



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Agronòmica i del Medi Natural

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica
y del Medio Natural

Descomposició de la paja de arroz utilizada como
acolchado en cultivos leñosos

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural

AUTOR/A: Seguí Martos, José Vicente

Tutor/a: Lidón Cerezuela, Antonio Luis

Cotutor/a: Castell Zeising, Vicente

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

Título

Descomposición de la paja de arroz utilizada como acolchado en cultivos leñosos.

Resumen

El arroz, al igual que otros cereales, genera un gran volumen de residuos tras la cosecha. De ahí que, en las zonas productoras donde se concentra una gran superficie de cultivo, la gestión de este residuo sea un problema. En la zona de Valencia lo habitual era la quema de la paja, dada la imposibilidad de su incorporación al suelo debido a la inundación de los campos al ser zona de protección de aves. Sin embargo, esta práctica genera problemas de salud y de contaminación atmosférica en el entorno de las zonas de cultivo, por lo que está prohibida como norma general. Una alternativa a la quema de la paja de arroz en las zonas productoras es su uso como acolchado en otros cultivos, especialmente leñosos. Su efecto se traduce en una menor presencia de malas hierbas, en el mantenimiento de la humedad del suelo, en una disminución de la amplitud térmica del suelo, lo que puede repercutir en la actividad biológica y los procesos de mineralización de la materia orgánica del suelo. La implantación y mantenimiento de un acolchado a base de restos orgánicos, como es el caso de la paja de arroz, requiere conocer la tasa de descomposición de la paja añadida, ya que es el principal factor a tener en cuenta a la hora de decidir cada cuanto tiempo es necesario reponer con nueva paja el acolchado.

En este trabajo se evalúa la tasa de descomposición de la paja de arroz en campos de caqui y cítricos de dos zonas diferentes de cultivo situadas en las comarcas de Los Serranos y La Ribera. La medida de la descomposición se realiza mediante la pérdida de peso de la paja colocada en bolsas de malla y puestas en campo sobre la superficie del suelo desnudo y debajo del acolchado de paja durante un periodo de dos años. Además, se evaluó la evolución en el tiempo de la relación C/N de la paja incubada en campo, como una medida de la transformación del residuo.

Los resultados obtenidos aportaron información acerca de la periodicidad en el aporte de paja en acolchados realizados en cultivos leñosos. Transcurrido un año tras la colocación del *mulch*, queda alrededor del 50% de la paja utilizada. A los dos años la paja existente en campo es del 20% aproximadamente. Los factores más influyentes en la descomposición de la paja son el tiempo, el cultivo y el tratamiento de la misma.

La paja presenta una mayor descomposición en campos de caqui que en campos de cítricos. También descompone más rápidamente la parte inferior de la cubierta del acolchado que la zona expuesta al aire.

Este trabajo se relaciona con los siguientes ODS de la Agenda 2030: 13 Acción por el Clima y 15 Vida de Ecosistemas Terrestres.

Palabras clave: *mulch*, mineralización, C/N, caqui, cítricos

Alumno: José Vicente Seguí Martos

Tutor: Antonio Luís Lidón Cerezuela

Cotutor: Vicente Castell Zeising

28/07/2023. Valencia

Title

Decomposition of rice straw used as mulch in woody crops.

Summary

Rice, like other cereals, generates a large volume of residues after harvest. Hence, in producing areas where a large area of cultivation is concentrated, the management of this residue is a problem. In the area of Valencia the usual action was the burning of the straw, given the impossibility of its incorporation into the soil due to the flooding of the fields as it is a bird protection area. However, this practice generates health problems and air pollution in the surroundings of the cultivation areas, so it is prohibited as a general rule. An alternative to burning of rice straw in producing areas is its use as mulch in other crops, especially woody crops. Its main effects are a lower presence of weeds, maintenance of soil moisture, decrease of the thermal amplitude of the soil, which can have an impact on the biological activity and mineralization processes of soil organic matter. The implementation and maintenance of a mulch based on organic residues, as is the case of rice straw, requires knowing the rate of decomposition of the added straw, since it is the main factor to take into account when deciding how often it is necessary to replace the mulch with new straw.

This Final Degree Thesis evaluates the rate of decomposition of rice straw in persimmon and citrus fields of two different growing areas located in the regions of Los Serranos and La Ribera. The measurement of decomposition is done by determining weight loss of straw in mesh bags placed in the field on the surface of the bare soil and under the straw mulch over a period of two years. In addition, the evolution over time of the C/N ratio of the straw incubated in the field was evaluated, as a measure of the transformation of the residue.

The results obtained provided information about the periodicity in the contribution of straw in mulches made in woody crops. One year after the mulch is placed, about 50% of the straw used remains. After two years, the existing straw in the field is approximately 20%. The most influential factors in the decomposition of straw are time, cultivation management and treatment of it.

Straw shows a greater decomposition in persimmon fields than in citrus fields. It also shows a faster decomposition rate of the bottom of the mulch cover than the area exposed to air.

This work relates to the following SDGs of the 2030 Agenda: 13 Climate Action and 15 Life on Land.

Keywords: *mulch*, mineralization, C/N, persimmon, citrus

Student: José Vicente Seguí Martos

Tutor: Antonio Luís Lidón Cerezuela

Cotutor: Vicente Castell Zeising

28/07/2023. Valencia

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero destacar los ánimos, apoyo y cariño incondicional recibido por parte de mis padres. Sin ellos este camino habría sido más complicado todavía.

AGRADECER, así con mayúsculas, la eterna compañía durante tantas horas de estudio de mi inseparable Bella. También a los amigos que han estado cerca, dándome fuerzas y levantándome en momentos difíciles, además de compartir buenos momentos necesarios.

En el ámbito universitario debo hacer mención especial para Antonio y Vicente, gracias por todo, no podría tener mejores tutores de TFG.

Por último, señalar que este Trabajo Final de Grado ha sido realizado en el marco del proyecto RTC-2017-6249-2-AR *“Desarrollo de un nuevo insumo para la agricultura sostenible: mulch de paja de arroz con incorporación de bacterias promotoras del crecimiento de las plantas (PGPB) y mecanización integral de procesos”*, SmartMulch, correspondiente a la convocatoria Retos Colaboración de 2017 del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades.

Índice general

1. Introducción.....	1
1.1. El cultivo del arroz.....	1
1.2. El cultivo del arroz en España.....	1
1.3. El cultivo del arroz en la comunidad valenciana.....	2
1.4. Paja del arroz: residuo y problemática en la zona de Valencia.....	2
1.5. Alternativas a la quema.....	4
1.6. Acolchado.....	5
2. Objetivo.....	6
3. Material y métodos.....	7
3.1. Descripción de las zonas de estudio.....	7
3.1.1. Localización de las parcelas empleadas en el estudio.....	7
3.2. Diseño de la subparcela de ensayo.....	10
3.3. Descripción del acolchado (dosis).....	12
3.4. Datos meteorológicos.....	12
3.5. Ensayo de campo y procesado de muestras.....	13
4. Resultados.....	17
4.1. Meteorología en las zonas experimentales.....	17
4.1.1. Temperatura media.....	17
4.1.2. Temperatura máxima.....	17
4.1.3. Temperatura mínima.....	18
4.1.4. Humedad relativa.....	19
4.1.5. Precipitación media diaria.....	19
4.1.6. Radiación diaria.....	20
4.2. Descomposición de la paja de arroz.....	20
4.2.1. Descomposición de la paja en la zona de Pedralba.....	21
4.2.2. Descomposición de la paja en la zona de L'Alcúdia y Alzira...	22
4.2.3. Descomposición de la paja: factores que afectan.....	24
4.3. Variación en el contenido de carbono y nitrógeno de la paja de arroz.	26
5. Conclusiones.....	30
6. Bibliografía.....	31

Índice figuras

Figura 1. Producción de arroz ‘paddy’ (con cáscara) en España en 2021, por comunidades autónomas.....	1
Figura 2. Vista general de la localización de procedencia de la paja del arroz y de las parcelas donde es utilizada como mulch.....	8
Figura 3. Localización de las parcelas de caqui en Pedralba. (A1 caqui ecológico, A2 caqui convencional).....	8
Figura 4. Localización de las parcelas de cítricos en Pedralba. (A3 cítrico ecológico, A4 cítrico convencional).....	9
Figura 5. Localización de las parcelas de caqui en L’Alcúdia. (B1 caqui ecológico, B2 caqui convencional).....	9
Figura 6. Localización de las parcelas de cítricos en Alzira. (B3 cítrico ecológico, B4 cítrico convencional).....	10
Figura 7. Esquema general del ensayo, correspondiendo el área sombreada a las zonas con paja	11
Figura 8. Bolsa rellena de paja, etiquetada y preparada para su transporte (en sobre blanco) y posterior colocación en campo	13
Figura 9. Bolsas con paja para determinación de la descomposición en campo. (A la izquierda, subparcela sin paja (subparcela2); a la derecha, subparcela con paja antes de ser cubiertas)	15
Figura 10. Bolsa de descomposición recogida tras seis meses en campo	15
Figura 11. A la izquierda muestra estado inicial paja. A la derecha muestra fecha 12 meses	16
Figura 12. Temperatura media diaria desde el 01/01/2019 al 31/12/2021 en las 3 zonas estudiadas.....	17
Figura 13. Temperatura máxima diaria desde el 01/01/2019 al 31/12/2021 en las 3 zonas estudiadas.....	18
Figura 14. Temperatura mínima diaria desde el 01/01/2019 al 31/12/2021 en las 3 zonas estudiadas.....	18
Figura 15. Humedad relativa diaria desde el 01/01/2019 al 31/12/2021 en las 3 zonas estudiadas.....	19
Figura 16. Precipitación media diaria desde el 01/01/2019 al 31/12/2021 en las 3 zonas estudiadas.....	20
Figura 17. Radiación media diaria desde el 01/01/2019 al 31/12/2021 en las 3 zonas estudiadas.....	20
Figura 18. Evolución en el tiempo del porcentaje de paja que permanece en las muestras de la zona de Pedralba para los diferentes cultivos y manejos. En azul se representa la descomposición de las muestras situadas debajo del mulch de paja, y en naranja las de las muestras que se dejan en la superficie del suelo.....	21

Figura 19. Evolución de la descomposición de la paja de arroz en la zona de Pedralba según posición, ubicación, manejo y cultivo.....	22
Figura 20. Evolución en el tiempo del porcentaje de paja que permanece en las muestras de la zona de L'Alcúdia para los diferentes manejos. En azul se representa la descomposición de las muestras situadas debajo del mulch de paja, y en naranja las de las muestras que se dejan en la superficie del suelo.....	23
Figura 21. Evolución en el tiempo del porcentaje de paja que permanece en las muestras de la zona de Alzira para los diferentes manejos. En azul se representa la descomposición de las muestras situadas debajo del mulch de paja, y en naranja las de las muestras que se dejan en la superficie del suelo.....	23
Figura 22. Evolución de la descomposición de la paja de arroz en la zona de La Ribera según posición, ubicación, manejo y cultivo.....	24
Figura 23. Evolución de la relación C/N de la paja de arroz en las diferentes zonas y cultivos.....	28

Índice tablas

Tabla 1. Características generales de las parcelas	7
Tabla 2. Características específicas de cada parcela	11
Tabla 3. Cantidad de paja aportada en cada parcela de Pedralba	12
Tabla 4. Cantidad de paja aportada en cada parcela de L'Alcúdia/Alzira	12
Tabla 5. Resultados del ANOVA factorial sobre la descomposición de la paja en función de A) tiempo de incubación, B) zona, C) cultivo, D) sistema de cultivo, E) tratamiento de paja y F) posición respecto a la línea de gotero.....	25
Tabla 6. Comparación de medias. Las letras minúsculas en un mismo factor indican valores medios significativamente diferentes (nivel de significación: 95%).....	25
Tabla 7. Contenido de C de la paja, expresado en g/100g, para cada fecha de evaluación en cada una de las parcelas de la zona de Pedralba.....	27
Tabla 8. Contenido de C de la paja, expresado en g/100g, para cada fecha de evaluación en cada una de las parcelas de la zona de L'Alcúdia/Alzira.....	27
Tabla 9. Contenido de N de la paja, expresado en g/100g, para cada fecha de evaluación en cada una de las parcelas de la zona de Pedralba.....	27
Tabla 10. Contenido de N de la paja, expresado en g/100g, para cada fecha de evaluación en cada una de las parcelas de la zona de L'Alcúdia/Alzira.....	28
Tabla 11. Resultados del ANOVA factorial sobre el porcentaje de C y N en función de A) tiempo de incubación, B) zona, C) cultivo, D) sistema de cultivo, E) tratamiento de paja y F) posición respecto a la línea de gotero.....	29
Tabla 12. Comparación de medias. Las letras minúsculas en un mismo factor indican valores medios significativamente diferentes (nivel de significación: 95%)...	29

1. INTRODUCCIÓN

1.1. EL CULTIVO DEL ARROZ

El arroz (*Oryza sativa*) es un cereal de gran importancia, ya que es consumido por gran parte de la población del planeta.

