.1.3 Incubación en condiciones controladas de laboratorio

4.1.3.1 Evolución de la mineralización de C

A continuación, se muestra para cada tratamiento la evolución de la respiración acumulada a lo largo del período de incubación en cada una de las parcelas.

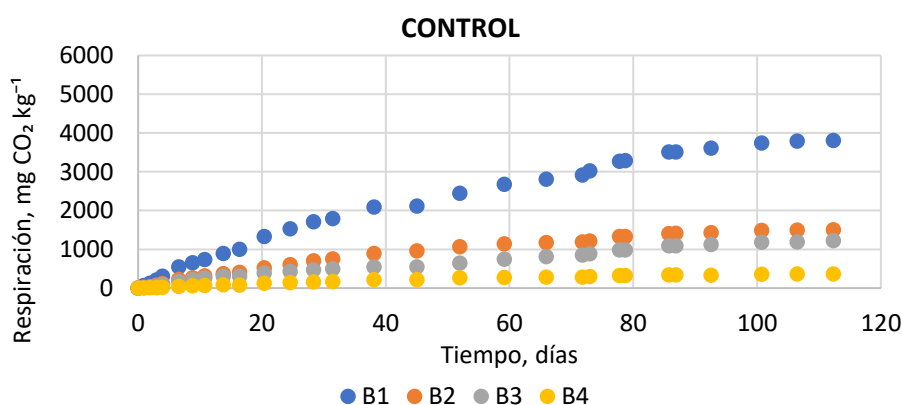


Figura 1. Respiración acumulada, expresada en $\text{mg CO}_2 \text{ kg}^{-1}$, durante el período de incubación en las diferentes parcelas en el tratamiento Control.

En la figura 1, correspondiente al tratamiento Control, se aprecia que la dinámica de la respiración es similar en las cuatro parcelas. Incluso la trayectoria de las rectas es asintótica en el tiempo, lo que significa que la tasa respiratoria se habría estabilizado al final de la incubación, no registrándose incrementos en la respiración. Sin embargo, destaca una mayor respiración en la B1, que podría estar relacionada con el hecho de que es la que contiene un porcentaje superior de materia orgánica (6,57%); un alto contenido en COS (16,98 mg kg⁻¹) y además, es una textura franca, la cual se caracteriza por ser un suelo de elevada productividad agrícola debido a que posee las mejores características físicas y químicas, las cuales favorecen el desarrollo de los microorganismos del suelo y con ello la mineralización de la materia orgánica. La segunda con mayor respiración es la parcela B2, con un contenido en materia orgánica inferior a B1 (2,71%) pero con mayor abundancia de carbono orgánico soluble (25,03 mg kg⁻¹). Las tasas respiratorias de B3 y B4 son menores, debido en parte a que poseen unos valores inferiores tanto de MO como de COS, y al elevado contenido de arena en el caso de la B3, y a la elevada densidad aparente en el caso de la B4. Por otro lado, después de haber transcurrido 112 días de incubación, el contenido total de carbono mineralizado en dicho período osciló entre 358 y 3806 mg CO₂·kg⁻¹, siendo la parcela B1 la de mayor respiración y la B4 la de menor. La mineralización en 112 días osciló entre 2,5 – 4,2% del C orgánico oxidable del suelo.

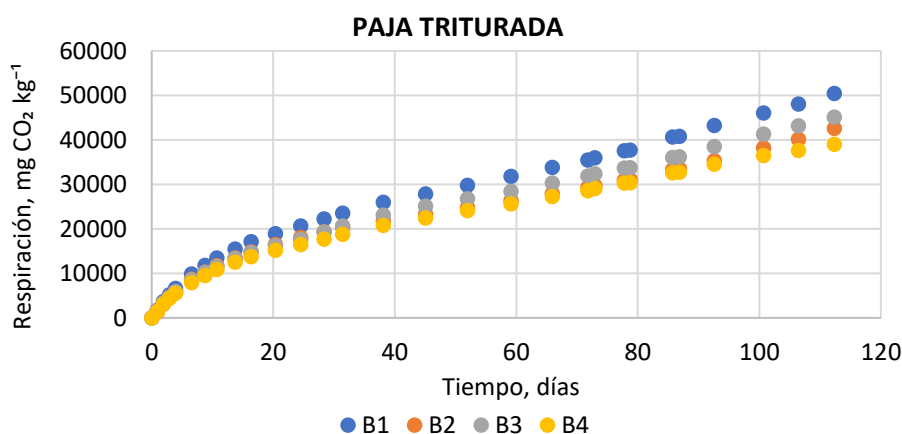


Figura 2. Respiración acumulada, expresada en mg CO₂ kg⁻¹, durante el período de incubación en las diferentes parcelas en el tratamiento Paja Triturada.

En la figura 2, se muestra la respiración acumulada en el tratamiento al que se incorporó paja triturada. Se observa como la dinámica de la respiración es semejante en las cuatro parcelas. Pero, la trayectoria de curva acumulada de CO₂ sigue siendo creciente, es decir, no son asíntotas en el tiempo de incubación, lo contrario que ocurre en la Figura 1, lo que indicaría que la paja añadida no se ha terminado de descomponer. Además, es este tratamiento en el que se ha descompuesto la paja con mayor velocidad y el que presenta los valores más altos de CO₂ al final de la incubación. Ello puede ser debido a que al añadir la paja triturada, ésta se encuentra en contacto más directo con el suelo, lo que supone una mayor facilidad de descomposición para los microorganismos. La parcela B1 presenta una mayor tasa respiratoria, lo que podría estar relacionado con su mayor contenido en MO y su valor elevado de COS. Tras 112 días de incubación, el carbono

mineralizado varió entre 39027 y 50405 mg CO₂·kg⁻¹, siendo la parcela B1 la de mayor respiración y la B4 la de menor.

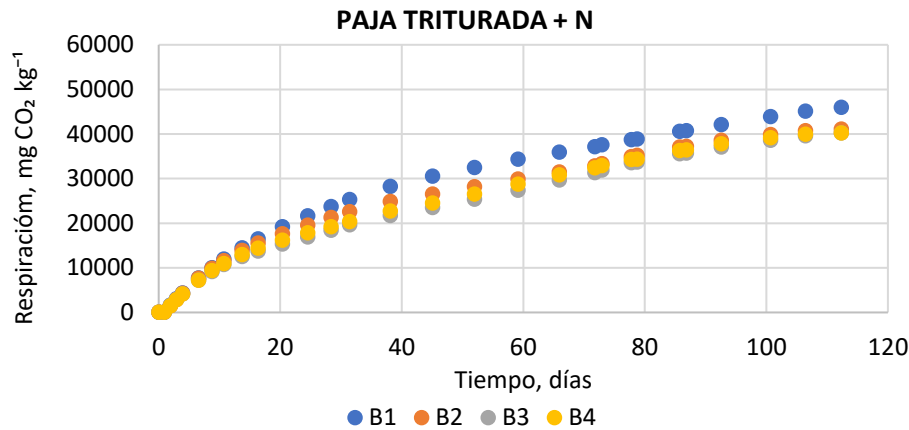


Figura 3. Respiración acumulada, expresada en mg CO₂ kg⁻¹, durante el período de incubación en las diferentes parcelas en el tratamiento Paja Triturada + N.

La Figura 3 muestra la respiración acumulada a lo largo del ensayo en el tratamiento al que se adicionó paja triturada y nitrógeno mineral. Se observa que en este tratamiento también se ha originado una alta descomposición de la paja, aunque inferior a la del tratamiento anterior (paja triturada), lo que significa que la adición del nitrógeno mineral en forma de KNO₃ no ha supuesto un mayor incremento de la descomposición de ese residuo orgánico. La forma de las curvas indica que al final del ensayo no ha finalizado el proceso de descomposición de la paja. Al igual que en los dos tratamientos anteriores, la parcela con mayor tasa respiratoria fue la B1, mientras que el resto presentan valores muy similares. Por otra parte, al concluir los 112 días de ensayo, el contenido de carbono mineralizado osciló entre 40186 y 45962 mg CO₂·kg⁻¹, siendo la parcela B1 la de mayor respiración y la B3 la de menor.

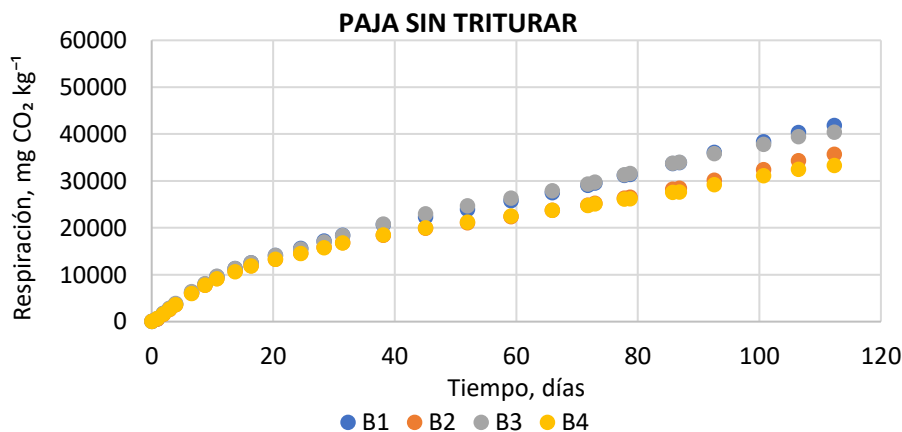


Figura 4. Respiración acumulada, expresada en mg CO₂ kg⁻¹ durante el período de incubación en las diferentes parcelas en el tratamiento Paja sin Triturar.

Por último, la figura 4 muestra la evolución de la respiración acumulada en el tratamiento al que se añadió paja sin triturar al suelo. Los matraces de este tratamiento presentan una menor tasa respiratoria que el resto de los tratamientos con paja. De hecho, se considera que esa respiración podría deberse a colonias de hongos que se

observaron creciendo sobre la paja, los cuales proliferaron debido a la humedad proporcionada por el vapor de agua del suelo resultado de la incubación a 25°C y que condensaba sobre la paja colocada encima del suelo. Al concluir los 112 días de ensayo, el contenido de carbono mineralizado osciló entre 33299 y 41805 mg CO₂·kg⁻¹, siendo la parcela B1 la de mayor respiración y la B4 la de menor.

4.1.3.2 Respiración neta debida a la paja del arroz.

En la tabla 12 se muestran los valores de CO₂ desprendido a lo largo del ensayo de incubación en cada uno de los tratamientos. El tratamiento que produjo mayor respiración fue el que contenía solamente Paja Triturada, a causa de que al encontrarse desmenuzada estaba más en contacto con el suelo y a su vez, más disponible para los microorganismos. Aunque, en la parcela B4, la Paja Triturada + N, presenta un valor más elevado que la paja triturada.

Tabla 12. Valores de respiración obtenida en los tratamientos durante el ensayo de incubación.

Parcelas	Control mg CO ₂ ·kg ⁻¹	Paja triturada mg CO ₂ ·kg ⁻¹	Paja triturada + N mg CO ₂ ·kg ⁻¹	Paja sin triturar mg CO ₂ ·kg ⁻¹
B1	3806	50405	45962	41805
B2	1501	42609	41102	35669
B3	1216	45144	40186	40358
B4	358	39027	40250	33299

El triturado de la paja respecto a la colocación de la paja encima del suelo, supone un aumento de la respiración que oscila entre 12 - 21% según la parcela, con un promedio del 17,3%. Ese porcentaje se redujo al 11,3% en el caso de la paja triturada con N respecto a la paja sin triturar, con un comportamiento desigual según las parcelas. A continuación, se muestra la ecuación utilizada para obtener los porcentajes de CO₂:

$$\% CO_2(\text{parcela}) = \frac{mg CO_2 \cdot kg^{-1} PT - mg CO_2 \cdot kg^{-1} PSIN}{mg CO_2 \cdot kg^{-1} PSIN} \cdot 100 \quad (6)$$

Lo que se observa es que las dos parcelas de cultivo ecológico tienen las cantidades de CO₂ más altas en el caso de la paja triturada y sin triturar.