El cultivo del arroz presenta una alta relevancia, pues es uno de los principales alimentos de la dieta humana a nivel mundial. Por ello, es destacable la importancia que representa su cultivo.

Se trata de una planta herbácea perteneciente a la familia de las poáceas, de la que se aprovecha su grano para el consumo humano o animal. Actualmente se cultivan miles de variedades en todo el mundo, seleccionadas en función de las características, los medios de cultivo y las preferencias de cada región (Monzó, 2020).

1.2. EL CULTIVO DEL ARROZ EN ESPAÑA

El sector del arroz en España se localiza principalmente en zonas con ciertas restricciones medioambientales, como humedales y áreas próximas a espacios naturales protegidos.

En lo referente a su distribución, la figura 1 muestra la producción correspondiente a aquellas autonomías que encabezan la lista de zonas productoras, del año 2021.

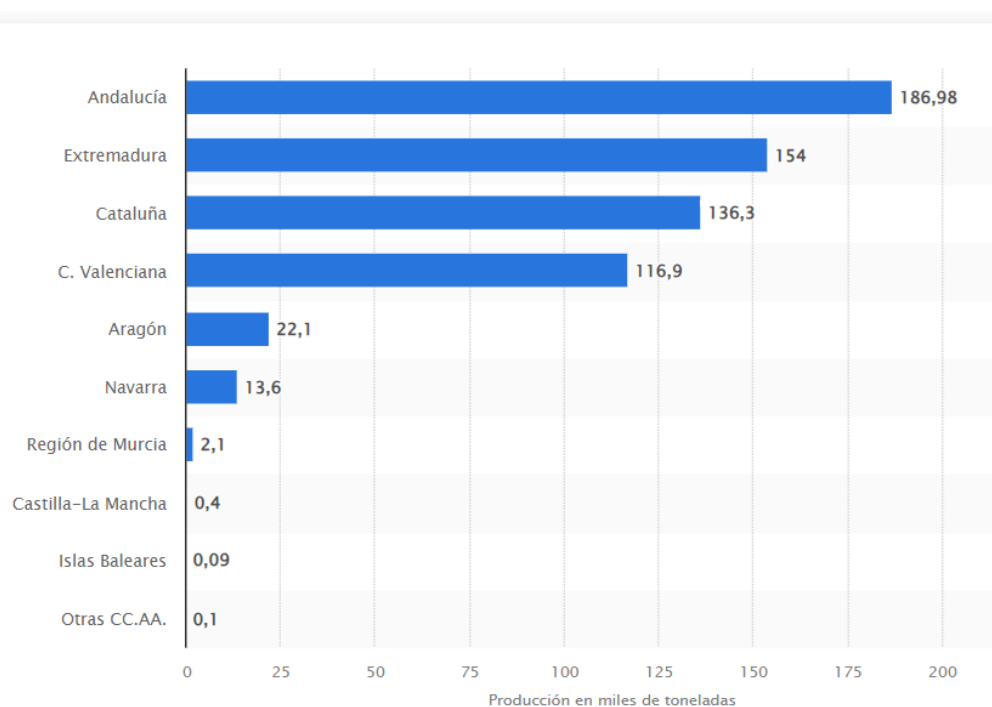


Figura 1. Producción de arroz 'paddy' (con cáscara) en España en 2021, por comunidades autónomas.
Fuente: Statista.com

La comunidad autónoma con mayor producción a nivel nacional es Andalucía albergando casi el 30% de la producción española.

La Comunidad Valenciana se encuentra en cuarto lugar asumiendo aproximadamente el 18% de la producción del país.

Según la encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación correspondiente al año 2021, la superficie de arroz cosechada en España fue de 84.678 ha, con una producción de 624.352 t y un rendimiento estimado de 737 t ha⁻¹ (MAPA, 2023).

1.3. EL CULTIVO DEL ARROZ EN LA COMUNIDAD VALENCIANA

En la Comunidad Valenciana la mayor parte de la producción se concentra en el Parque Natural de L'Albufera, donde este cultivo es característico y tradicional. Por ello, es de vital importancia llevar a cabo un manejo adecuado del mismo y realizar una correcta gestión de los residuos generados, con el fin de proteger estas zonas con gran diversidad biológica y un excepcional valor ambiental, paisajístico y cultural.

Como se señala con anterioridad, la Comunidad Valenciana es responsable de un 18% de la producción nacional de arroz con 15.282 ha y un rendimiento de 7,56 t ha⁻¹. La producción de paja de arroz se estima en unas 5-6 t ha⁻¹, por tanto, en L'Albufera de Valencia se están originando anualmente unas 75.000-90.000 t de paja de arroz que requieren de una adecuada gestión (MAPA, 2023).

1.4. PAJA DEL ARROZ: RESIDUO Y PROBLEMÁTICA EN LA ZONA DE VALENCIA

La paja de arroz es uno de los subproductos más problemáticos de eliminar durante la cosecha del arroz. Esto es debido a que prácticamente todo el arroz se cosecha en un corto periodo de tiempo (pocas semanas) y se genera un volumen de residuo de paja muy elevado.

Debido a la escasa demanda de este residuo, el reducido aprovechamiento del mismo y la falta de maquinaria especializada para reducir los costes de la retirada de la paja de los arrozales, hace que la práctica más frecuente y rentable para los agricultores sea la quema de la paja en campo. Este ha sido su uso de manera histórica, debido a la fácil eliminación de las grandes cantidades generadas y a los beneficios agronómicos y fitosanitarios en las próximas cosechas. La experiencia demuestra que esta práctica favorece la destrucción de esporas de hongos como la *Pyricularia oryzae*, así como algunas bacterias y semillas de malas hierbas que podrían afectar al próximo cultivo, además de reincorporar determinados nutrientes al suelo (Ribó *et al.*, 2017).

Este modo de gestión supone grandes emisiones de contaminantes atmosféricos en un periodo corto de tiempo, lo que puede provocar un gran incremento en la concentración de sustancias como el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxidos de nitrógeno (NO_x), óxidos de azufre (SO_x), hidrocarburos, dioxinas y partículas en suspensión (Ribó *et al.*, 2017; Abril *et al.*, 2009). Estas emisiones de contaminantes atmosféricos pueden desencadenar problemas ambientales y de salud pública, ya que se trata de gases de efecto invernadero y sustancias que pueden afectar al sistema respiratorio (Iranzo *et al.*, 2004; Ribó *et al.*, 2017).

La quema de la paja es una práctica que supone una gran fuente de contaminantes atmosféricos, por lo que el efecto que tiene sobre la contaminación ambiental y la

muerte de insectos y microorganismos del suelo es de gran importancia. 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 (Abril *et al.*, 2009). Esta problemática se agrava en la zona de L'Albufera debido a su proximidad a la ciudad y poblaciones adyacentes.

Esta práctica se realiza habitualmente porque retirar la paja de los campos de arroz supone un elevado coste. Cualquier proyecto que pretenda eliminar el problema de la quema de la paja del arroz, deberá generar recursos económicos necesarios que permitan pagar, al menos, los costes de recogida de los arrozales, los cuales suponen unos 40 €/t.

Otro problema que aparece en la gestión alternativa a la quema de la paja del arroz es que la recolección mecánica de estos residuos provoca que la cosechadora genere franjas de paja que dificultan las labores posteriores; además, según indican Abril *et al.*, (2009) la maquinaria pesada desnivela el terreno sobre el suelo fangoso, ocasionando daños en canales y márgenes. Esto encarece de forma importante esta práctica.

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.

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 N (hasta 80%), de P (hasta 25%), de K (hasta 21%) y de S (4-60%).

En L'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 ocasiona esta práctica a los ciudadanos de la ciudad de Valencia y las localidades de alrededor de L'Albufera. Se acordó y 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 solventar estos problemas sería la adopción de diferentes medidas para administrar este recurso natural.

1.5. ALTERNATIVAS A LA QUEMA

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

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.

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

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

La paja del arroz también 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 genera una importante 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).

En el cultivo de otros 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 elevado contenido en sílice.

En la Comunidad Valenciana, la Conselleria de Agricultura propuso un Plan de Gestión de la Paja del Arroz hasta 2021, con soluciones alternativas para la gestión de los desechos agrícolas. El objetivo fue el tratamiento de la paja de arroz como un recurso y no como un residuo, fomentando así la economía circular (Monzó, 2020).

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

1.6. ACOLCHADO

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

En cuanto al control de malas hierbas, esta técnica impide la penetración de la luz y constituye una barrera física para la emergencia de flora arvense. Asimismo, controla la maleza favoreciendo su asfixia y evitando la germinación de semillas. Por otro lado, se consiguen ciertos beneficios ambientales, ya que los acolchados impiden la contaminación del suelos y acuíferos al reducir la infiltración de productos fitosanitarios utilizados en el manejo de los cultivos y, a su vez, reducen las pérdidas de suelo por erosión debido a la reducción de la escorrentía superficial y a la limitación de la acción del viento (Zribi *et al.*, 2011).

Son muy variados los tipos de materiales utilizados para cubrir la superficie del suelo: desde materiales plásticos y geotextiles hasta residuos orgánicos de cultivos agrícolas, como en este caso, la paja del arroz obtenida tras la recolección del grano.

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 (Zribi, 2013) por sus efectos sobre el suelo, como: protección de la erosión, 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, reducción de la salinidad (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) y control de malas hierbas,... En este último aspecto, la paja de arroz es tan eficaz como un herbicida, al menos durante el primer año de tratamiento ya que existe 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 (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.

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 350.000 t a⁻¹, de los cuales el residuo del arroz constituye alrededor del 51% (Segarra, 2022), por ello, es importante disponer de alternativas para su uso.

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

Las cubiertas orgánicas requieren un mantenimiento y, para ello, es necesario conocer la tasa de degradación o descomposición y así poder estimar el tiempo de reposición.

2. OBJETIVO

El principal objetivo de este trabajo es la evaluación de la descomposición de la paja de arroz en condiciones de campo cuando es utilizada como acolchado en cultivos frutales.

Esta evaluación se lleva a cabo en 2 tipos de cultivo (cítricos y caqui), con dos manejos distintos (ecológico y convencional). Las parcelas de cultivo se encuentran situadas en dos zonas con condiciones meteorológicas diferentes, como son Los Serranos (Pedralba) y La Ribera Alta (L'Alcúdia y Alzira). Todos estos factores son elegidos para comparar posibles diferencias y obtener resultados más ajustados acerca de la idoneidad del uso de la paja de arroz como acolchado en frutales en la zona de Valencia.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

Para la realización del estudio se buscaron parcelas donde ubicar los ensayos en dos zonas diferentes, pero, en ambos casos, representativas en cuanto a los dos cultivos objeto del mismo (cítricos y caqui). Las zonas se identificaron como zona A (4 parcelas de cultivo en el término municipal de Pedralba, comarca de Los Serranos - Valencia) y zona B (4 parcelas de cultivo: 2 en el término municipal de L'Alcúdia (caqui) y 2 en el término de Alzira (cítricos), ambos en la comarca de La Ribera Alta del Xúquer – Valencia).

En el término de Pedralba se dan ambos cultivos de forma indistinta. En el término de L'Alcúdia predomina el cultivo del caqui y en el término de Alzira se buscó una zona particularmente interesante para el cultivo de cítricos, como es el valle de La Casella.

En cada una de las dos zonas, A y B, se procuró que existieran, asimismo, las dos modalidades de cultivo contempladas en este estudio: 'convencional' y 'ecológico'.

3.1. DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS DE ESTUDIO

En la siguiente tabla se describen las características generales de las parcelas utilizadas en el estudio.

Tabla 1. Características generales de las parcelas.

Cultivo	Referencia	Ubicación	Coordenadas		Manejo
caqui	A1	Pedralba	39° 35' 50.6'' N	0° 43' 40.8'' W	ecológico
	A2	Pedralba	39° 35' 56.1'' N	0° 43' 48.0'' W	convencional
	B1	L'Alcúdia	39° 10' 48.6'' N	0° 33' 45.9'' W	ecológico
	B2	L'Alcúdia	39° 10' 57.1'' N	0° 33' 26.0'' W	convencional
cítrico	A3	Pedralba	39° 36' 31.9'' N	0° 44' 41.4'' W	ecológico
	A4	Pedralba	39° 35' 06.8'' N	0° 44' 20.4'' W	convencional
	B3	Alzira	39° 08' 05.7'' N	0° 24' 26.2'' W	ecológico
	B4	Alzira	39° 07' 28.5'' N	0° 22' 37.2'' W	convencional

3.1.1. Localización de las parcelas empleadas en el estudio

A continuación, se presentan imágenes con la localización de cada parcela del trabajo. (imágenes obtenidas del Instituto Cartográfico de Valencia)



Figura 2. Vista general de la localización de procedencia de la paja del arroz y de las parcelas donde es utilizada como mulch.

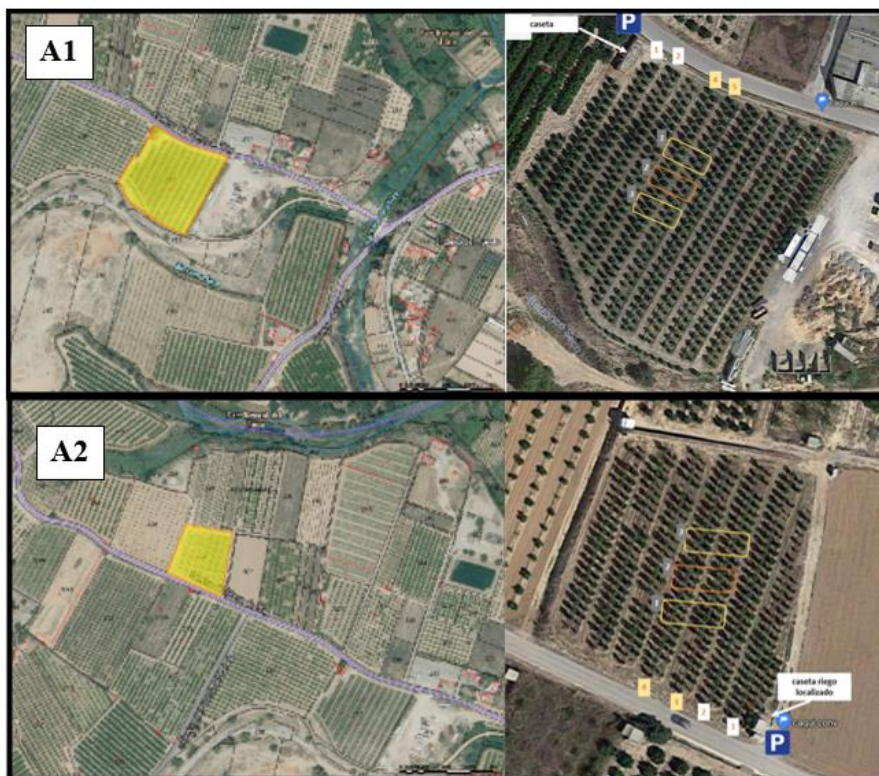


Figura 3. Localización de las parcelas de caqui en Pedralba. (A1 caqui ecológico, A2 caqui convencional)

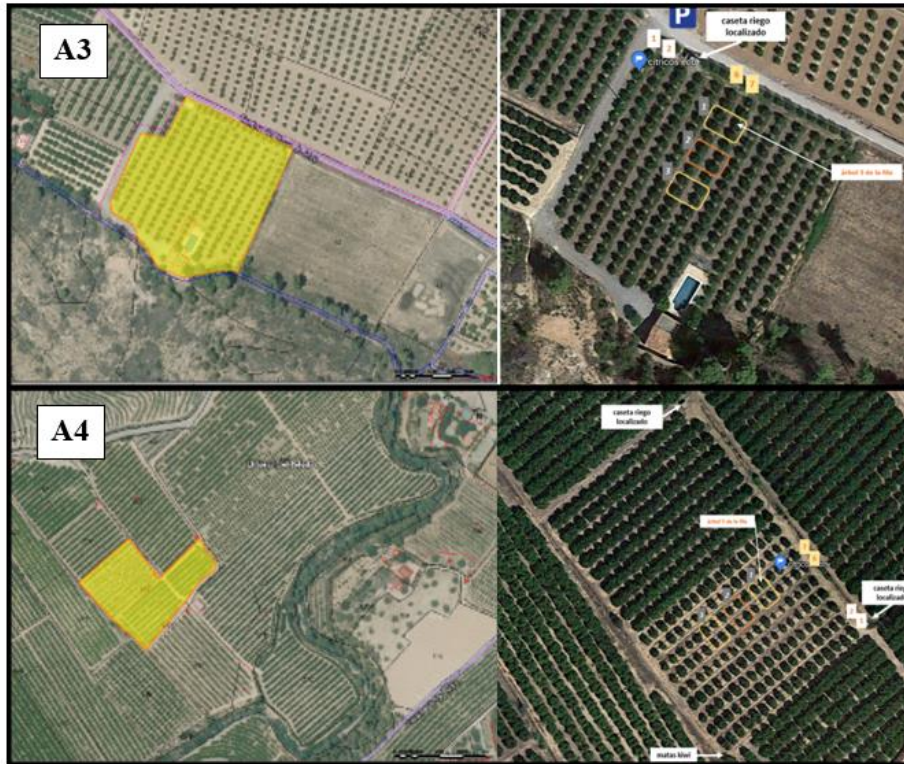


Figura 4. Localización de las parcelas de cítricos en Pedralba. (A3 cítrico ecológico, A4 cítrico convencional)

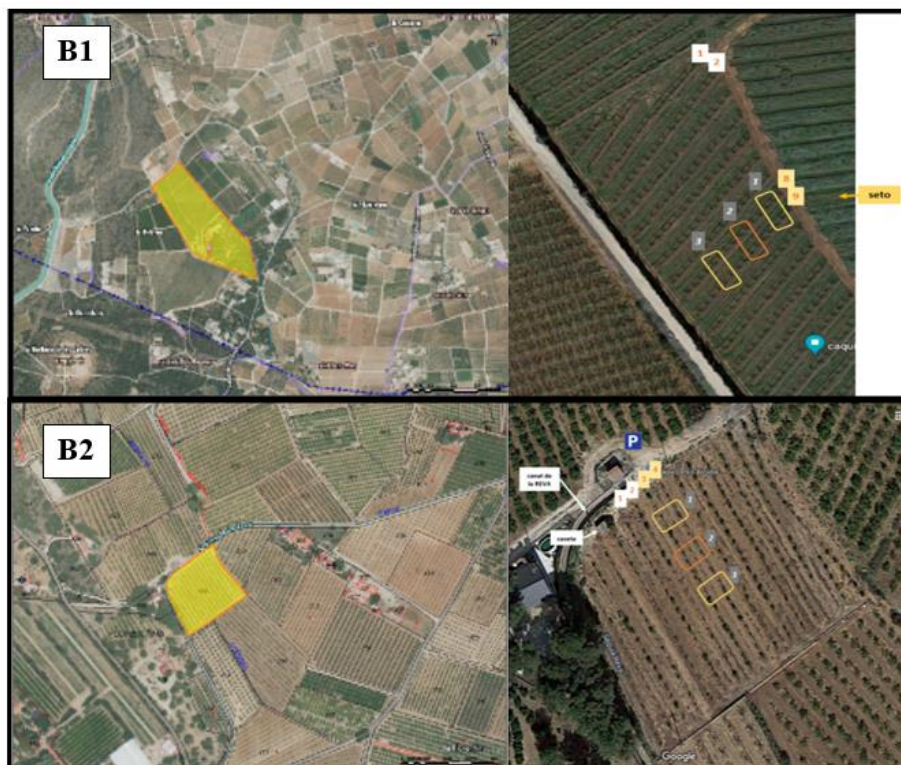


Figura 5. Localización de las parcelas de caqui en L'Alcúdia. (B1 caqui ecológico, B2 caqui convencional)

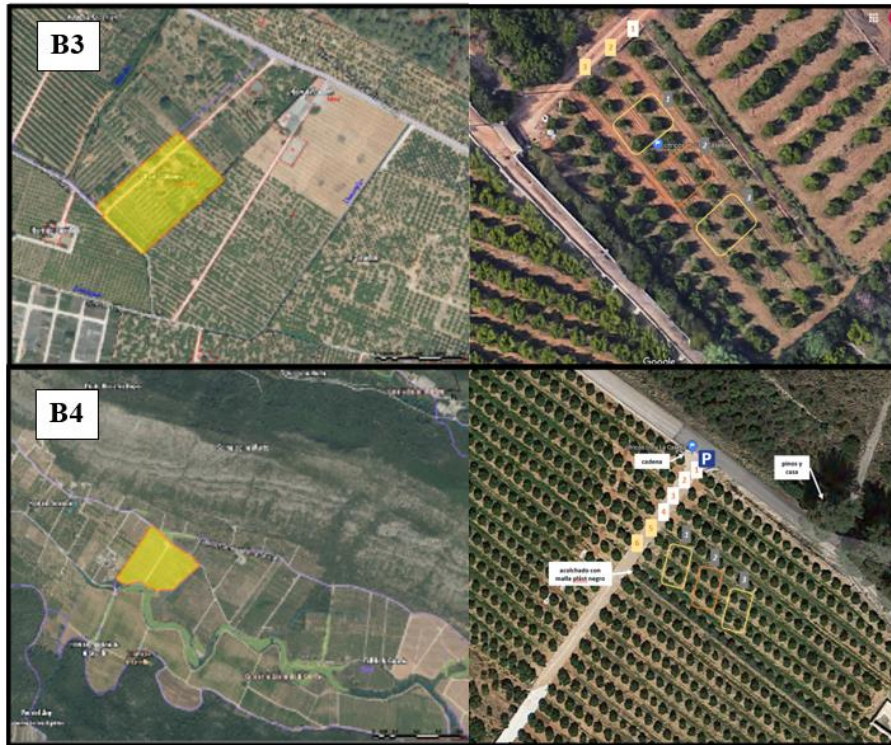


Figura 6. Localización de las parcelas de cítricos en Alzira. (B3 cítrico ecológico, B4 cítrico convencional)