En todos los casos, excepto en la B4, la adición de N no supuso un aumento de la respiración tal como cabría esperar, quizás porque la solución aportada, debido a su concentración, pudo afectar negativamente a la biomasa microbiana, provocando un retraso en el proceso de descomposición.

Para saber cuál fue la respiración inducida por la paja del arroz, en la tabla 13 se muestran los valores de respiración para los tres tratamientos con paja de arroz, pero restando la respiración medida en el Control de cada parcela. Es decir, los valores que figuran en la tabla 13 hacen referencia a la diferencia entre la respiración bruta de cada tratamiento que aparece en la tabla 12, menos la respiración producida por el control presentada en la misma tabla. La mayor respiración neta, en orden decreciente, se observa en la Paja triturada (42576 mg CO₂·kg⁻¹ en promedio), Paja triturada + N (40155 mg CO₂·kg⁻¹ en promedio) y finalmente Paja Sin Triturar (36063 mg CO₂·kg⁻¹ en

promedio). Sin embargo, en la parcela B3 es más alta la tasa respiratoria neta de la Paja Sin Triturar que la Paja Triturada + N. Y en la parcela B4, la respiración neta de la Paja Triturada es menor que la Paja Triturada +N.

Tabla 13. Respiración neta debido a la paja del arroz durante el ensayo de incubación.

Parcelas	Paja triturada mg CO ₂ ·kg ⁻¹	Paja triturada + N mg CO ₂ ·kg ⁻¹	Paja sin triturar mg CO ₂ ·kg ⁻¹
B1	46600	42156	38000
B2	41108	39602	34169
B3	43928	38970	39142
B4	38669	39893	32941

Por otro lado, para calcular cuánto C se ha mineralizado respecto al carbono añadido en la paja en el tratamiento PT de la parcela B1, se realiza el siguiente procedimiento, considerando que por cada 100 g de paja hay 39 g de C (Chen *et al.*, 2018):

$$\frac{1,5 \text{ g paja}}{\text{matraz}} \cdot \frac{39 \text{ g C}}{100 \text{ g paja}} = 0,585 \text{ g C matraz}^{-1}$$

$$\frac{0,585 \text{ g C}}{\text{matraz}} \cdot \frac{1 \text{ matraz}}{20 \text{ g suelo}} \cdot \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} = 29,25 \text{ g C kg suelo}^{-1}$$

$$\frac{46600 \text{ mg CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1}}{1000} \cdot \frac{12 \text{ g C}}{44 \text{ g CO}_2} = 12,7 \text{ g C debido a la paja}$$

$$\frac{12,7 \cdot 100}{29,25} = 43,4\%$$

Lo que significa que el 43,4 % del C añadido se ha mineralizado a los 112 días, que es el período de duración del ensayo. En la tabla 14, se representan los valores en g de carbono mineralizado atribuido a la paja en cada tratamiento y parcela, además de el porcentaje del C añadido que se ha mineralizado a los 112 días.

Tabla 14. Cantidad de carbono mineralizado atribuido a la paja y porcentaje del C añadido que se ha mineralizado a los 112 días.

Parcela	Tratamiento	g C mineralizado	% C mineralizado
B1	PT	12,70	43,4
B2	PT	11,21	38,3
B3	PT	11,98	41,0
B4	PT	10,54	36,0
B1	PT + N	11,50	39,3
B2	PT + N	10,80	36,9
B3	PT + N	10,62	36,3
B4	PT + N	10,87	37,2
B1	PSIN	10,36	35,4
B2	PSIN	9,32	31,9
B3	PSIN	10,67	36,5
B4	PSIN	8,98	30,7

Según los resultados obtenidos en la tabla 14, el porcentaje de carbono mineralizado atribuido a la paja presentó valores más altos en el tratamiento PT, seguido de PT + N, y este de PSIN.

4.1.4 Cinética de mineralización del carbono

En la tabla 15 se exponen los valores de C_0 y k obtenidos mediante el ajuste no lineal a una cinética de primer orden. El carbono potencialmente mineralizable es la cantidad máxima de C que puede ser liberado de un material orgánico después de su descomposición por acción de los microorganismos. Este potencial se establece a partir de la mineralización acumulada, la cual se define como la cantidad de C liberado en un período de tiempo específico. Por otra parte, la tasa de descomposición es la velocidad de mineralización y se interpreta como el porcentaje de C que se mineraliza y que permite conocer cuánto está siendo liberado en forma disponible en un período de tiempo determinado.

Tabla 15. Valores del carbono mineralizable en el período del ensayo y la tasa de descomposición o mineralización.

Parcela	Tratamiento	C_0 g C kg ⁻¹	k día ⁻¹
B1	Control	1,3087	0,0146
	Paja triturada	12,5729	0,0204
	Paja sin triturar	12,0178	0,0144
	Paja triturada + N	10,9924	0,0332
B2	Control	0,5047	0,0148
	Paja triturada	10,5275	0,0220
	Paja sin triturar	9,3561	0,0193
	Paja triturada + N	10,4542	0,0321
B3	Control	0,5477	0,0090
	Paja triturada	12,2459	0,0187
	Paja sin triturar	11,9415	0,0164
	Paja triturada + N	10,7794	0,0251
B4	Control	0,1316	0,0138
	Paja triturada	10,6857	0,0216
	Paja sin triturar	8,9401	0,0223
	Paja triturada + N	10,9918	0,0268

En las cuatro parcelas, los valores más elevados de C_0 son los correspondientes al tratamiento Paja Triturada, con un promedio de 11,5 g·kg⁻¹, y los más bajos son los del Control, con 0,6 g·kg⁻¹ como promedio de las cuatro parcelas. Los tratamientos PST y PT+N promediaron 10,6 y 10,8 g·kg⁻¹, respectivamente. El que estos valores sean inferiores a los obtenidos en el tratamiento de paja triturada estaría podría estar relacionado en el primer caso con el menor contacto de la paja con el suelo, y en el segundo con el posible efecto negativo del N mineral aportado sobre los microorganismos del suelo. En cuanto a las tasas de descomposición el tratamiento con Paja triturada + N es el que presenta las tasas de mineralización más altas, con un valor promedio en las cuatro parcelas de 0,0293 d⁻¹, mientras que el Control es de menor valor de k, con un promedio de 0,0131 d⁻¹. El triturado de la paja también tuvo un efecto sobre

la velocidad de mineralización, siendo la tasa mayor en el tratamiento PT, con un valor medio de $0,0207 \text{ d}^{-1}$, que en el tratamiento PST ($0,0181 \text{ d}^{-1}$).

4.1.5 Contenido de nitrógeno mineral en las incubaciones

Puesto que el ciclo del C y el del N suelen estar relacionados durante el proceso de mineralización de la MO a través de la relación C/N, se midió al inicio y al final de la incubación el contenido de amonio y nitrato para ver en cada tratamiento el incremento neto de N mineral producido durante el ensayo. En la Figura 5 se muestra el contenido inicial y final de N amoniacal en cada de las parcelas y tratamientos.

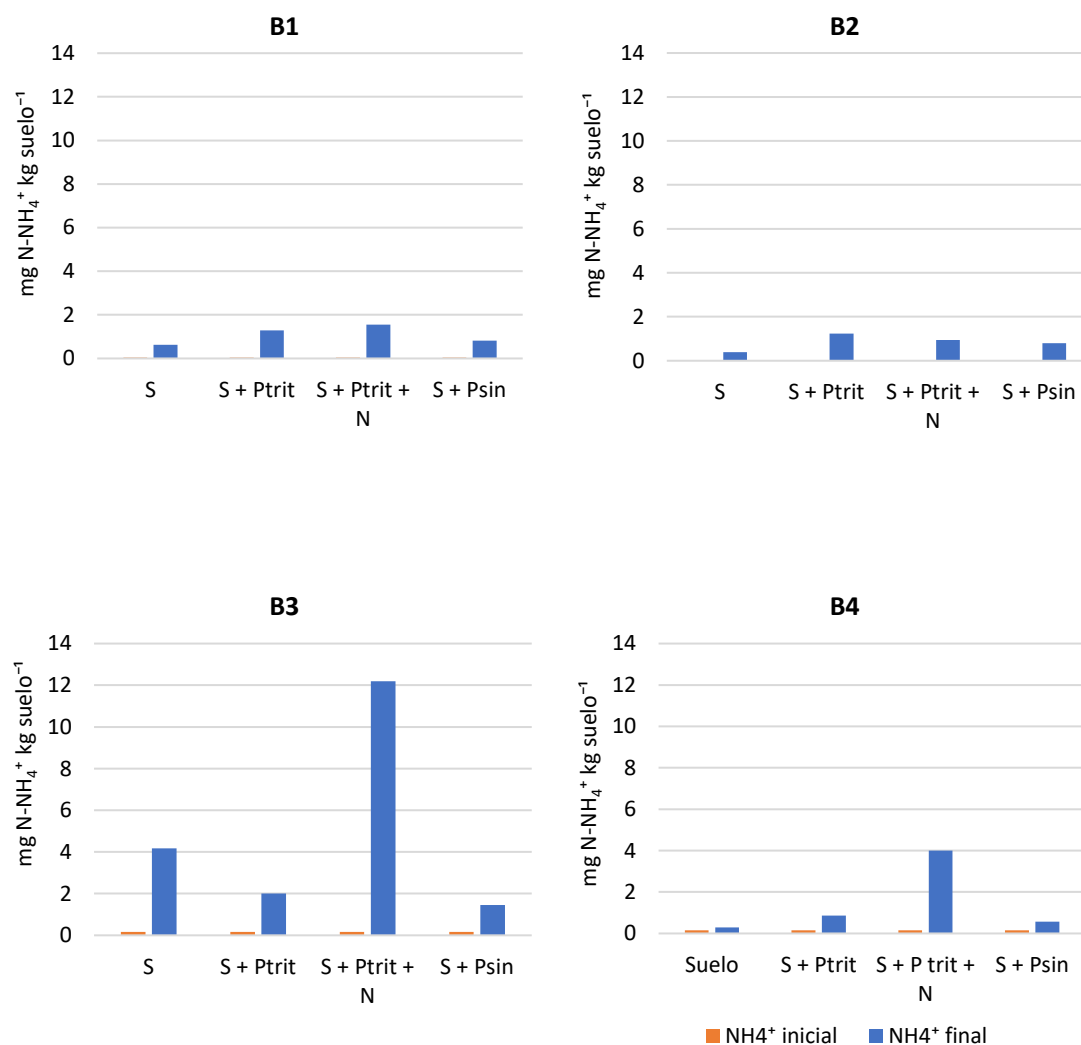


Figura 5. Contenido inicial y final de nitrógeno amoniacal en los diferentes tratamientos de cada parcela estudiada.