3.2. DISEÑO DE LA SUBPARCELA DE ENSAYO

Se diseñó la subparcela experimental en cada parcela de cultivo donde plantear el estudio del efecto del *mulch* con paja de arroz y donde ubicar la zona de registro de datos y toma de muestras. Para ello se planteó que la zona de ensayos abarcara 4 filas con 10 árboles cada una, afectando el estudio a 12 árboles divididos en 3 grupos de cuatro, tal como se muestra en el esquema siguiente:

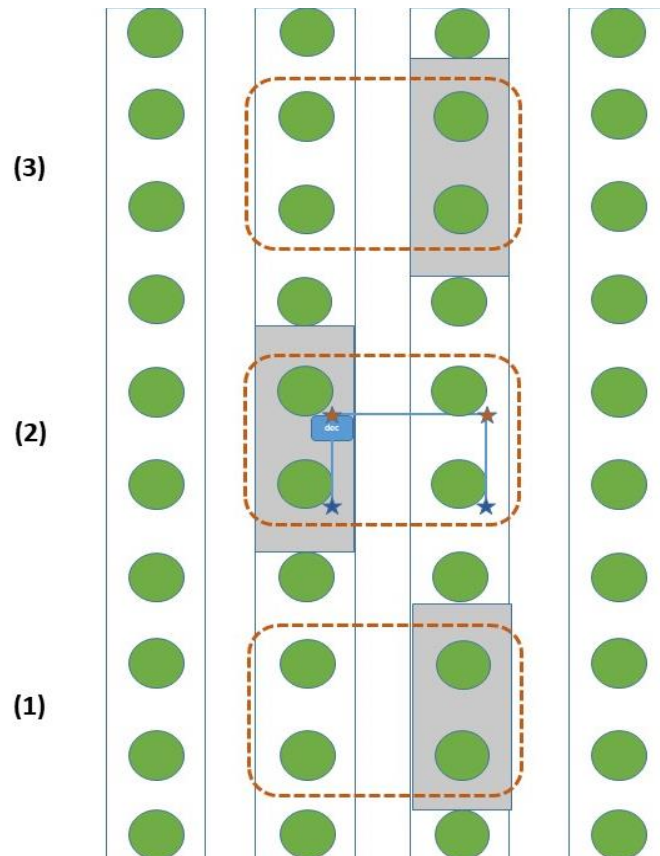


Figura 7. Esquema general del ensayo, correspondiendo el área sombreada a las zonas con paja.

En todas las parcelas, tras comprobar que la distribución del cultivo eran uniformes, se tomaron las medidas que aparecen en la tabla 2.

Tabla 2. Características específicas de cada parcela.

	Entre árboles (m)	Entre líneas (m)	Anchura meseta (m)	Anchura calle (m)	Variedad	Superficie (ha)
A1	3,0	5,0	4,0	3	caqui 'Rojo Brillante'	0,77
A2	2,0	5,0	4,0	3	caqui 'Rojo Brillante'	0,36
A3	4,0	6,0	2,5	3,5	naranja 'Barnfield Late Navel'	0,61
A4	4,0	6,0	2,5	3,5	naranja 'Navelina'	0,88
B1	3,0	5,0	2,5	3,5	caqui 'Rojo Brillante'	1,13
B2	3,0	4,5	2,0	2,5	caqui 'Rojo Brillante'	0,47
B3	4,0	4,0	1,5	2,5	mandarina 'Orogrande'	0,34
B4	4,0	6,0	2,0	4,0	naranja 'Navelina' injertado con mandarina híbrida 'Nadorcott'	1,65

3.3. DESCRIPCIÓN DEL ACOLCHADO (DOSIS)

Con los datos de distancias y superficies indicados anteriormente (apartado 3.2.), se pudo estimar cantidad la paja de arroz necesaria en cada una de las subparcelas.

Tabla 3. Cantidad de paja aportada en cada parcela de Pedralba.

Pedralba. Aporte de paja 2019								
A1			A2		A3		A4	
	S (m ²)	Paja (kg)	S (m ²)	Paja (kg)	S (m ²)	Paja (kg)	S (m ²)	Paja (kg)
Con 1	7.60	12.8	6.60	12.4	12.5	18	13.53	18.5
Con 2	7.79	13.8	6.20	13.7	14.7	17.3	16.17	18.5
Con 3	7.20	12.1	7.26	13.4	14.4	16.9	18.29	20.3
Total	22.59	38.7	20.06	39.5	42.6	52.2	47.99	57.4

Tabla 4. Cantidad de paja aportada en cada parcela de L'Alcúdia/Alzira.

L'Alcúdia/Alzira. Aporte de paja 2019								
B1			B2		B3		B4	
	S (m ²)	Paja (kg)	S (m ²)	Paja (kg)	S (m ²)	Paja (kg)	S (m ²)	Paja (kg)
Con 1	7.00	9.9	5.25	7.0	10.00	13.0	7.05	9.2
Con 2	7.00	8.6	5.25	7.0	10.00	13.0	7.05	9.2
Con 3	7.00	8.6	6.08	8.0	10.00	13.0	7.05	9.2
Total	21.00	27.1	16.58	22.0	30.00	39.0	21.15	27.6

La cantidad de paja aportada oscila alrededor de valores de 13 a 17 t ha⁻¹.

Las subparcelas a las cuales se les aplicó acolchado se denominaron, de forma general en todas las parcelas, como 'con 1', 'con 2' y 'con 3'. De forma análoga las subparcelas homólogas sin paja se denominaron 'sin 1', 'sin 2' y 'sin 3', respectivamente.

3.4. DATOS METEOROLÓGICOS

Para ver posibles efectos de la climatología sobre la degradación de la paja se tuvieron en cuenta factores climáticos como la temperatura media, máxima y mínima, la humedad relativa, la precipitación media y la radiación de cada zona (Pedralba, L'Alcúdia y Alzira), para el periodo establecido entre el 01/01/2019 y 31/12/2021.

Dicha información se obtuvo de la base de datos de la web <http://riegos.ivia.es/datos-meteorologicos>.

Se han seleccionado datos diarios correspondientes a las estaciones meteorológicas más próximas a las zonas de estudio.

Los datos de Pedralba corresponden a la estación meteorológica ubicada en Pedralba.

Los datos de L'Alcúdia corresponden a la estación meteorológica ubicada en Algemesí.

Los datos de Alzira corresponden a la estación meteorológica ubicada en Carcaixent.

3.5. ENSAYO DE CAMPO Y PROCESADO DE MUESTRAS

En este apartado se detallan los trabajos realizados para evaluar la tasa de descomposición de la paja de arroz en el período comprendido desde el segundo semestre de 2019 al primer semestre de 2022, ya que fue un trabajo de preparación de muestras, recogida y procesado de éstas que se alargó en el tiempo durante todo el período indicado.

Se realizaron incubaciones en campo en las que se utilizaron bolsas de descomposición colocadas en las parcelas de estudio, y en las que se midió, en diferentes momentos a lo largo del ensayo, la pérdida de peso del material original con el que se rellenaron las bolsas. A continuación, se describen los trabajos realizados.

Inicialmente se diseña el sistema de medida de la descomposición de la paja en campo, probando diferentes tipos de materiales para utilizar como bolsa y diferentes cantidades de paja. Dada la experiencia previa que se disponía de anteriores trabajos donde se había evaluado la descomposición de acículas de pino (Lado-Monserrat *et al.*, 2016), se opta por bolsas de malla (fibra de vidrio) de tamaño 15x20 cm² con un paso de luz de 1,5 mm, cosidas en los laterales por hilo de nylon, tal y como se muestra en la figura 8. Dado el tamaño de bolsa seleccionado, se opta por colocar 10 g de paja por bolsa.

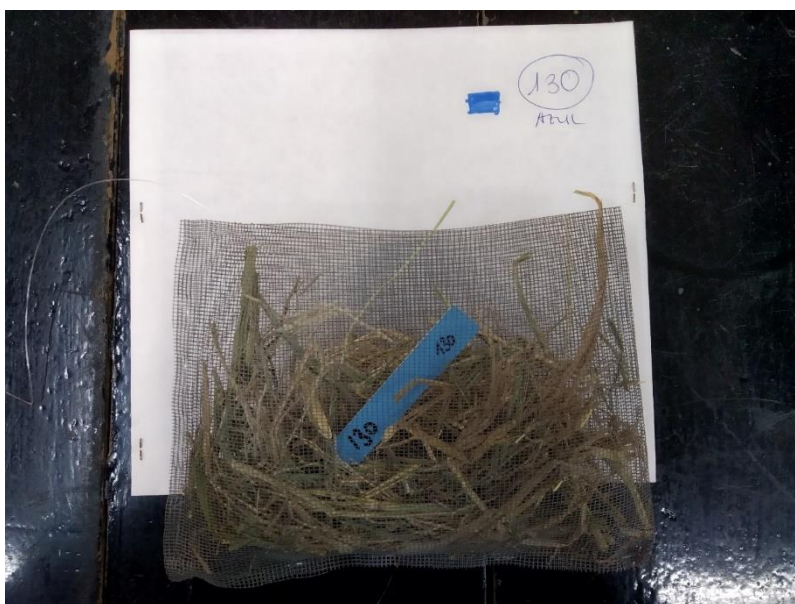


Figura 8. Bolsa rellena de paja, etiquetada y preparada para su transporte (en sobre blanco) y posterior colocación en campo.

El número de bolsas a confeccionar para cubrir el ensayo *in situ* se obtiene a partir de la siguiente información:

- momento inicial de las bolsas (0) y 5 fechas de retirada en campo: 3, 6, 12, 18 y 24 meses desde la colocación.

- 2 tratamientos: zona donde las bolsas se colocaron debajo del *mulch* de paja (CON) y zona donde las bolsas se colocaron sobre el suelo, expuestas al aire, en las zonas de ensayo sin *mulch* (SIN).

- 2 puntos: se colocaron dos bolsas por fecha y tratamiento, una cerca de la línea portagoteros y otra en la parte alta de la meseta, alejada de la línea de riego.

- 8 parcelas: 4 caqui (dos con manejo ecológico y dos con manejo convencional) y 4 de cítricos (dos con manejo ecológico y dos con manejo convencional). Las parcelas se reparten en las dos zonas previamente descritas.

Se realizó un diseño factorial basado en:

5 fechas x 2 tratamientos x 2 puntos x 8 parcelas.

Se confeccionaron 225 bolsas para cubrir las cinco fechas de retirada en campo y el estado inicial de la paja y posibles necesidades de reposición de bolsas por daños originados por fauna silvestre, vandalismo, pérdidas por labores agrícolas en las parcelas, etc.

Dichas bolsas se rellenaron con 10 g de paja cada una y se les colocó una etiqueta que llevaba rotulado un número identificativo de la parcela, tratamiento, repetición y fecha. Para facilitar la identificación y recogida de bolsas en cada fecha, se utilizaron etiquetas de diferentes colores, de forma que todas las bolsas a retirar en una fecha llevaban una etiqueta del mismo color. Una vez etiquetadas las bolsas se cerraban y se colocaban en sobres de papel para evitar posibles pérdidas de material durante su transporte a las parcelas y su colocación en campo. Los sobres se rotularon con el mismo número y con el mismo código de color de las bolsas, y se guardaron para la posterior recogida de las bolsas en las fechas indicadas y su transporte al laboratorio.

En cada parcela se establecieron dos zonas, con paja y sin paja, y en cada zona se colocaron 10 bolsas correspondientes a las diferentes fechas de recogida (5 cerca del gotero y 5 en la meseta), encima de la superficie de suelo, expuesta al aire, en el caso de la zona sin paja y debajo de la paja en la zona en la que se había incorporado el *mulch* (figura 9). Las bolsas se retiraron a los 3, 6, 12, 18 y 24 m desde su colocación en las parcelas. Las bolsas se fijaron al suelo con unos alambres tipo horquillas para intentar conseguir una buena fijación en su ubicación correspondiente el tiempo que durara el ensayo.

Las bolsas destinadas al estudio de la descomposición de la paja se colocaron en la subparcela 1 (con paja) y la subparcela 2 (sin paja) de cada parcela del estudio, según puede observarse en la figura 9.



Figura 9. Bolsas con paja para determinación de la descomposición en campo. (A la izquierda, subparcela sin paja (subparcela2); a la derecha, subparcela con paja antes de ser cubiertas)

El procedimiento que se siguió llegado el momento de su recogida tras permanecer en campo el tiempo estipulado fue el siguiente:

- Recogida en campo de las bolsas con muestra correspondientes a la fecha indicada.
- Se introdujo la bolsa en su correspondiente sobre para transportarlas a laboratorio.
- En laboratorio, se sacó la bolsa del sobre y se pesó el sobre vacío.
- Se pesó la bolsa tal cual vino de campo.
- Se abrió la bolsa, se extrajo su contenido y se limpió la muestra de paja de otros elementos externos a la muestra.
- Se pesó la muestra de paja limpia.
- La muestra se secó en estufa 24 h a 65 °C.
- Cada muestra se pesó para conocer el peso seco de la misma.
- Se trituró la muestra para la determinación de C y N.

La muestra inicial de paja no se llevó a campo y se procesó directamente, mediante secado a 65 °C para determinar el factor de humedad del material utilizado para el relleno de las bolsas. Una vez seca la paja, se trituró en un molinillo para la determinación analítica de su contenido de carbono y nitrógeno.

La figura 10 es un ejemplo del estado de algunas bolsas según llegaron del campo al laboratorio.



Figura 10. Bolsa de descomposición recogida tras seis meses en campo.

A continuación, pueden observarse en la figura 11 las diferencias visibles entre dos muestras, transcurridos 12 m en campo.



Figura 11. A la izquierda muestra estado inicial paja. A la derecha muestra fecha 12 meses.

Una vez recogidas todas las bolsas de descomposición y completado el procesado de las muestras de paja contenidas en las bolsas, se realizó el análisis del contenido en C y N de todas las muestras. La masa de C y N en cada muestra se obtuvo multiplicando el peso de paja seca por su contenido en C y en N y el balance se realizó por comparación con la cantidad que tenía cada muestra inicialmente y se expresa de forma relativa respecto al contenido inicial. Con toda la información recopilada se ha realizado el análisis estadístico de los datos mediante un análisis de la varianza factorial con interacción utilizando para ello el programa Statgraphics Centurion XVII. Cuando algún factor presentaba diferencias significativas se realizaba una comparación de medias mediante el test de Tukey. Todo ello ha permitido obtener las tasas de descomposición de la paja en las diferentes zonas, cultivos y manejos de los mismos.

4. RESULTADOS

4.1. METEOROLOGÍA EN LAS ZONAS EXPERIMENTALES

A continuación, se representan los principales elementos del tiempo, obtenidos de las estaciones meteorológicas indicadas en el apartado 3.4., y que se han tenido en cuenta en la evaluación de la descomposición de la paja de arroz aportada como *mulch* en las parcelas de caqui y cítricos descritas anteriormente.

4.1.1. Temperatura media diaria

En la figura 12 se representan los valores de temperatura media diaria registrados en las tres zonas objeto de estudio en el período 2019 - 2021. Se observa como los valores más altos corresponden a la zona de Alzira y los más bajos a la zona de Pedralba.

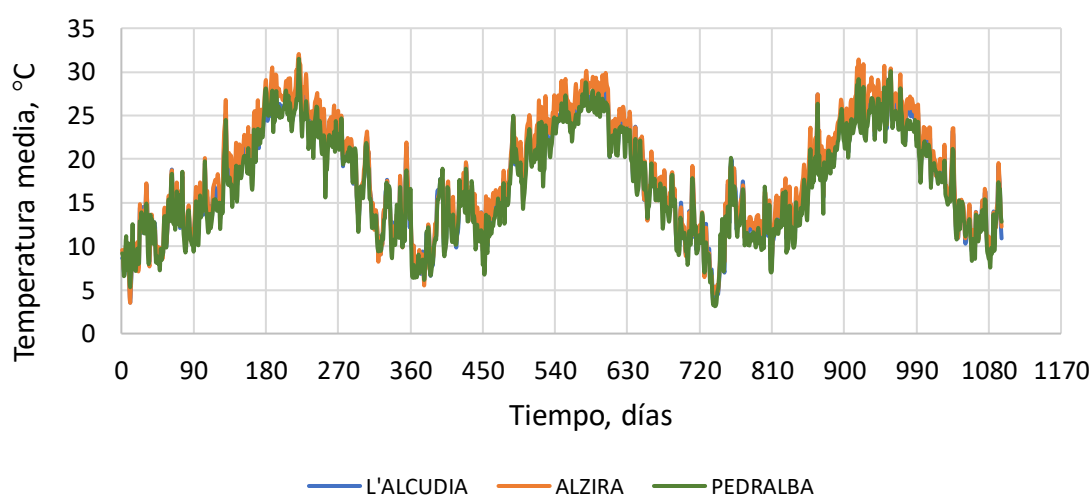


Figura 12. Temperatura media diaria desde el 01/01/2019 al 31/12/2021 en las 3 zonas estudiadas.

La temperatura media para el periodo comprendido entre el 01/12/2019 y el 31/12/2021, correspondiente al estudio de descomposición, fue de 18,1 °C en la zona de Alzira, de 17,4 °C en la zona de L'Alcúdia y de 16,7 °C en la zona de Pedralba.

En las tres zonas, para el periodo de tiempo estudiado, el mes más cálido corresponde a agosto con una temperatura media mensual que varía entre los 26,8 °C en la zona de Alzira y los 25,3 °C en la zona de Pedralba. El mes más frío es enero con un promedio de entre 9,5 – 9,9 °C y mayor igualdad entre zonas. En cuanto a los valores estacionales, las diferencias entre zonas es de 0,85 °C en el invierno, de 1,69 °C en la primavera, de 2,00 °C en el verano y de 1,29 °C en el otoño.

4.1.2. Temperatura máxima diaria

La figura 13 representa la temperatura máxima diaria registrada en cada zona. Igual que sucedía con la temperatura media, la temperatura máxima también alcanza unos valores más elevados en Alzira que en el resto de zonas. Los valores más altos corresponden a los meses de julio y agosto. Los valores promedio para el mes de agosto

oscilan entre 35,0 °C en Alzira y 31,5 °C en L'Alcúdia, con valores puntuales en ambas zonas que superaron los 41 °C. Los valores promedio anuales fueron de 25,1 °C en Alzira, 23,2 °C en L'Alcúdia y 23,0 °C en Pedralba.

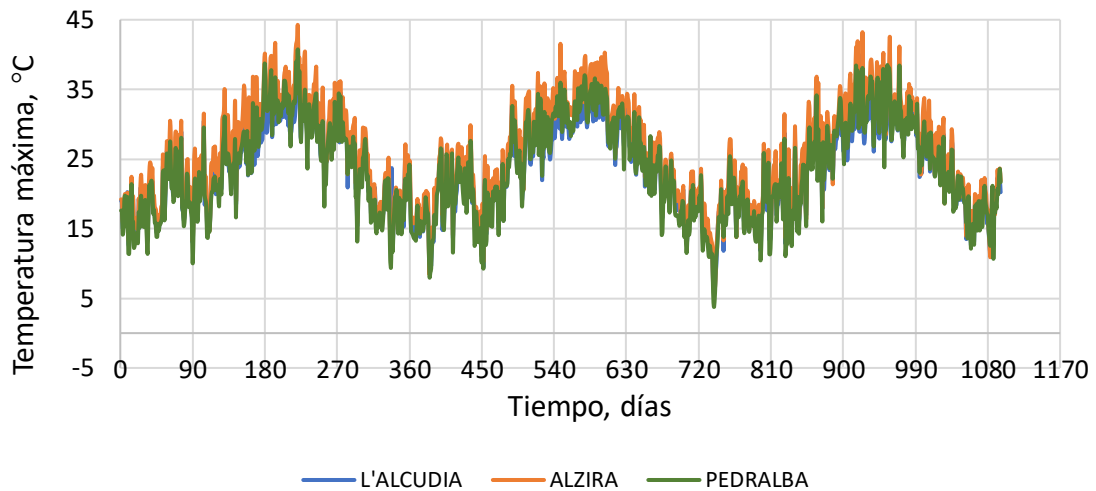


Figura 13. Temperatura máxima diaria desde el 01/01/2019 al 31/12/2021 en las 3 zonas estudiadas.

4.1.3. Temperatura mínima diaria

Según los datos de la temperatura mínima diaria representados en la figura 14 se observa que los valores más bajos corresponden a la zona de Pedralba, con un promedio en el periodo comprendido entre 01/12/2019 y 31/12/2021 de 11,64 °C en la mencionada zona, de 11,94 °C en la zona de Alzira y de 12,45 °C en la zona de L'Alcúdia. El mes más frío, para las tres zonas, es enero, siendo Alzira la localidad que alcanza un promedio mensual más bajo con 3,9 °C, siendo en L'Alcúdia de 4,7 °C y 4,8 °C en Pedralba.