Como se observa en la figura 5, en las cuatro parcelas el contenido inicial de amonio es muy bajo, oscilando entre $0,0133$ y $0,1609 \text{ mg N-NH}_4^+ \cdot \text{kg suelo}^{-1}$, correspondientes los suelos de las parcelas B2 y B3, respectivamente. Transcurridos 112 de días de incubación a 25°C , el contenido de amonio aumentó en todos los casos, siendo la parcela B3 en la que más se aprecia este hecho. En esta, el mayor contenido de nitrógeno amoniacal final se encuentra en el tratamiento de Suelo + Paja triturada + Nitrógeno, con un valor de $12,196 \text{ mg N-NH}_4^+ \cdot \text{kg suelo}^{-1}$, siendo además el valor máximo medido en todo el ensayo.

El menor valor corresponde al tratamiento Suelo + Paja sin triturar con $1,457 \text{ mg N-NH}_4^+ \cdot \text{kg suelo}^{-1}$. En la parcela B4, también arenosa como la anterior, el contenido más alto de amonio final se observa también en el tratamiento de Suelo + Paja triturada + Nitrógeno, con $4,009 \text{ mg N-NH}_4^+ \cdot \text{kg suelo}^{-1}$, pero es en la que se produce un menor incremento en el tratamiento control solo con Suelo, con un valor de $0,284 \text{ mg N-NH}_4^+ \cdot \text{kg suelo}^{-1}$.

Las dos parcelas de L'Alcudia presentaron en general menores incrementos de amonio al final de la incubación. En la parcela B1 ocurre lo mismo que en la B3 y B4, siendo el mayor contenido final de nitrógeno amoniacal el correspondiente al tratamiento Suelo + Paja triturada + Nitrógeno con $1,554 \text{ mg N-NH}_4^+ \cdot \text{kg suelo}^{-1}$; y el mínimo se produjo en el suelo sin paja, con $0,633 \text{ mg N-NH}_4^+ \cdot \text{kg suelo}^{-1}$. Por último, en la parcela B2 no se aprecian grandes diferencias entre los contenidos finales de nitrógeno amoniacal, siendo el máximo el referente al Suelo + Paja triturada y el mínimo al Suelo sin paja, con valores de $1,230 \text{ mg N-NH}_4^+ \cdot \text{kg suelo}^{-1}$ y $0,385 \text{ mg N-NH}_4^+ \cdot \text{kg suelo}^{-1}$, respectivamente.

Seguidamente, los contenidos de nitrato al inicio y al final del ensayo en cada una de las parcelas y tratamientos se muestra en la figura 6. En ésta, las cuatro primeras gráficas muestran para cada parcela el contenido de nitrato en los tratamientos S, S+PT y S+PST, mientras que, por motivos de escala, en la quinta gráfica se muestra, para las cuatro parcelas, el contenido de nitrato en el tratamiento S + PT + N.

En las cuatro parcelas el contenido inicial y final de nitrógeno nítrico es mayor en el tratamiento de Suelo + Paja triturada + N, debido a que al principio del ensayo se añadió N mineral (2 mL de una disolución de nitrato potásico), en una cantidad equivalente a $1511 \text{ mg N-NO}_3^- \cdot \text{kg suelo}$. Por consiguiente, los valores iniciales de nitrato en este tratamiento variaron entre $1513 \text{ mg N-NO}_3^- \cdot \text{kg suelo}^{-1}$ y $1529 \text{ mg N-NO}_3^- \cdot \text{kg suelo}^{-1}$, valores correspondientes a las parcelas B4 y B1, respectivamente. Por otro lado, los valores finales oscilaron entre $1206 \text{ mg N-NO}_3^- \cdot \text{kg suelo}^{-1}$ en la parcela B2 y $1418 \text{ mg N-NO}_3^- \cdot \text{kg suelo}^{-1}$ en la parcela B1.

Los contenidos iniciales de nitrógeno nítrico en los suelos de las parcelas (sin contabilizar la adición de Nmin) ordenados de menor a mayor fueron de $2,651 \text{ mg N-NO}_3^- \cdot \text{kg suelo}^{-1}$ en B4, $6,845 \text{ mg N-NO}_3^- \cdot \text{kg suelo}^{-1}$ en B2, $9,796 \text{ mg N-NO}_3^- \cdot \text{kg suelo}^{-1}$ en B3 y $18,496 \text{ mg N-NO}_3^- \cdot \text{kg suelo}^{-1}$ en B1. Como es habitual en los suelos de la zona mediterránea, el contenido de nitrato en los suelos de las parcelas (antes de la incubación) fue muy superior al de amonio (dos órdenes de magnitud), promediando en el primer caso $9,4 \text{ mg N} \cdot \text{kg}^{-1}$ y $0,09 \text{ mg N} \cdot \text{kg}^{-1}$ en el segundo.

En la parcela B1 el contenido final de nitrato del tratamiento control (S) destaca sobre el resto de los tratamientos con un valor de $172,5 \text{ mg N-NO}_3^- \cdot \text{kg suelo}^{-1}$, seguido del tratamiento de Suelo + Paja sin triturar con $25,9 \text{ mg N-NO}_3^- \cdot \text{kg suelo}^{-1}$ el y el de Suelo + Paja triturada con $17,1 \text{ mg N-NO}_3^- \cdot \text{kg suelo}^{-1}$ en. En la B2, es también el suelo sin tratar el que presenta el valor más alto de nitrógeno nítrico con $59,7 \text{ mg N-NO}_3^- \cdot \text{kg suelo}^{-1}$ y el tratamiento con Suelo + Paja triturada el de menor, con $3,7 \text{ mg N-NO}_3^- \cdot \text{kg suelo}^{-1}$. Al igual que en las dos parcelas anteriores mencionadas, en la B3 se observa cómo el valor

más elevado ($38,2 \text{ mg N-NO}_3^- \cdot \text{kg suelo}^{-1}$) corresponde al control con suelo y el mínimo al Suelo + Paja triturada con $15,0 \text{ mg N-NO}_3^- \cdot \text{kg suelo}^{-1}$. Por otro lado, en la parcela B4 el tratamiento con mayor contenido sigue siendo el control de suelo, con $12,9 \text{ mg N-NO}_3^- \cdot \text{kg suelo}^{-1}$. Sin embargo, en Suelo + Paja sin triturar se obtiene un valor negativo de $-9,0 \text{ mg N-NO}_3^- \cdot \text{kg suelo}^{-1}$ indicando que se ha producido una inmovilización del nitrógeno nítrico.

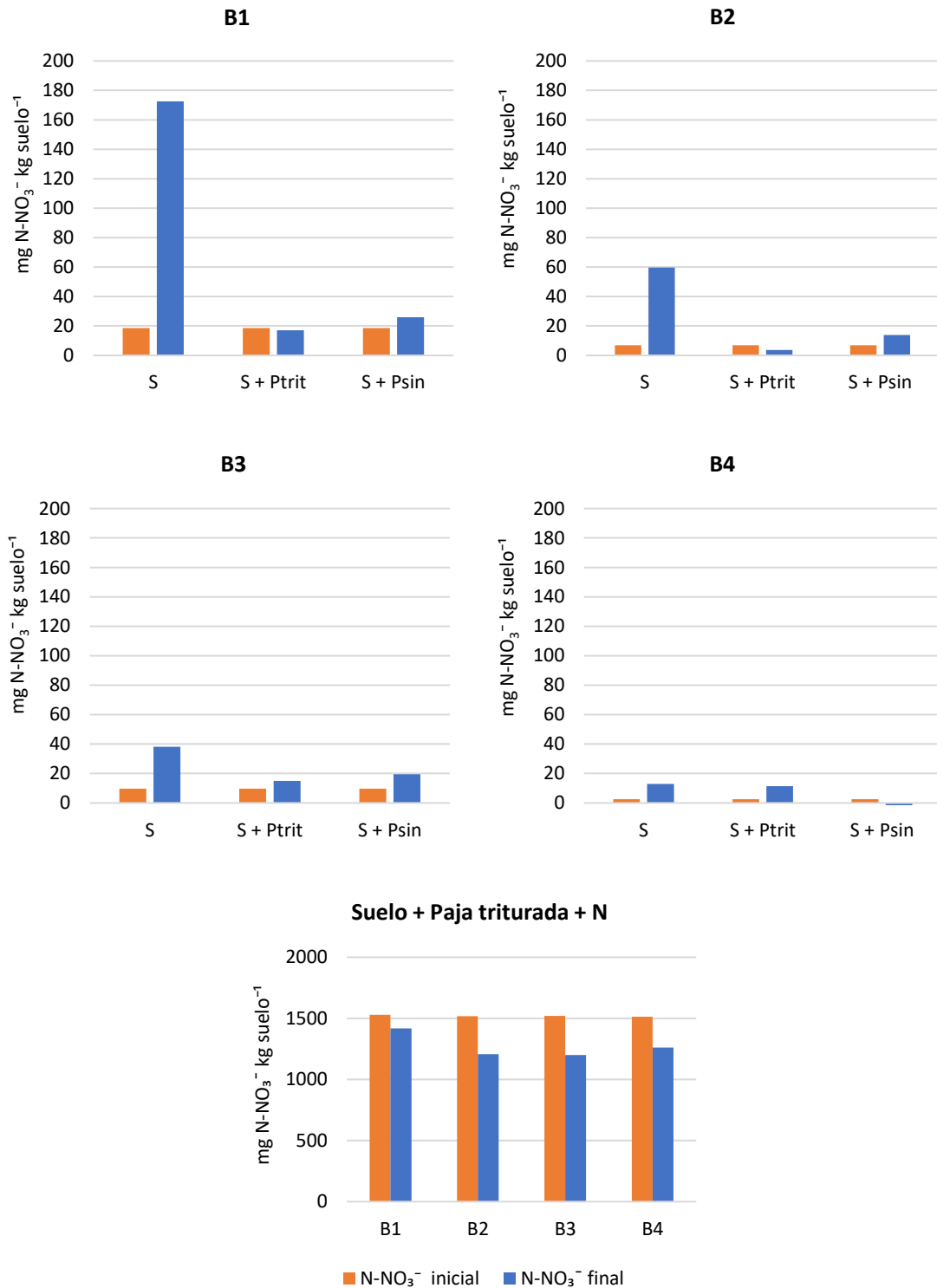


Figura 6. Contenido inicial y final de nitrógeno nítrico en los diferentes tratamientos de cada parcela estudiada.

Por otro lado, la variación neta de nitrógeno nítrico del tratamiento S+PT+N en cada parcela, expresado como diferencia entre el contenido nitrato final e inicial se muestra en la tabla 16. En la Figura 7 aparecen representados los contenidos netos de nitrógeno nítrico tras la incubación en cada una de las parcelas objeto de estudio.

Tabla 16. Valores iniciales, finales y netos de los nitratos del tratamiento Suelo + Paja triturada + N en cada una de las cuatro parcelas.

Parcela	N-NO ₃ ⁻ final mg · kg ⁻¹	N-NO ₃ ⁻ inicial mg · kg ⁻¹	ΔN-NO ₃ ⁻ mg · kg ⁻¹
B1	1418	1529	-112
B2	1206	1518	-312
B3	1200	1521	-321
B4	1261	1513	-253

Como se evidencia en la tabla 16 y figura 7, la variación en el contenido de nitrato al final de la incubación es negativa, lo que significa que se ha producido una inmovilización de parte del N añadido en forma mineral al inicio del ensayo. Esto ocurre cuando los residuos que se incorporan al suelo son pobres en N, es decir, con una relación C/N alta. Estos suponen una gran fuente de energía al suelo que favorecerá un crecimiento en las poblaciones de microorganismos, que utilizarán el N de la solución del suelo para su propia constitución, manifestando una disminución aparente del nitrógeno inorgánico del suelo. Por eso, para evitar la inmovilización o la ralentización de la descomposición del residuo añadido, se añade una fuente adicional de nitrógeno.