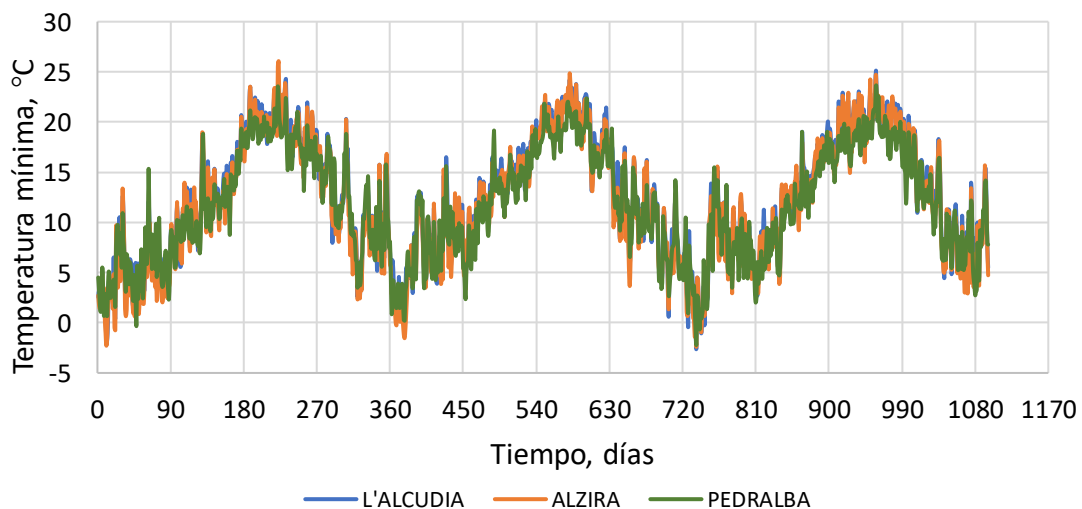


Figura 14. Temperatura mínima diaria desde el 01/01/2019 al 31/12/2021 en las 3 zonas estudiadas.

Teniendo en cuenta los datos de temperatura máxima y mínima, la amplitud térmica media anual es de 13,7 °C en la zona de Alzira, de 11,7 °C en la zona de Pedralba y de 11,2 °C en la zona de L'Alcúdia. Por ello se puede concluir que Alzira es la zona con mayor variación térmica ya que aquí es donde se encuentran las temperaturas máximas más altas y las temperaturas mínimas más bajas. L'Alcúdia es la zona que menos oscilación térmica muestra.

4.1.4. Humedad relativa diaria

La humedad relativa es una variable de interés, puesto que junto con la precipitación determina la humedad de la paja, que es un factor importante, junto con la temperatura, en su descomposición. La figura 15 muestra los valores de humedad relativa media diaria en las tres zonas de interés. Los valores oscilan entre el 35 -100%, siendo la zona de L'Alcúdia la que presenta el valor medio más alto para el período de estudio, con un 74,3%, y Pedralba la que promedia el valor más bajo (69,0%). Estacionalmente, los valores más altos corresponden al otoño, con un rango entre zonas entre 72,6 – 77,6%, y los más bajos al verano en Alzira (69,5%) y Pedralba (66,6%) y al invierno en L'Alcúdia (70,8%).

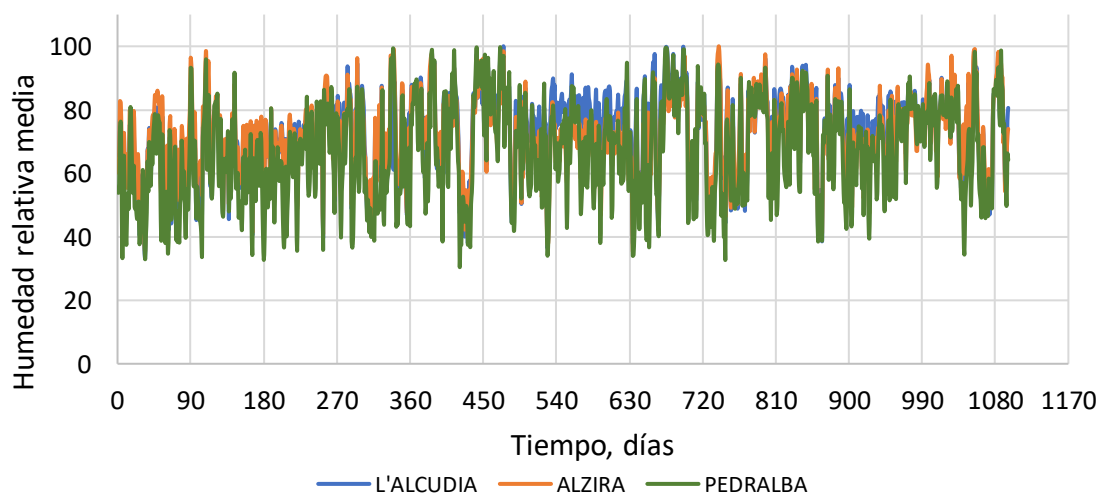


Figura 15. Humedad relativa diaria desde el 01/01/2019 al 31/12/2021 en las 3 zonas estudiadas.

4.1.5. Precipitación media

La precipitación media anual en los dos años de estudio promedió unos valores de 508 mm en la zona de Pedralba, 700 mm en L'Alcúdia y 764 mm en Alzira. La precipitación diaria (figura 16) muestra eventos extremos de precipitación, como los del día 5 de noviembre de 2020, en los que se registraron 247 mm en L'Alcúdia, 218 mm en Alzira y 102 mm en Pedralba. El otoño es la estación de mayor precipitación promediando en el período estudiado unos 222 mm en Pedralba, 320 mm en Alzira y 340 mm en L'Alcúdia, mientras que el verano es la estación de menor precipitación con 54, 92 y 80 mm, respectivamente. El número de días del año con precipitación ≥ 1 mm es similar en las tres zonas, con un valor medio de 54 días.

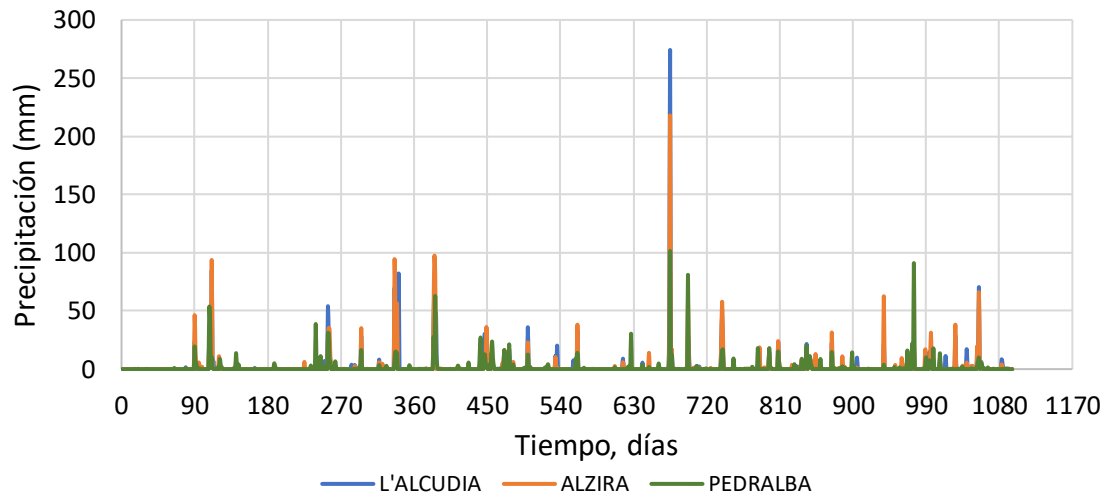


Figura 16. Precipitación media diaria desde el 01/01/2019 al 31/12/2021 en las 3 zonas estudiadas.

4.1.6. Radiación diaria

La radiación diaria tiene un marcado componente estacional, correspondiendo los valores más altos al solsticio de verano (21 de junio) y los valores más bajos al solsticio de invierno (21 de diciembre). El promedio mensual en el período 2020-2021 fue similar en Pedralba y Alzira con unos 484 MJ m^{-2} , mientras que en L'Alcúdia la radiación media mensual fue ligeramente más alta, con 508 MJ m^{-2} . La radiación anual promedio del período 2020-2021 fue de 6097 MJ m^{-2} en L'Alcúdia, 5845 MJ m^{-2} en Pedralba y 5817 MJ m^{-2} en Alzira.

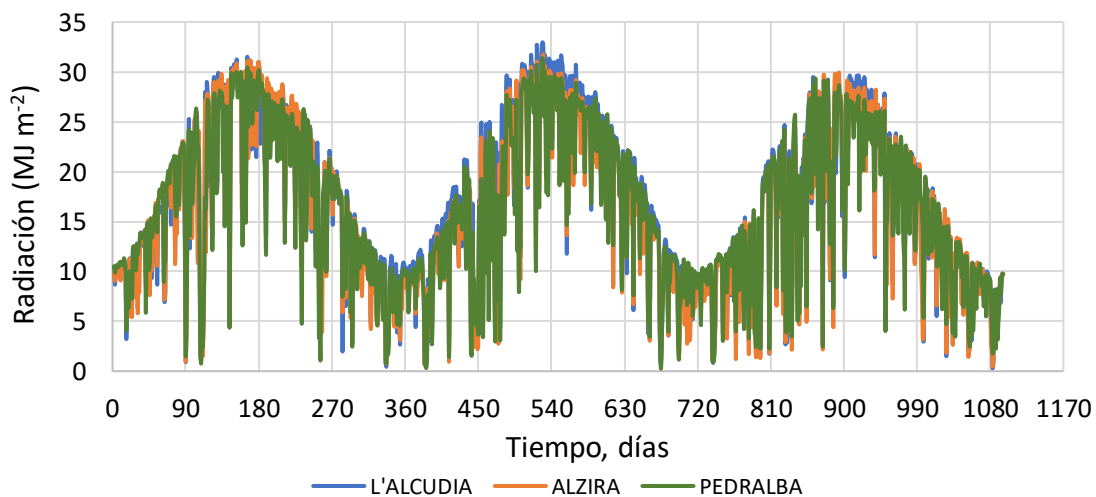


Figura 17. Radiación media diaria desde el 01/01/2019 al 31/12/2021 en las 3 zonas estudiadas.

4.2. DESCOMPOSICIÓN DE LA PAJA DE ARROZ

A continuación, se exponen los resultados del ensayo de descomposición de la paja de arroz, detallándose éstos en cada una de las zonas de ensayo y en los cultivos de cada una de ellas. Después se compararán los resultados de las distintas zonas y se evaluarán los factores que han influido en la descomposición.

4.2.1. Descomposición de la paja en la zona de Pedralba

En la figura 18 puede observarse la pérdida de peso que sufren las muestras de paja ubicadas en cada una de las parcelas de Pedralba según estén situadas debajo del *mulch* de paja (Con) o en la superficie del suelo (Sin).

En el cultivo de caqui, independientemente del manejo que lleve a cabo en la parcela, se observa que las muestras situadas debajo del *mulch* (subparcela con paja) se degradan con mayor rapidez que las situadas en la superficie del suelo sin ningún tipo de cobertura (subparcela sin paja). Transcurridos 12 meses desde que se colocan en campo las bolsas, la descomposición de la paja es del 80% en las muestras situadas en la subparcela con *mulch*. En las subparcelas sin *mulch* la descomposición es menor, y al año se ha descompuesto tan solo el 40%, aunque la tendencia es similar a la de la zona “Con”. A los dos años del comienzo del ensayo, la descomposición es casi total bajo *mulch* y en la zona “Sin” queda aproximadamente un 25% de la paja que se puso en la fecha inicial.

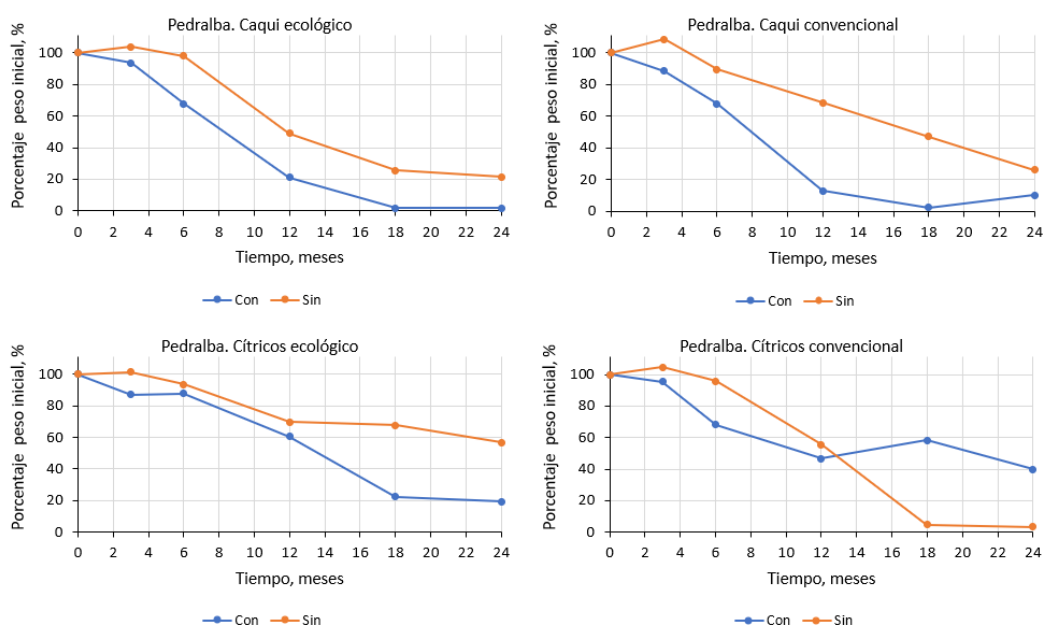


Figura 18. Evolución en el tiempo del porcentaje de paja que permanece en las muestras de la zona de Pedralba para los diferentes cultivos y manejos. En azul se representa la descomposición de las muestras situadas debajo del *mulch* de paja, y en naranja las de las muestras que se dejan en la superficie del suelo.

En las parcelas de cítricos se observa un comportamiento diferente según el manejo; en cultivo ecológico se mantiene lo observado en caqui, es decir, mayor descomposición debajo de *mulch*, mientras que en convencional el primer año si ocurre lo mismo, pero en el segundo año, la descomposición fue mayor en las muestras que estaban en la superficie del suelo. En conjunto, a los 12 meses la descomposición de la paja fue del 35% en la parcela de manejo ecológico y del 49% en la parcela de manejo convencional.

En la figura 19 se muestra el efecto de la posición y ubicación de las bolsas de descomposición, así como del tipo de manejo y del cultivo. Se observa que no hay diferencias en la descomposición cuando las bolsas se colocan cerca del gotero o en la parte alta de la meseta; el tipo de manejo del cultivo tampoco parece influir en la

descomposición. Si parece existir un efecto en la tasa de descomposición de la paja según se coloque debajo del *mulch* o quede al aire libre, efecto que es más acusado en el primer año y también se observa una mayor velocidad de descomposición en el cultivo de caqui que en el de cítricos. También se observa, en general, una lenta descomposición en los primeros meses, lo que puede ser debido a que el ensayo comenzó a finales de otoño, coincidiendo con la época más desfavorable para la descomposición debido a las bajas temperaturas; en el periodo primaveral/estival ya se observa una aceleración de la descomposición debido a las condiciones meteorológicas más favorables para la actividad microbiana la cual genera la descomposición de la paja.

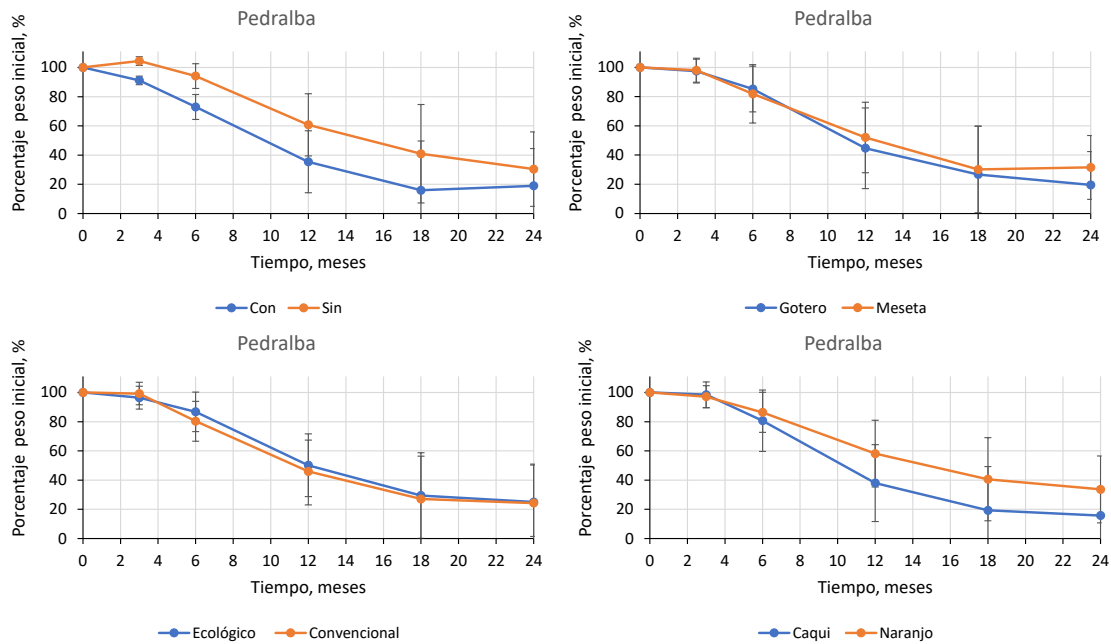


Figura 19. Evolución de la descomposición de la paja de arroz en la zona de Pedralba según posición, ubicación, manejo y cultivo.

4.2.2. Descomposición de la paja en la zona de L'Alcúdia y Alzira

En la figura 20 se representa la descomposición de la paja de las bolsas situadas en las parcelas de caqui de L'Alcúdia. En la parcela de caqui ecológico, la pérdida de peso sigue una tendencia casi lineal, independientemente de la ubicación de las bolsas, si bien parece haber una mayor descomposición en las bolsas colocadas debajo del *mulch*. A los 12 m, queda aproximadamente un 53% de la cantidad de paja distribuida al inicio. Al final del periodo (24 m) la cantidad de paja que permanece en campo es del 7,3%. En el caso del cultivo de caqui convencional la tendencia es similar, si bien con una mayor variabilidad, habiendo una etapa inicial más larga sin apenas descomposición. Al año, el porcentaje de descomposición es del 33% y al final del ensayo (24 m) queda sin descomponer el 25% de la paja.

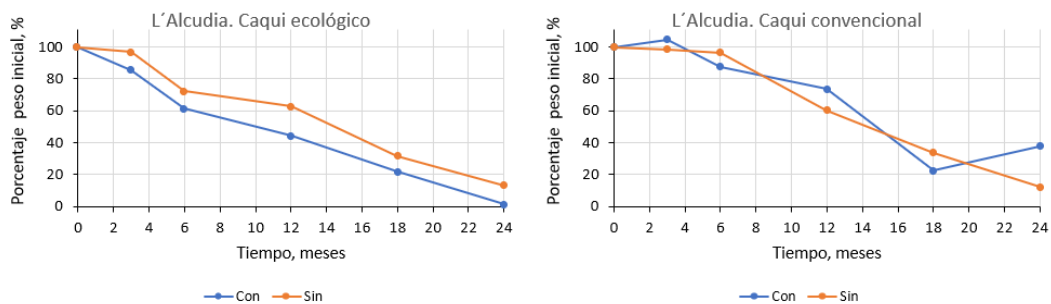


Figura 20. Evolución en el tiempo del porcentaje de paja que permanece en las muestras de la zona de L'Alcúdia para los diferentes manejos. En azul se representa la descomposición de las muestras situadas debajo del mulch de paja, y en naranja las de las muestras que se dejan en la superficie del suelo.

En la figura 21 se representa la descomposición de la paja de las bolsas situadas en las parcelas de cítricos de la zona de Alzira. En la parcela de manejo ecológico, las bolsas colocadas en la zona sin paja apenas sufren descomposición en el primer año, pero se produce una pérdida de peso importante durante el segundo año, quedando al final del período tan solo el 17% del peso inicial. En las bolsas colocadas debajo de *mulch* se produce una descomposición del 48% durante el primer año, y al final del ensayo permanece tan solo el 13% de la paja colocada inicialmente.

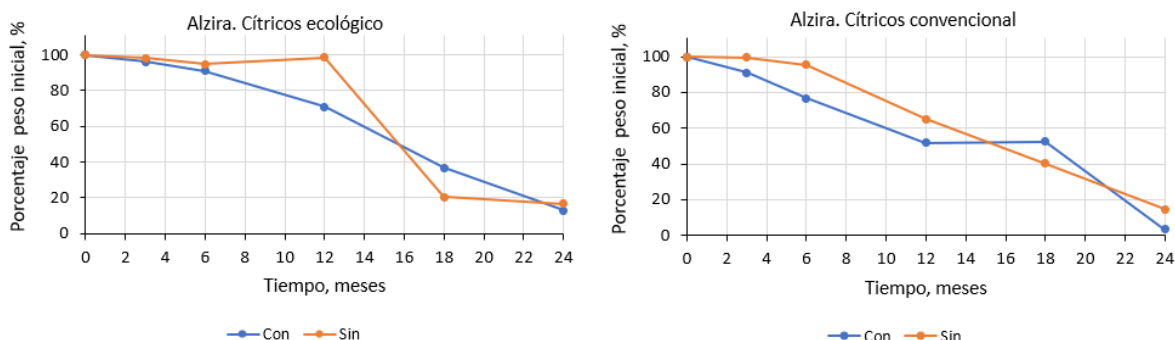


Figura 21. Evolución en el tiempo del porcentaje de paja que permanece en las muestras de la zona de Alzira para los diferentes manejos. En azul se representa la descomposición de las muestras situadas debajo del mulch de paja, y en naranja las de las muestras que se dejan en la superficie del suelo.

En el caso del manejo convencional, la pérdida de peso de las muestras sigue una tendencia similar a la del manejo ecológico, produciéndose una pérdida de peso de cerca del 42% el primer año y quedando menos del 10% de paja al cabo de los dos años. En ambos casos, la descomposición es más rápida durante el primer año en las bolsas colocadas debajo de *mulch* que en las que se dejan en la superficie del suelo, pero al final del período de estudio, la descomposición es similar en ambas zonas.

En la figura 22 se muestra el efecto de la posición y ubicación de las bolsas de descomposición en la zona de La Ribera Alta, así como del tipo de manejo y del cultivo. Se observa que no hay diferencias en la descomposición cuando las bolsas se colocan cerca del gotero o en la parte alta de la meseta; el tipo de manejo del cultivo tampoco parece influir en la descomposición.

Si parece existir una ligera diferencia en la tasa de descomposición de la paja según se coloque debajo del *mulch* o quede al aire libre, efecto que vuelve a ser más acusado en el primer año, y también se observa una mayor velocidad de descomposición en el cultivo de caqui que en el de cítricos, al igual que ocurría en la zona de Pedralba. Es decir, que se repite el mismo comportamiento en ambas zonas, pero los efectos de ubicación y cultivo son menos acusados en la zona de La Ribera Alta. También se observa, en general, una lenta descomposición en los primeros meses y una aceleración de la descomposición transcurrido ese tiempo debido a las favorables condiciones meteorológicas de la primavera – verano. El segundo año, la descomposición es, en general, menos acusada, quizás debido a que el material que va quedando contiene compuestos de más difícil descomposición.