La parcela B1 es la que menos inmovilización ha presentado, con un consumo de 112 mg N-NO₃⁻·kg suelo⁻¹ debido a que contiene mayor contenido de N en el suelo y además es la que presenta mayor contenido en materia orgánica. Por otro lado, la inmovilización en las parcelas B2, B3 y B4 fue de 312 mg N-NO₃⁻·kg suelo⁻¹; 321 mg N-NO₃⁻·kg suelo⁻¹ y 253 mg N-NO₃⁻·kg suelo⁻¹, respectivamente. Estas, han efectuado un mayor consumo del nitrógeno inorgánico de la solución del suelo.

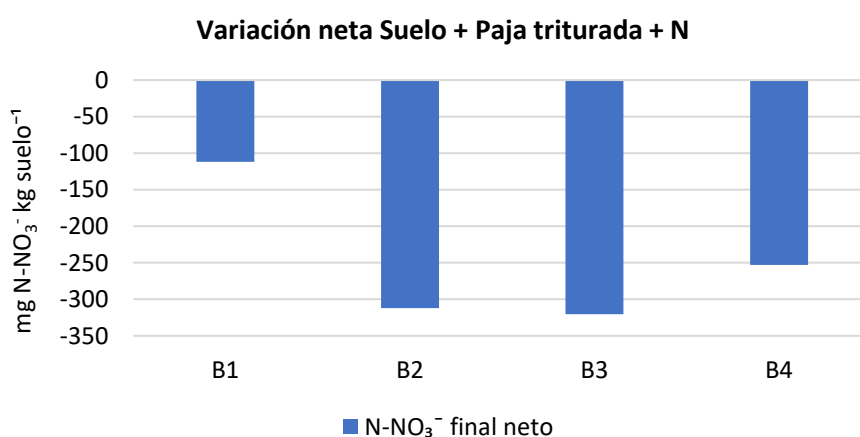


Figura 7. Variación neta de nitrógeno nítrico en el tratamiento de Suelo + Paja triturada + N en cada una de las cuatro parcelas estudiadas.

Además de la inmovilización, en el suelo se produce la mineralización. Esta es un proceso en el cual los organismos heterotróficos del suelo descomponen la materia orgánica, que es fuente de carbono y energía para ellos, y van transformando su nitrógeno a formas minerales. En una primera etapa, se forma NH_4^+ , que luego puede ser transformado en nitratos a través de la nitrificación. Estas dos formas de N mineral, amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-), son las que las plantas pueden absorber del suelo para su nutrición. La mineralización neta se obtiene como diferencia entre la mineralización y la inmovilización. Un valor positivo indica que la mineralización es superior a la inmovilización, y uno negativo indica una mayor inmovilización.

En la tabla 17 se muestra la mineralización neta en cada tratamiento y parcela. La incubación del suelo de las cuatro parcelas (tratamiento Suelo) produce una mineralización del nitrógeno, ya que la variación neta ha resultado positiva. La B1 es la que más nitrógeno orgánico ha mineralizado en el ensayo de incubación, seguida de la B2, B3 y B4, con unos valores de $154,6 \text{ mg N}\cdot\text{kg suelo}^{-1}$, $52,3 \text{ mg N}\cdot\text{kg suelo}^{-1}$, $32,4 \text{ mg N}\cdot\text{kg suelo}^{-1}$ y $10,4 \text{ mg N}\cdot\text{kg suelo}^{-1}$, respectivamente.

En el tratamiento de Suelo + Paja triturada, se observa que en las parcelas B1 y B2 el nitrógeno final es menor que el inicial, es decir, como el residuo de la paja del arroz tiene una relación C/N elevada, los microorganismos han consumido el nitrógeno inorgánico de la solución del suelo para descomponer la paja, provocando la inmovilización de este. La variación neta en estas dos parcelas es $-0,2 \text{ mg N}\cdot\text{kg suelo}^{-1}$ y $-1,9 \text{ mg N}\cdot\text{kg suelo}^{-1}$, respectivamente. Por otro lado, la B3 y B4 presentan una variación neta positiva con valor de $7,1 \text{ mg N}\cdot\text{kg suelo}^{-1}$ en la primera y $9,6 \text{ mg N}\cdot\text{kg suelo}^{-1}$ en la segunda, lo que significa que se ha mineralizado el nitrógeno. El hecho de que estos valores sean inferiores a los obtenidos en el tratamiento con solo suelo, indicarían que en todos los casos se ha producido inmovilización de N siendo más acentuada en las parcelas B1 y B2.

El tercer tratamiento correspondiente a Suelo + Paja triturada + N, en las cuatro parcelas la variación neta es negativa, con valores más negativos que en el tratamiento de paja triturada sin N, indicando un consumo de esa fuente adicional de N mineral aportado. Los valores de variación neta en este caso oscilan entre $-110,2 \text{ mg N}\cdot\text{kg suelo}^{-1}$ y $-311,1 \text{ mg N}\cdot\text{kg suelo}^{-1}$, correspondiendo el primero a la parcela B1 y el segundo a la B2.

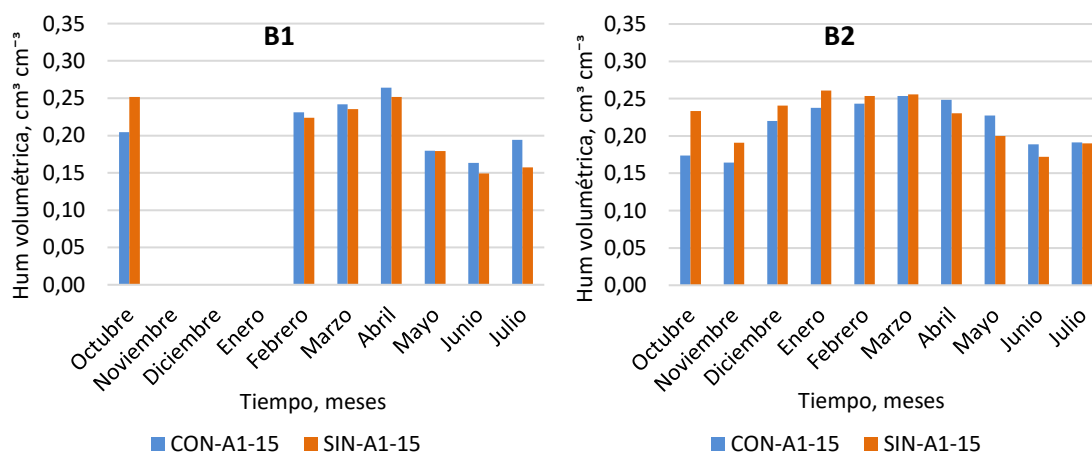
En el último tratamiento ilustrado en la tabla 17, las parcelas B1, B2 y B3 presentan una variación neta positiva, aunque con valores no muy elevados, lo que significa que se han descompuesto los restos más pequeños de este residuo, ya que la paja no triturada presenta menos superficie de contacto con el suelo que la triturada y la mineralización no ha sido tan intensa como en el anterior tratamiento. Asimismo, los valores de variación neta en orden de las tres parcelas mencionadas anteriormente son $8,2 \text{ mg N}\cdot\text{kg suelo}^{-1}$, $7,8 \text{ mg N}\cdot\text{kg suelo}^{-1}$ y $11 \text{ mg N}\cdot\text{kg suelo}^{-1}$. Por último, la B4 presenta un consumo de $-11,2 \text{ mg N kg suelo}^{-1}$, lo que significa que se ha producido inmovilización del nitrógeno inorgánico de la solución del suelo.

Tabla 17. Mineralización neta del nitrógeno de cada tratamiento y parcela.

Tratamiento	Parcela	N inicial mg N·kg suelo ⁻¹	N final mg N·kg suelo ⁻¹	Variación neta mg N·kg suelo ⁻¹
Suelo	B1	18,5	173,2	154,6
	B2	6,9	60,1	53,2
	B3	10,0	42,3	32,4
	B4	2,8	13,2	10,4
Suelo+ Paja triturada	B1	18,5	18,3	-0,2
	B2	6,9	4,9	-1,9
	B3	10,0	17,0	7,1
	B4	2,8	12,4	9,6
Suelo + Paja triturada + N	B1	1529	1419	-110,2
	B2	1518	1207	-311,1
	B3	1521	1212	-308,5
	B4	1514	1265	-249,1
Suelo + Paja no triturada	B1	18,5	26,8	8,2
	B2	6,9	14,6	7,8
	B3	10,0	21,0	11,0
	B4	2,8	-8,4	-11,2

4.1.6 Humedad y amplitud térmica del suelo

Se colocaron sondas capacitivas en diferentes zonas de las parcelas, unas en una zona donde se había añadido paja de arroz como mulch y otras en otra zona sin aporte de este residuo orgánico. Ello ha permitido medir la humedad y temperatura del suelo y, con ello obtener la amplitud térmica en cada tratamiento, con y sin paja. En la figura 8 se muestra el promedio mensual de la humedad volumétrica del suelo a 15 cm en cada una de las parcelas para el período comprendido entre octubre de 2019 y julio de 2020. El comportamiento de la humedad frente al aporte de paja no fue igual en todas las parcelas y épocas de medida, siendo dependiente del tipo de suelo y del manejo del cultivo.



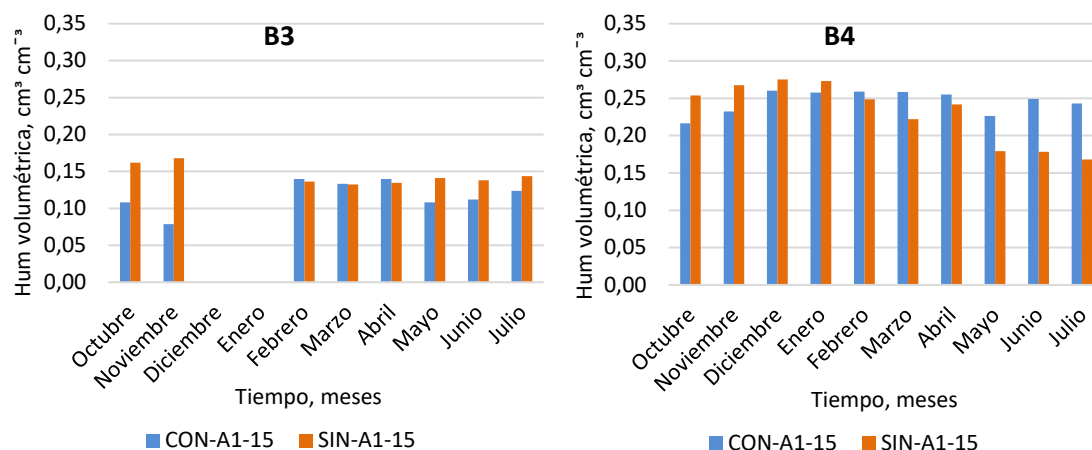


Figura 8. Evolución mensual de la humedad volumétrica del suelo en las diferentes parcelas a 15 cm de profundidad.

En la parcela B1, se aprecia como la humedad volumétrica comprendida entre los meses de febrero a julio es mayor en la zona con paja, registrándose la mayor diferencia en el mes de julio. Esta diferencia podría ser debida a una mayor evaporación del agua del suelo en la zona sin paja. Destacan además los valores más altos de humedad de febrero a abril en ambas zonas, coincidiendo con las lluvias que se registraron en esa época. A partir de mayo, período a partir del cual empieza el desarrollo del fruto del caqui, se produce una disminución de la humedad en ambas zonas, debido a la extracción de la planta.

La humedad correspondiente al período comprendido entre octubre y marzo en la parcela B2, es mayor en la zona sin paja. Sin embargo, a partir de abril se invierte esa tendencia y los valores de humedad de la zona con paja son más elevados que los pertenecientes al suelo desnudo. Esto puede estar relacionado con la textura franco arcillosa de esta parcela y la incidencia o no directa de la lluvia, es decir, en el caso de la zona sin paja, al no contener mulching, la entrada de agua es mayor, lo que sumado al hecho de que esta parcela presenta una mayor capacidad de retención de agua debido a su mayor microporosidad, explicarían que el contenido de humedad sea mayor en la zona sin paja en los meses de lluvia. Sin embargo, a partir de abril el suelo desnudo está más expuesto a la radiación solar, por lo que presentará mayor evaporación y con ello menor humedad. Similar comportamiento se observa en la parcela B4, donde destaca un mayor contenido de humedad desde octubre hasta enero en la zona sin paja, mientras que, desde febrero hasta julio, los valores de humedad son superiores en la zona con paja. Ello puede estar relacionado con el hecho de que durante el periodo de lluvias el suelo desnudo acumula mayor cantidad de agua, aumentando así su humedad, mientras que, a partir de febrero, cuando estas empiezan a cesar, el suelo sin paja está más expuesto a la radiación solar y con ello a la evaporación, disminuyendo así sus valores de humedad. Los resultados de estas tres parcelas coinciden con los de Steward *et al.* (2005) en el cultivo de vid, quien observó un mayor contenido de humedad del suelo con el acolchado de paja en comparación con el suelo desnudo, aunque no especifica en qué período. Además, Gonzalo *et al.* (2009) estudió la evolución con el tiempo de la evaporación acumulada de agua de una lámina libre de agua y de un suelo

desnudo y acolchado con dos cubiertas de paja. Los resultados mostraron que los acolchados con paja redujeron drásticamente las tasas de evaporación y mantuvieron una humedad del suelo mayor que la del suelo desnudo.

Por último, en la parcela B3 la humedad es bastante superior en la zona sin paja durante los meses de octubre y noviembre. Sin embargo, desde febrero hasta abril, ambos inclusive, la humedad es ligeramente más alta en la zona con paja. Asimismo, los valores correspondientes desde mayo a julio son claramente mayores en la zona sin el residuo orgánico. Esta parcela presenta un patrón parecido a las anteriores en el período comprendido desde octubre hasta abril, pero a partir de este mes los resultados obtenidos no coinciden con los observados en las otras parcelas, ni con lo reportado por otros autores. Este desigual comportamiento podría estar relacionado con la textura arenosa del suelo de esta parcela, con una mayor extracción por la planta y/o mayor movimiento del agua hacia capas más profundas en la zona en la que la evaporación está impedida (con paja).

En cualquier caso, sería necesario evaluar un período de tiempo mayor para confirmar los comportamientos observados hasta la fecha, así como contrastar los valores diarios de humedad con los datos meteorológicos de temperatura, precipitación y evapotranspiración, y poder relacionar la variación de la humedad de suelo con las posibles entradas y salidas y poder confeccionar un balance de agua en el suelo.

La evolución de la humedad volumétrica del suelo en profundidad (50 cm) en las diferentes parcelas se puede observar en la Figura 9. Los mayores valores de humedad volumétrica de la parcela B1 y B3 se encuentran en la zona sin paja en todos los meses. Esto podría ser debido a que el suelo desnudo permite una entrada de agua superior durante los eventos de lluvias, y en consecuencia, produciéndose un mayor movimiento del agua en el suelo que se traduce en una mayor humedad en profundidad. Sin embargo, los resultados obtenidos de estas dos parcelas no coinciden con lo hallado por otros autores en las referencias consultadas. Por el contrario, en la parcela B2 se observa como hay un mayor contenido de humedad en la zona con paja en todos los meses estudiados, si bien las diferencias se van reduciendo cuando comienza la época de riego y la mayor extracción del árbol. Este hecho puede estar relacionado con lo comentado anteriormente en relación con la textura de esta parcela, ya que al ser franco arcillosa contiene mayor microporosidad lo que aumenta la retención de agua. Además, la cubierta orgánica reduce la evaporación. Esto coincide con lo indicado por Chaudhry *et al.* (2004), que afirman que la tasa de infiltración de agua en el suelo cubierto con diferentes tipos de acolchados permeables aumentó un 30% en comparación con el suelo desnudo. Por último, en la parcela B4, el contenido de humedad es más alto en la zona sin paja durante el período comprendido desde octubre hasta mayo, pero en junio y julio se invierte esta tendencia y hay mayor humedad en la zona con paja. En junio y julio al haber mayor radiación solar, los suelos sin paja presentan mayor evaporación y en consecuencia menor contenido de humedad, lo cual se asemeja a lo que referido por Gonzalo *et al.* (2009).

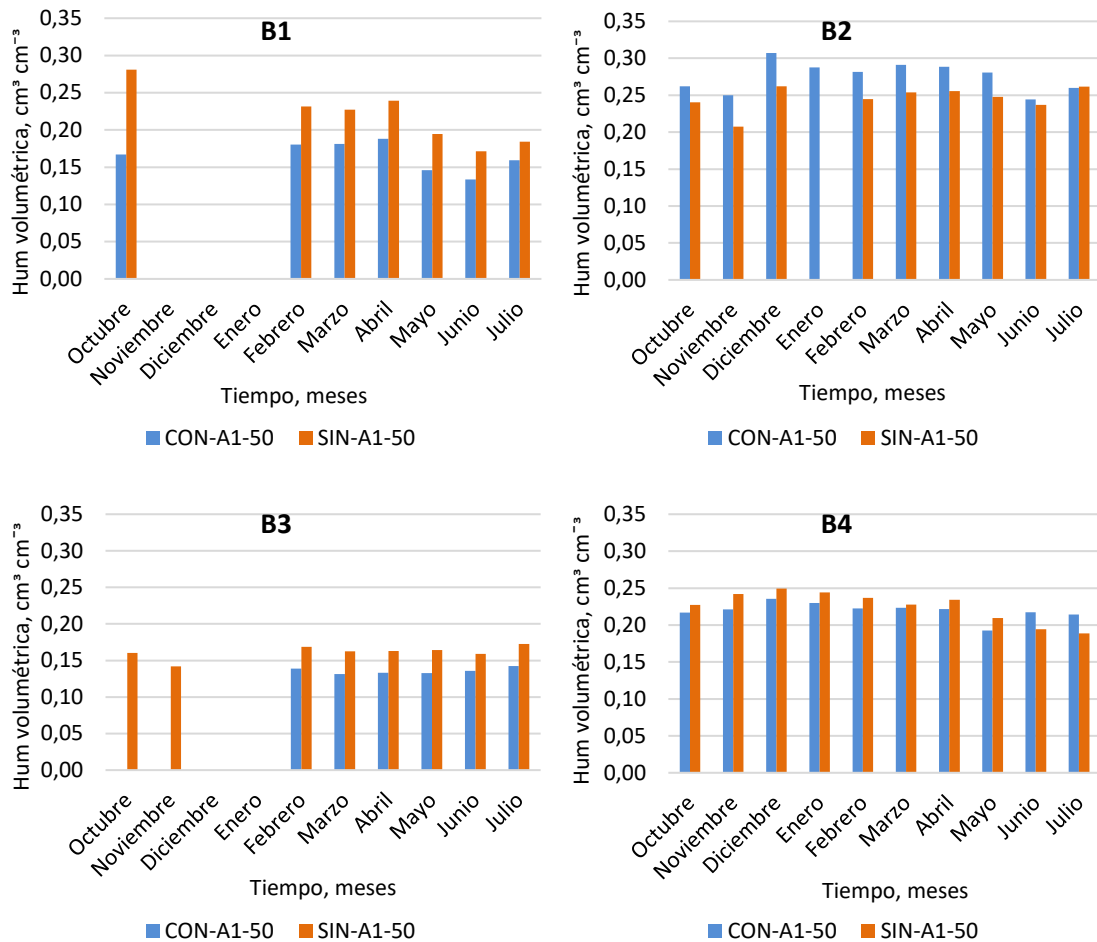


Figura 9. Evolución mensual de la humedad volumétrica a 50 cm de profundidad en la zona con y sin paja de las diferentes parcelas.

En la figura 10 se muestran los valores de amplitud térmica del suelo a 15 cm de profundidad en las zonas con y sin paja de cada una de las parcelas. Para poder explicar los resultados obtenidos, hay que hacer referencia al balance de radiación neta (Anexo 4, figuras A11 y A12) , que explica la variación de temperatura a lo largo de un determinado período de tiempo. La radiación neta que llega al suelo es la diferencia entre las entradas y salidas de radiación (de onda corta y de onda larga) en la superficie del suelo. La presencia del mulch modifica los componentes del balance de energía respecto del suelo desnudo, afectando tanto a la cantidad de radiación de onda corta que llega a la superficie como a la salida de radiación de onda larga desde el suelo. Estas diferencias en el balance de radiación se reflejan en un desigual comportamiento de la temperatura del suelo, afectando a sus valores máximos y mínimos. Una forma de poner de manifiesto el posible efecto del tratamiento es mediante la comparación de la amplitud térmica en cada caso, la cual se muestra en la figura 10.

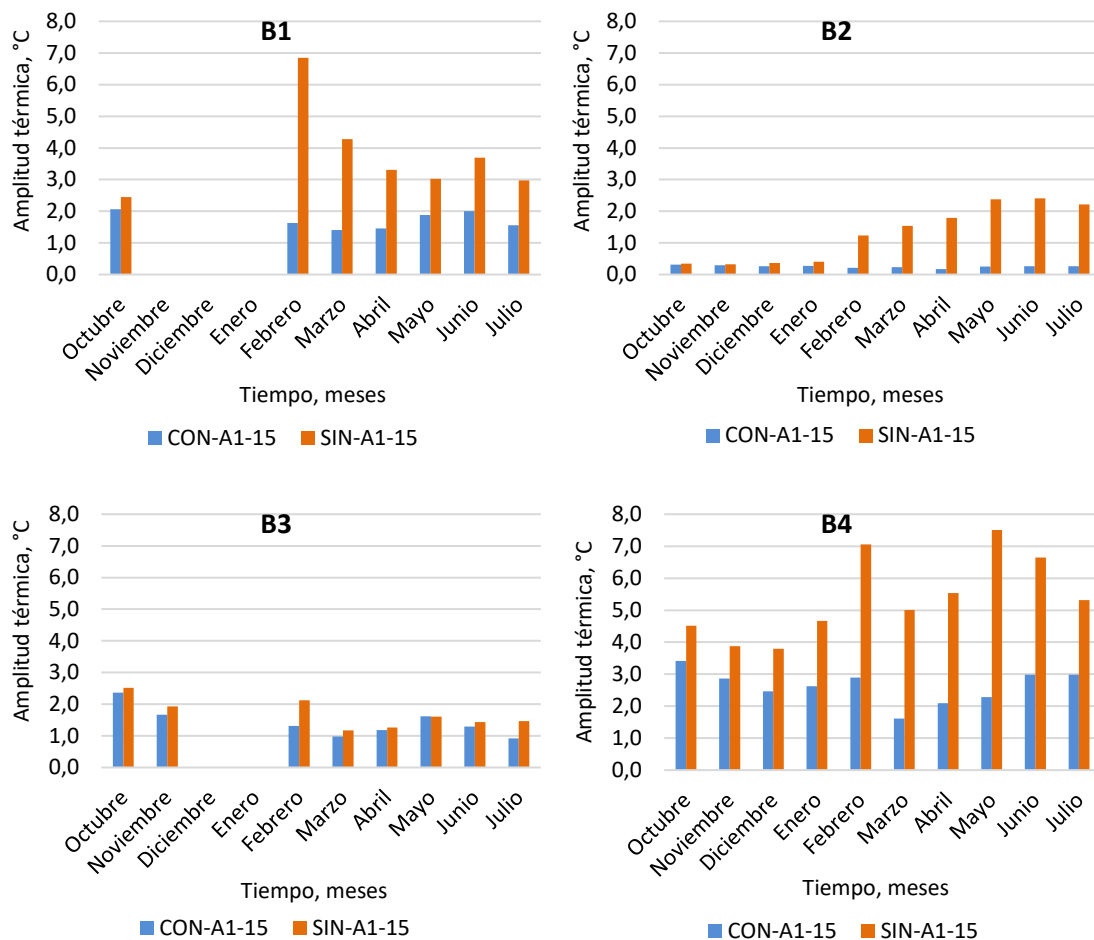


Figura 10. Evolución de la amplitud térmica mensual en las cuatro parcelas estudiadas a 15 cm de profundidad.

Teniendo en consideración lo mencionado anteriormente, la amplitud térmica es mayor en la zona sin paja en la parcela B1, destacando el valor de febrero, coincidiendo con las temperaturas más bajas del período estudiado. A partir de este mes, se observa una disminución de la amplitud en el resto de los meses, también en la zona sin paja. Esta disminución podría estar relacionada porque los meses de marzo y abril fueron lluviosos y, además, es la época en la que comienza el riego del caqui y un suelo húmedo atenúa los cambios de temperatura. Por otro lado, se observa una menor amplitud en la zona con paja ya que debido al mulch, el suelo no alcanza temperaturas máximas tan elevadas durante el día porque ese residuo orgánico disminuye la incidencia de la radiación de onda corta procedente del sol, además de la evaporación del agua del suelo; y durante la noche evita que la temperatura mínima alcanzada sea muy baja, debido a que reduce la salida de la onda larga del suelo. Para el conjunto del período evaluado en la parcela B1, la amplitud térmica del suelo a 15 cm promedió 1,71 °C en la zona con paja y 3.80 °C en la zona sin paja.

Con respecto a la parcela B2, en los meses comprendidos entre octubre y enero, ambos inclusive, se aprecia que la amplitud es ligeramente superior en la zona sin paja, aunque los valores son mínimos en ambos casos. A partir del mes de febrero la amplitud en la zona sin paja va incrementando a causa del aumento de las temperaturas, mientras que en la zona con paja la amplitud se mantiene más o menos constante por la acción del

mulch. Aunque la amplitud sea más alta en la zona sin paja, los valores observados no son muy elevados, lo que podría ser debido a la textura franco arcillosa del suelo de esta parcela, que al poseer una porosidad mayor que la del suelo arenoso, retiene más agua. La mayor humedad atenúa los cambios de temperatura. Para el conjunto del período evaluado en la parcela B2, la amplitud térmica del suelo a 15 cm promedió 0,25 °C en la zona con paja y 1,30 °C en la zona sin paja.

La parcela B3 presenta un comportamiento similar. Los valores de amplitud en la zona sin paja son ligeramente mayores que los de la zona con paja. En este caso, la amplitud en la zona con paja es mayor que en la misma zona en la parcela B2. Esto es debido a que la B3 presenta una textura arenosa, la cual se caracteriza por una menor retención de agua y por tener una velocidad de secado elevada. Además, se calienta muy rápido en primavera, lo cual induce temperaturas máximas más altas que en otros suelos con diferentes texturas. Para el conjunto del período evaluado en la parcela B3, la amplitud térmica del suelo a 15 cm promedió 1,42 °C en la zona con paja y 1,69 °C en la zona sin paja.

En la parcela B4 ocurre lo mismo que en todas las anteriores, es decir, la amplitud es mayor en la zona sin paja. Sin embargo, en este caso los valores son superiores en comparación con el resto de las parcelas. Aunque los valores en la zona con paja sean más o menos constantes en todos los meses, son elevados y es debido a que la B4 presenta un porcentaje de arena alto, del 57,4%, lo que provoca que el suelo se caliente y se seque rápidamente y provocando mayores oscilaciones de temperatura, al igual que ocurría en la B3. Es evidente que esas oscilaciones son superiores en la zona sin paja, ya que al no contener mulch la incidencia de la radiación de onda corta del sol es directa, y en consecuencia produce mayor calentamiento y mayor evaporación. Además, la emisión de onda larga del suelo no está limitada por la cubierta de paja, lo cual provocará temperaturas mínimas más bajas durante la noche. Para el conjunto del período evaluado en la parcela B4, la amplitud térmica del suelo a 15 cm promedió 2,62 °C en la zona con paja y 5,39 °C en la zona sin paja.

5 CONCLUSIONES

1) La caracterización edáfica de las parcelas experimentales ha puesto de manifiesto diferencias en cuanto a sus propiedades fisicoquímicas, siendo más arenosas las de la zona de La Casella y más arcillosas las de L'Alcudia. Las dos parcelas de caqui y cítricos con cultivo ecológico presentan valores más altos de materia orgánica que sus correspondientes con cultivo convencional, lo que influyó es los valores de densidad aparente que siguió la secuencia: cítricos convencional > caqui convencional > cítricos ecológico > caqui ecológico. Estas diferencias se pusieron de manifiesto en la mineralización del carbono orgánico del suelo que fue mayor en las parcelas de cultivo ecológico.

El ensayo de incubación realizado ha permitido obtener las siguientes conclusiones:

2) La adición de paja supuso en todos los tratamientos estudiados un incremento de la respiración del suelo, favoreciendo la descomposición el triturado de la paja debido al mayor contacto de ésta con el suelo. El porcentaje medio de C mineralizado respecto al añadido con la paja fue del 39.7% en el tratamiento con paja triturada, del 37.4% en el de paja triturada con adición de N mineral y del 33.6% en el caso de la paja no triturada.

3) La cantidad de C mineralizado no fue mayor en el tratamiento de paja triturada con adición de N mineral, quizás porque la concentración añadida fue elevada y pudo afectar a la población microbiana inicial; pero al final del ensayo se constata que el aporte de nitrógeno mineral supuso una variación de la dinámica de mineralización, provocando un aumento de la tasa de mineralización, con un promedio de 0.0293 d⁻¹ frente a una tasa de 0.0207 d⁻¹ del tratamiento de paja triturada y de 0.0181 d⁻¹ del tratamiento de paja sin triturar.

4) La adición de N mineral ha puesto de manifiesto que se ha producido inmovilización de N en todos los tratamientos, oscilando la cantidad inmovilizada entre 112 – 321 mg N-NO₃-kg suelo⁻¹ según la parcela. Los tratamientos sin adición de N mineral, la inmovilización estuvo limitada por la disponibilidad de N mineral en el suelo.

Respecto a la influencia de la paja aplicada en forma de mulch al suelo sobre la humedad y temperatura del suelo, con los datos disponibles hasta la fecha se puede concluir que:

5) Independientemente de la parcela estudiada, existen diferencias en la amplitud térmica mensual del suelo medida a 15 cm entre la zona con mulch de paja y la zona sin mulch. Se constata un aumento claro de la amplitud térmica en las zonas en las que no hay mulch de paja de arroz, siendo los mayores valores de temperatura máxima de estas zonas los que provocan las diferencias. Las diferencias de amplitud térmica entre la zona con mulch de paja de arroz y la zona sin mulch oscilaron entre 0.27 – 2.77 °C, según la parcela estudiada.

6) A diferencia de lo que se observa en el comportamiento térmico del suelo en la zona con y sin mulch, con los datos disponibles hasta la fecha no se observa un patrón claro de comportamiento respecto de la humedad del suelo. En general, las zonas con mulch presentan mayores humedades en la capa superficial (15 cm) que las zonas sin mulch. En profundidad (50 cm) las parcelas con manejo ecológico presentan menor humedad en la zona con mulch.

6 BIBLIOGRAFÍA

Abril, D., Navarro, E., Abril, A. (2009). La paja de arroz. Consecuencias de su manejo y alternativas de aprovechamiento. *Revista virtual Agronomía*, 17(2), 69-79.

Agriculturers. Red de especialistas en agricultura. (10 de agosto de 2018). *Mineralización e inmovilización de nitrógeno en el suelo*. <https://agriculturers.com/mineralizacion-e-inmovilizacion-de-nitrogeno-en-el-suelo/#:~:text=En%20el%20suelo%20puede%20ocurrir,y%20nitrato%2C%20al%20estado%20org%C3%A1nico>

Añó Vidal, C., Sánchez Díaz, J., Antolín Tomás, C., Goberna Estellés, M. (2002). Capacidad y vulnerabilidad de los suelos de la Comunidad Valenciana. *Investigaciones geográficas*, (28), 105-123.

Bilalis, D., Sidoras, N., Economou, G., Vakali, C. (2003). Effect of different levels of wheat straw soil surface coverage on weed flora in Vicia faba crops. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 189(4), 233-241.

Calvo, L. F., Otero, M., Jenkins, B. M., Morán, A. García, A. I. (2004). "Heating process characteristics and kinetics of rice straw in different atmospheres". In: *Fuel Processing Technology*, No. 85. pp. 279-291.

Chaudhry, M. R., Malik, A. A., Sidhu, M. (2004). Mulching impact on moisture conservation-soil properties and plant growth. *Pakistan Journal of Water Resources*, 8(2), 1-8.

EcuRed. (s.f.). *Mineralización*. <https://www.ecured.cu/Mineralizaci%C3%B3n>

Erenstein, O. (2002). Crop residue mulching in tropical and semi-tropical countries: An evaluation of residue availability and other technological implications. *Soil Tillage Res.* 67:115-133.

Gonzalo CR. (2009). Manejo de suelos en condiciones de escasez de agua. [http://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/anexosiea.nsf/VAnexos/IEA-SAC7/\\$File/SA-C7.pdf](http://www.dipalme.org/Servicios/Anexos/anexosiea.nsf/VAnexos/IEA-SAC7/$File/SA-C7.pdf)

Henríquez, S. A. (2014). *Efecto de acolchados sobre propiedades físicas de un suelo de la sabana de Bogotá y su relación con el rendimiento de lechuga (Lactuca sativa L)* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).

Humphreys, E., Eberbach, P. L., Katupitiya, A., Kukal, S. S. (2011). Growth, yield and water productivity of zero till wheat as affected by rice straw mulch and irrigation schedule. *Field Crops Research*, 121(2), 209-225.

MAPA (1982) Métodos oficiales de análisis. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

- 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. *Food, Agriculture & Environment*, 2 (1), 224-231.
- Mas, M., Verdú, A. M. C. (2005). Control de malezas mediante acolchados en producción integrada de mandarineros. In *Congreso de la Sociedad Española de Malherbología*. Universidad de Huelva.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Evolución de la superficie y producción de arroz en España. <<https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/cultivos-herbaceos/arroz/>> [Consulta: 20 de mayo 2020].
- Rahman M.J., Uddin M.S., Bagum S.A., Mondol ATMAI, Zaman M.M, (2006). Effect of mulches on the growth and yield of tomato in the costal area of Bangladesh under rainfed condition. *Int. J. Sustain. Crop. Prod.*, 1: 06-10.
- 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.
- Salton, J.C., Mielniczuk, J. 1995. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho Escuro de Eldorado do Sul (RS). *Rev. Bras. Ciência do Solo (Campinas)*. 19(2):313-319.
- Smets, T., Poesen, J. (2009). Impacts of soil tillage on the effectiveness of biological geotextiles in reducing runoff and interrill erosion. *Soil Tillage Res.* 103: 356-363.
- Stinson .J, Brinen G.M., Connell D., Black R,1990. Evaluation of landscape mulches. *Horts-cience*, 103: 372-377.
- Tesi. (2000). Medios de protección para la hortoflorofruticultura y los viverismo. Ed. MundiPrensa. Madrid. España
- Chen, X., Liu, M., Kuzyakov, Y., Li, W., Liu, J., Jiang, C., Wu, M., Li, Z. (2018). Incorporation of rice straw carbon into dissolved organic matter and microbial biomass along a 100-year paddy soil chronosequence. *Applied Soil Ecology*, 130, 84-90.
- Yakovchenko, V.P., Sikora, L.J., (1998). Modified dichromate method for determining low concentrations of extractable organic carbon in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 29, 421-433.
- Zribi, W., Faci, J. M., Aragüés, R. (2011). Mulching effects on moisture, temperature, structure and salinity of agricultural soils.
- Zribi, W. (2013). Efectos del acolchado sobre distintos parámetros del suelo y de la nectarina en riego por goteo (Doctoral dissertation, Universidad de Lleida).
- Zhang QT, Inoue M, Inosako K, Irshad M, Kondo K, Qui GY, Wang SH, 2008. Ameliorative effect of mulching on water use efficiency of swiss chard salt accumulation under saline irrigation. *J. Food. Agric. Environ.*, 3-4: 480-485.

ANEXOS

ANEXO 1. SITUACIÓN DE LAS PARCELAS

Figura A1. Plano de situación de la parcela B1.

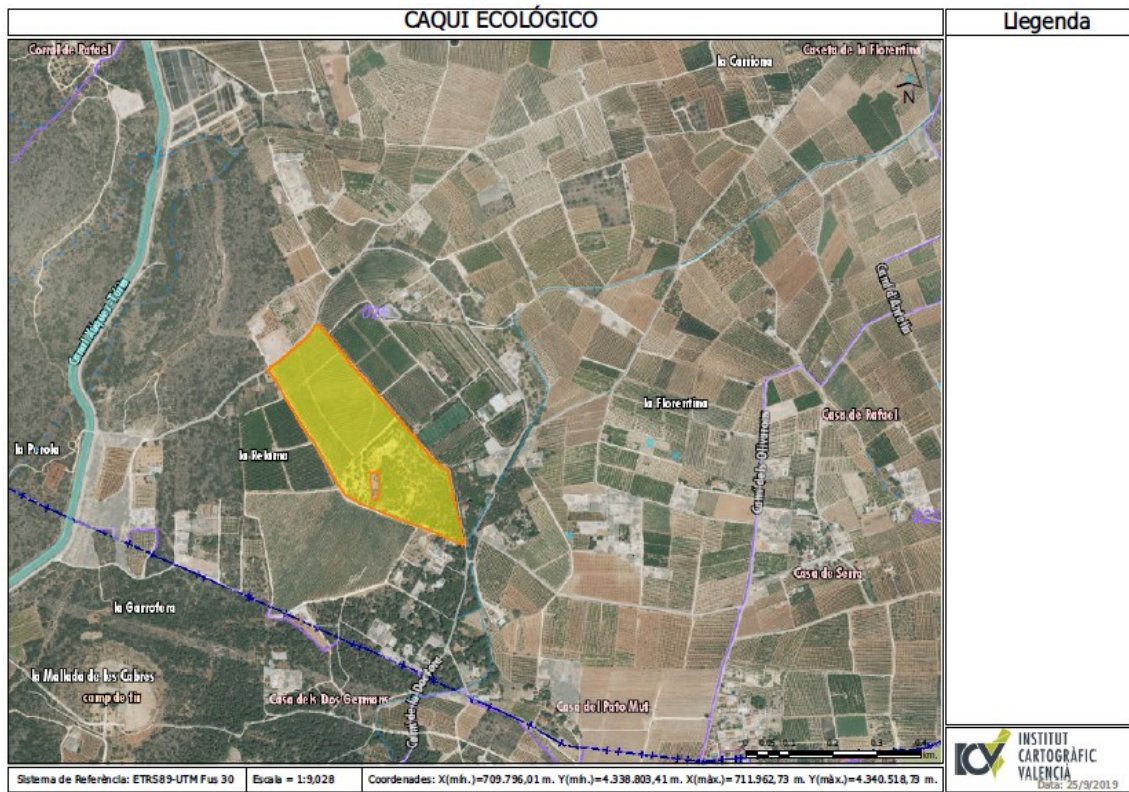


Figura A2. Plano de situación de la parcela B2.

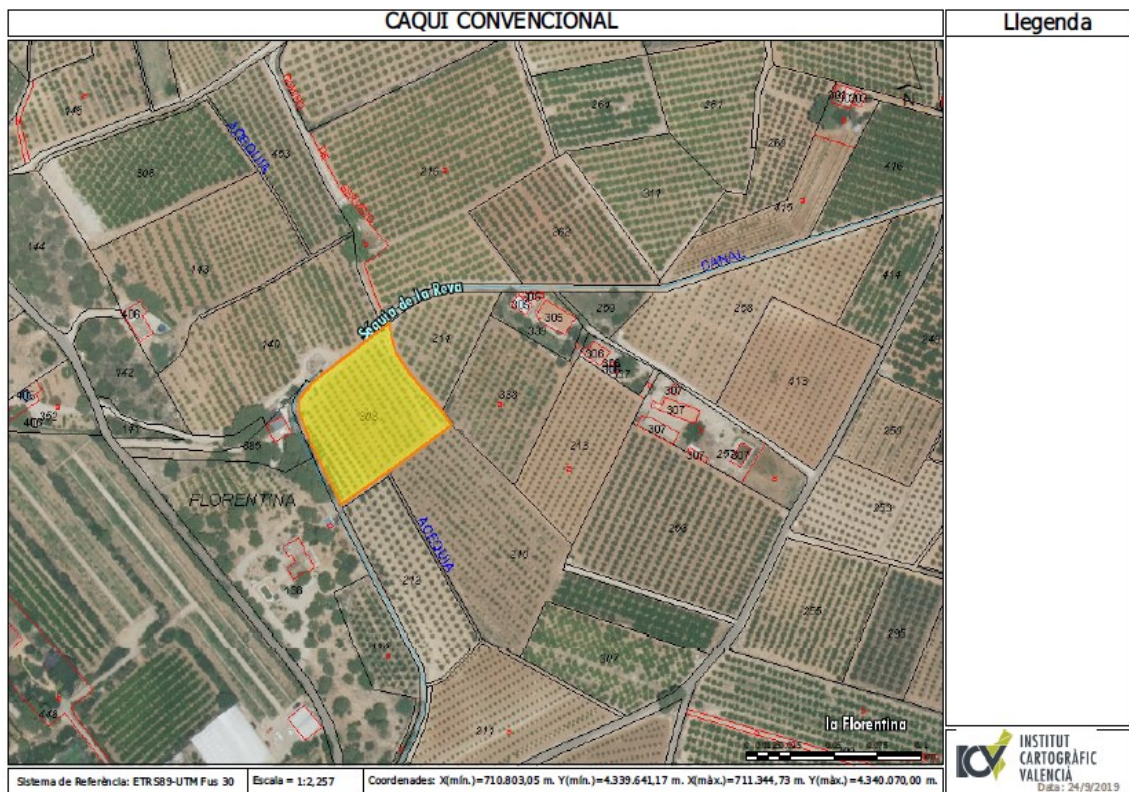


Figura A3. Plano de situación de la parcela B3.

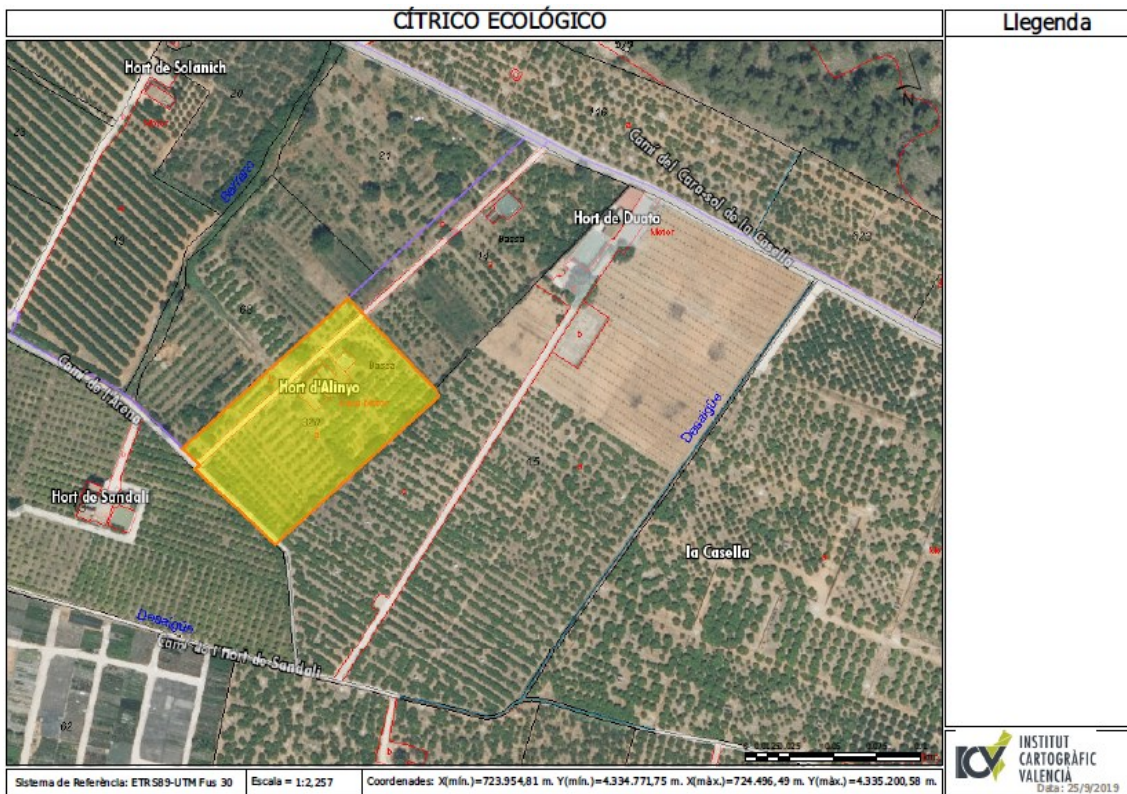
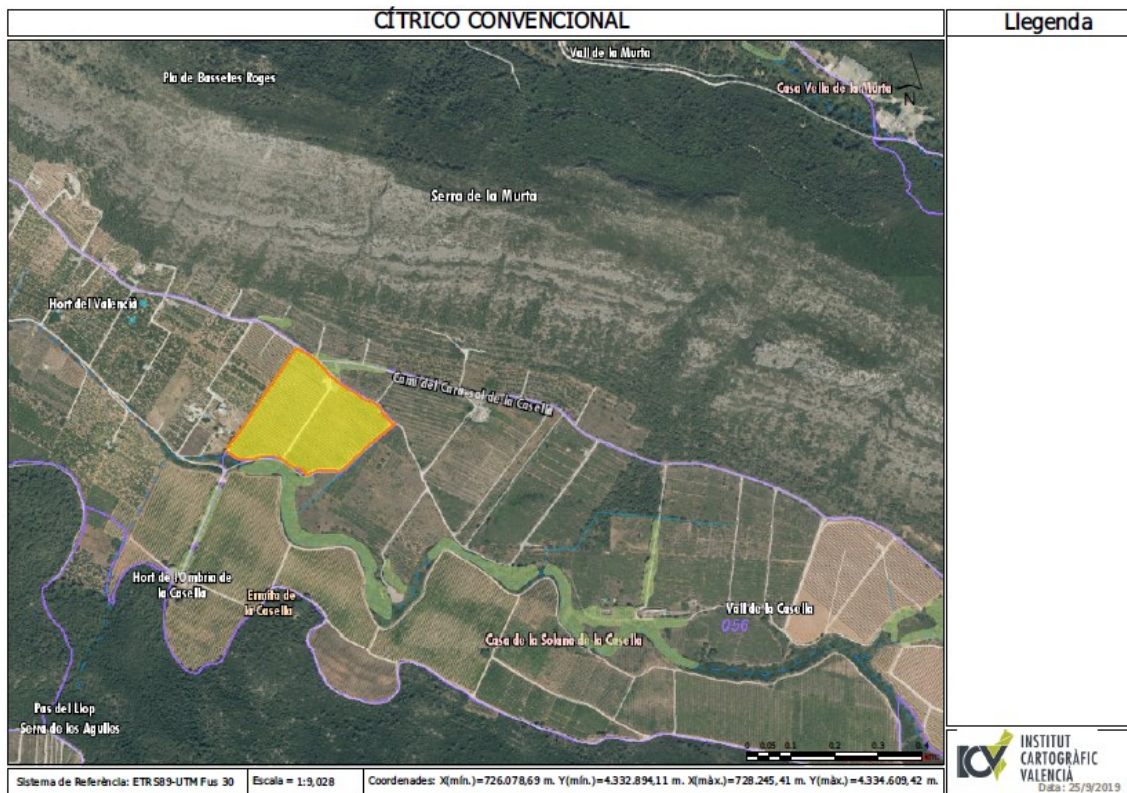


Figura A4. Plano de situación de la parcela B4.



ANEXO 2. CLIMATOLOGÍA

Tabla A5. Datos meteorológicos de la estación de Carcaixent, próxima a la zona de la Casella, en el período 1999-2019 (Fuente: www.siar.es).

	T _{med}	T _{max}	T _{min}	HR	V viento	Radiación	Pp	ETo	ETo
	°C	°C	°C	%	m s ⁻¹	MJ m ⁻²	mm	mm	Mm día ⁻¹
Enero	9,3	23,7	-1,9	72,5	0,75	8,27	61	32	1,03
Febrero	10,1	24,4	-1,0	70,4	0,84	10,60	35	41	1,33
Marzo	12,7	28,6	-0,6	67,7	0,95	14,96	61	73	2,36
Abril	15,3	31,0	3,4	67,8	1,05	18,83	60	99	3,21
Mayo	18,9	35,2	6,9	67,3	1,08	22,57	52	132	4,26
Junio	23,3	38,4	11,1	66,3	1,17	24,97	17	158	5,10
Julio	25,9	40,7	14,7	68,4	1,22	24,77	4	169	5,47
Agosto	25,8	40,2	15,4	70,6	1,11	21,62	19	147	4,74
Septiembre	22,3	37,1	11,1	73,9	0,88	16,90	78	100	3,22
Octubre	18,2	32,6	7,1	76,6	0,71	12,23	76	63	2,05
Noviembre	12,5	26,7	1,3	74,6	0,67	8,60	84	35	1,13
Diciembre	9,7	23,6	-1,0	76,0	0,68	7,03	78	26	0,84
Anual	17,0	31,8	5,5	71,0	0,93	191,36	625	1076	2,89

Tabla A6. Datos meteorológicos de la estación de Carlet, próxima a L'Alcúdia, en el período 1999-2019 (Fuente: www.siar.es).

	T _{med}	T _{max}	T _{min}	HR	V viento	Radiación	Pp	ETo	ETo
	°C	°C	°C	%	m s ⁻¹	MJ m ⁻²	mm	mm	Mm día ⁻¹
Enero	9,8	22,9	-2,4	69,2	1,76	8,25	43	47	1,52
Febrero	10,5	23,7	-1,1	66,1	1,94	11,02	33	59	1,90
Marzo	13,0	27,5	0,1	64,5	1,98	14,91	54	91	2,93
Abril	15,4	29,4	3,6	65,6	1,68	19,35	53	110	3,54
Mayo	18,8	33,5	6,7	66,6	1,39	22,83	39	137	4,42
Junio	22,8	35,8	11,6	66,0	1,34	24,72	17	154	4,95
Julio	25,6	38,3	15,6	68,3	1,36	24,74	8	168	5,41
Agosto	25,6	38,8	15,5	70,2	1,29	21,26	11	146	4,71
Septiembre	22,4	35,2	11,3	72,8	1,18	16,65	65	104	3,35
Octubre	18,4	31,3	6,9	75,1	1,07	12,05	60	68	2,20
Noviembre	13,0	26,0	0,9	70,9	1,38	8,63	58	46	1,49
Diciembre	10,2	22,6	-1,5	73,0	1,46	7,06	48	38	1,22
Anual	17,1	30,4	5,6	69,03	1,49	191,49	489	1167	3,14

ANEXO 3. ANÁLISIS DE SUELOS

Tabla A7. Clasificación del pH según el Servicio de Conservación de Recursos Naturales del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

Denominación	Rango de pH
Ultra ácido	< 3,5
Extremadamente ácido	3,5 – 4,4
Muy fuertemente ácido	4,5 – 5,0
Fuertemente ácido	5,1 – 5,5
Moderadamente ácido	5,6 – 6,0
Ligeramente ácido	6,1 - 6,5
Neutro	6,6 – 7,3
Ligeramente alcalino	7,4 – 7,8
Moderadamente alcalino	7,9 – 8,4
Fuertemente alcalino	8,5 – 9,0
Muy fuertemente alcalino	>9,0

Tabla A8. Clasificación USDA de la salinidad del suelo según CE del extracto saturado (CEes) ó 1:5 (CE1:5).

CE _{es} (dS·m ⁻¹ a 25°C)	CE _{1:5} (dS·m ⁻¹ a 25°C)	Clasificación	Efecto en el cultivo
0 - 2	< 0,35	No salino	No afecta a los cultivos.
2 – 4	0,35 – 0,65	Ligeramente salino	Puede disminuir los rendimientos de los cultivos sensibles.
4 – 8	0,65 – 1,15	Moderadamente salino	Disminuye el rendimiento de la mayoría de los cultivos,
8 – 16	> 1.15	Salino	Rendimiento satisfactorio sólo de cultivos tolerantes.
> 16	> 16	Extremadamente salino	Rendimiento satisfactorio sólo de cultivos muy tolerantes.

Tabla A9 y A10. Clasificación de las partículas en función de su diámetro según la USDA (United States Department of Agriculture):

Partículas	Diámetro (ϕ)
Arena muy gruesa	2 mm > ϕ > 1 mm
Arena gruesa	1 mm > ϕ > 0,5 mm
Arena media	0,5 mm > ϕ > 0,25 mm
Arena fina	0,25 mm > ϕ > 0,10 mm
Arena muy fina	0,10 mm > ϕ > 0,05 mm
Limo	0,05 mm > ϕ > 0,002 mm
Arcilla	ϕ < 0,002 mm

Además, existe una clasificación más general, como la siguiente:

Partículas	Diámetro (ϕ)
Arena	2 mm > ϕ > 0,05 mm
Limo	0,05 mm > ϕ > 0,002 mm
Arcilla	ϕ < 0,002 mm

ANEXO 4. BALANCE DE RADIACIÓN

Figura A11. Balance de energía del suelo en una zona con mulch.

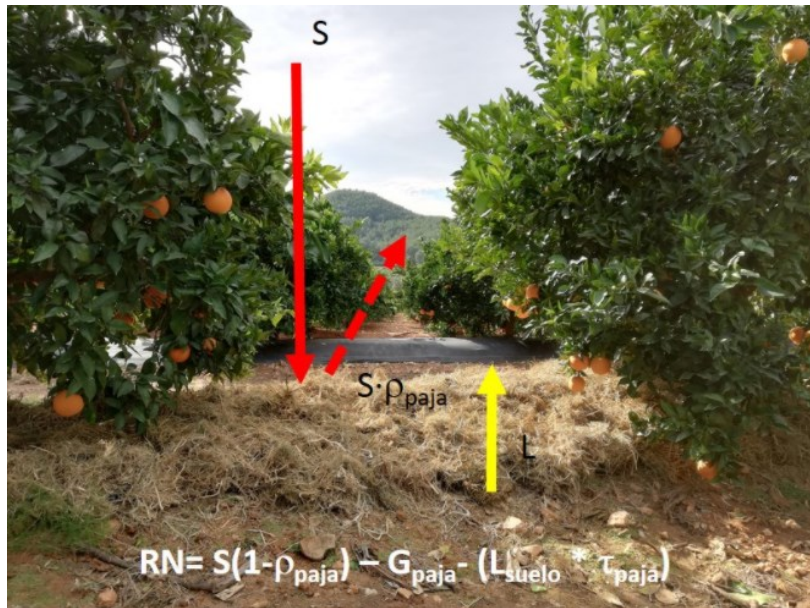
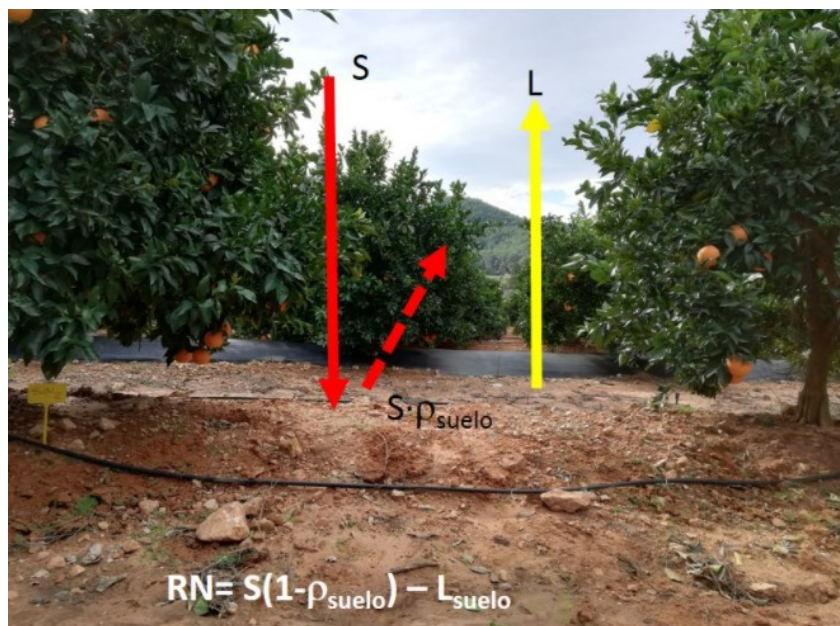


Figura A12. Balance de energía del suelo en una zona sin mulch.



Donde RN es radiación neta; S radiación de onda corta emitida por el sol; ρ_{paja} corresponde al albedo de la paja; G hace referencia al calentamiento de la paja; L es la radiación de onda larga del suelo y t es el coeficiente de transmisión de la paja.