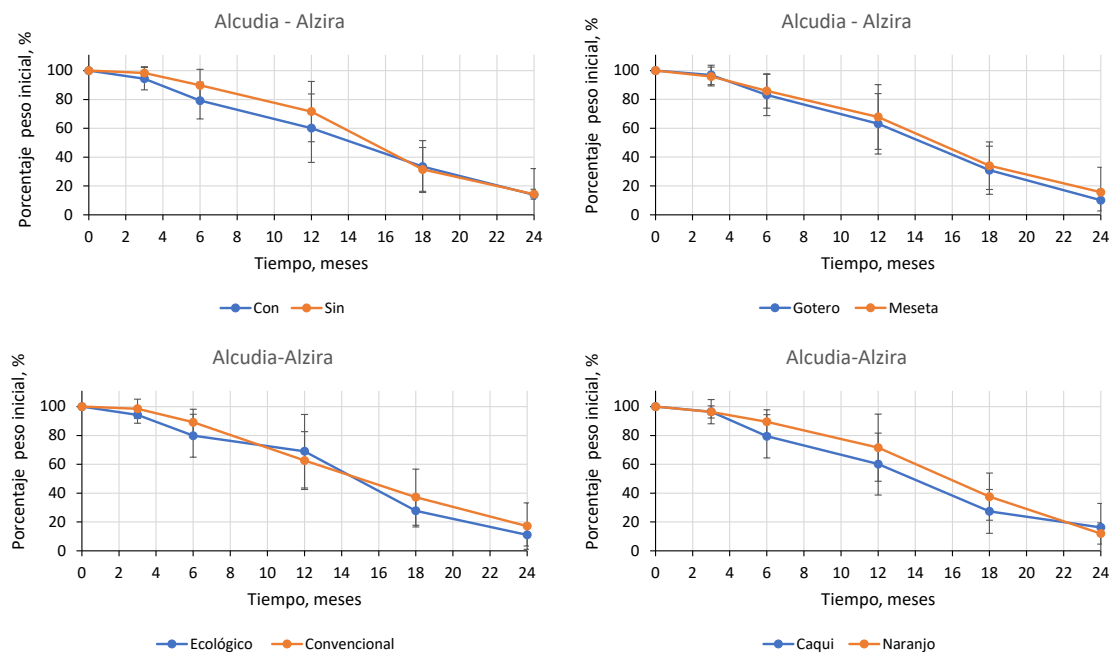


Figura 22. Evolución de la descomposición de la paja de arroz en la zona de La Ribera Alta según posición, ubicación, manejo y cultivo.

4.2.3. Descomposición de la paja: factores que afectan

El análisis estadístico de los datos mediante análisis factorial de la varianza con interacción ha permitido evaluar todos los datos conjuntamente, obteniendo las tasas de descomposición de la paja en las diferentes zonas, cultivos y manejos de los mismos. En la tabla 5 se muestran los principales resultados obtenidos; los tres factores que resultan significativos para la descomposición de la paja de arroz son el tiempo desde el inicio de la incubación, el tipo de cultivo y el tratamiento con la cubierta de paja. Las interacciones que son significativas para las tres propiedades estudiadas son: el tiempo x zona, zona x tratamiento y cultivo x sistema de manejo. En la tabla 6 se muestra para cada factor la comparación de medias de la masa final de paja (g).

Tabla 5. Resultados del ANOVA factorial sobre la descomposición de la paja en función de A) tiempo de incubación, B) zona, C) cultivo, D) sistema de cultivo, E) tratamiento de paja y F) posición respecto a la línea de gotero.

Fuente	Masa final		
	Gl	Razón-F	Valor-P
EFECTOS PRINCIPALES			
A:Tiempo	4	128,48	0,0000
B:Zona	1	0,45	0,5025
C:Cultivo	1	12,52	0,0006
D:Sistema	1	0,33	0,5659
E:Tratamiento	1	21,79	0,0000
F:Posición	1	3,22	0,0753
INTERACCIONES			
AB	4	3,22	0,0151
AC	4	1,37	0,2478
AD	4	0,55	0,7003
AE	4	0,71	0,5892
AF	4	0,77	0,5498
BC	1	2,02	0,1580
BD	1	1,24	0,2678
BE	1	8,03	0,0054
BF	1	0,19	0,6636
CD	1	8,19	0,0050
CE	1	1,15	0,2852
CF	1	3,04	0,0839
DE	1	1,51	0,2220
DF	1	2,43	0,1219
EF	1	0,42	0,5167

Tabla 6. Comparación de medias. Las letras minúsculas en un mismo factor indican valores medios significativamente diferentes (nivel de significación: 95%).

Factor	Niveles	Masa final (g)
Tiempo	3 meses	8,84 e
	6 meses	7,63 d
	12 meses	5,18 c
	18 meses	2,82 b
	24 meses	1,81 a
Zona	Pedralba	5,18
	L'Alcúdia-Alzira	5,33
Cultivo	Caqui	4,84 a
	Naranjo	5,67 b
Sistema	Ecológico	5,19
	Convencional	5,32
Tratamiento	Bajo paja	4,70 a
	Al aire	5,81 b
Posición	Junto gotero	5,04
	Meseta	5,47

La descomposición de la paja de arroz es relativamente rápida, ya que al cabo de un año sólo queda el 57% de la masa seca añadida inicialmente, y al cabo de 2 años sólo queda el 20% de la masa inicial. Esto indicaría la necesidad de reponer la paja cada año con la mitad de la dosis inicial para mantener un *mulch* permanente. Cuando se comparan las

dos zonas, Pedralba y L'Alcúdia/Alzira, se observa que la masa restante de paja es más baja en la zona de Pedralba al cabo del primer año de incubación, pero esta tendencia se invierte en el segundo año de incubación, no existiendo diferencias para el conjunto del ensayo. Respecto al tratamiento en el que se colocan las bolsas, las que están debajo del *mulch* se descomponen más rápido que las que están al aire libre sobre la superficie del suelo, lo cual puede ser debido a condiciones de temperatura y humedad más favorables para la actividad descomponedora. Las diferencias en tasa de descomposición entre la zona bajo paja y al aire libre son mucho más acusadas en la zona de Pedralba, que tiene un clima más continental.

El efecto cultivo también resulta significativo; la degradación de la paja es menor en el cultivo de cítricos que en el de caqui. Ello puede ser explicado por la diferente cobertura del suelo a lo largo del ciclo de cultivo; mientras que en los cítricos hay un dosel arbóreo permanente durante todo el año, en el caqui hay un desfronde anual y una parada vegetativa que dura 4 meses; ello puede provocar diferencias en la cantidad de radiación, precipitación, temperatura, etc, en el caqui respecto del naranjo; este efecto se ve potenciado si los árboles son adultos, además de por la diferente periodicidad de la poda en ambos cultivos. El manejo del cultivo no genera diferencias significativas en cuanto a la pérdida de peso de las muestras estudiadas.

4.3. VARIACIÓN EN EL CONTENIDO DE CARBONO Y NITRÓGENO DE LA PAJA DE ARROZ

Además de la pérdida de peso de la paja de arroz en el tiempo, se ha analizado la variación de su contenido de carbono y nitrógeno, con el objeto de cómo el proceso de descomposición modifica la composición química del residuo. En las tablas 7 y 8, se muestra el contenido de C para cada una de las fechas de evaluación de la pérdida de peso en cada una de las parcelas de Pedralba y L'Alcúdia/Alzira, respectivamente. En general, se observa una disminución del contenido de carbono en la paja con el tiempo, lo cual es esperable puesto que en el proceso de descomposición los microorganismos utilizan el C como fuente de energía, si bien parte del C se pierde como CO₂ al ser un proceso con un factor de eficiencia de aproximadamente del 30%. En promedio la disminución del carbono en la paja de la zona de Pedralba transcurridos dos años fue del 28%, mientras que en la zona de L'Alcúdia/Alzira la disminución en el contenido de C fue ligeramente mayor (30%).

Respecto al nitrógeno, en las tablas 9 y 10 se muestra la evolución en el contenido de N con el tiempo en cada una de las parcelas de Pedralba y L'Alcúdia/Alzira, respectivamente. En este caso, se produce un aumento del contenido de N en la paja conforme avanza el proceso de descomposición, alcanzándose los valores más altos hacia el final del ensayo. Este aumento en el contenido de N se debe a que al estar referido dicho contenido al peso de paja que va disminuyendo con el tiempo, si el N no es utilizado por los microorganismos o es utilizado en menor medida que el C, el porcentaje de N que va quedando es cada vez mayor. Esto se traduce en una disminución de la relación C/N del residuo tal y como se muestra en la figura 23. La disminución más importante se produce en los primeros seis meses, coincidiendo con la mayor tasa de descomposición de la paja, ralentizándose dicha disminución a partir del primer año. La relación C/N media al final del ensayo en la zona de Pedralba es de 13,8,

lo que supone una reducción de casi el 200%, mientras que en la zona de L'Alcúdia/Alzira la relación C/N final es de 16,9, siendo la reducción respecto del valor inicial del 86%.

Tabla 7. Contenido de C de la paja, expresado en g/100g, para cada fecha de evaluación en cada una de las parcelas de la zona de Pedralba.

Tiempo meses	C total (g/100g)			
	Caqui ecológico	Caqui convencional	Cítrico ecológico	Cítrico convencional
0	38,86	38,86	38,86	38,86
3	38,51	37,12	38,36	38,45
6	32,93	26,13	34,13	29,67
12	32,06	27,23	32,74	30,29
18	27,88	25,57	30,80	26,79
24	30,30	25,09	27,95	29,26

Tabla 8. Contenido de C de la paja, expresado en g/100g, para cada fecha de evaluación en cada una de las parcelas de la zona de L'Alcúdia/Alzira.

Tiempo meses	C total (g/100g)			
	Caqui ecológico	Caqui convencional	Cítrico ecológico	Cítrico convencional
0	38,65	38,65	38,65	38,65
3	39,31		39,03	38,15
6	34,52	38,43	32,40	32,65
12	33,13	30,53	25,54	28,81
18	32,56	30,65	23,88	22,70
24	35,91	24,61	28,39	20,02

Tabla 9. Contenido de N de la paja, expresado en g/100g, para cada fecha de evaluación en cada una de las parcelas de la zona de Pedralba.

Tiempo meses	N total (g/100g)			
	Caqui ecológico	Caqui convencional	Cítrico ecológico	Cítrico convencional
0	0,962	0,962	0,962	0,962
3	1,053	1,005	1,117	1,051
6	1,837	1,583	1,882	1,725
12	2,053	1,600	1,795	1,659
18	1,914	1,770	1,927	1,909
24	2,215	2,049	1,873	2,021

Tabla 10. Contenido de N de la paja, expresado en g/100g, para cada fecha de evaluación en cada una de las parcelas de la zona de L'Alcúdia/Alzira.

Tiempo meses	N total (g/100g)			
	Caqui ecológico	Caqui convencional	Cítrico ecológico	Cítrico convencional
0	1,053	1,053	1,053	1,053
3	1,029	1,212	1,059	1,114
6	1,354	0,961	1,292	1,371
12	1,652	1,242	1,470	1,337
18	1,658	1,363	1,580	1,473
24	1,814	1,609	1,757	1,236

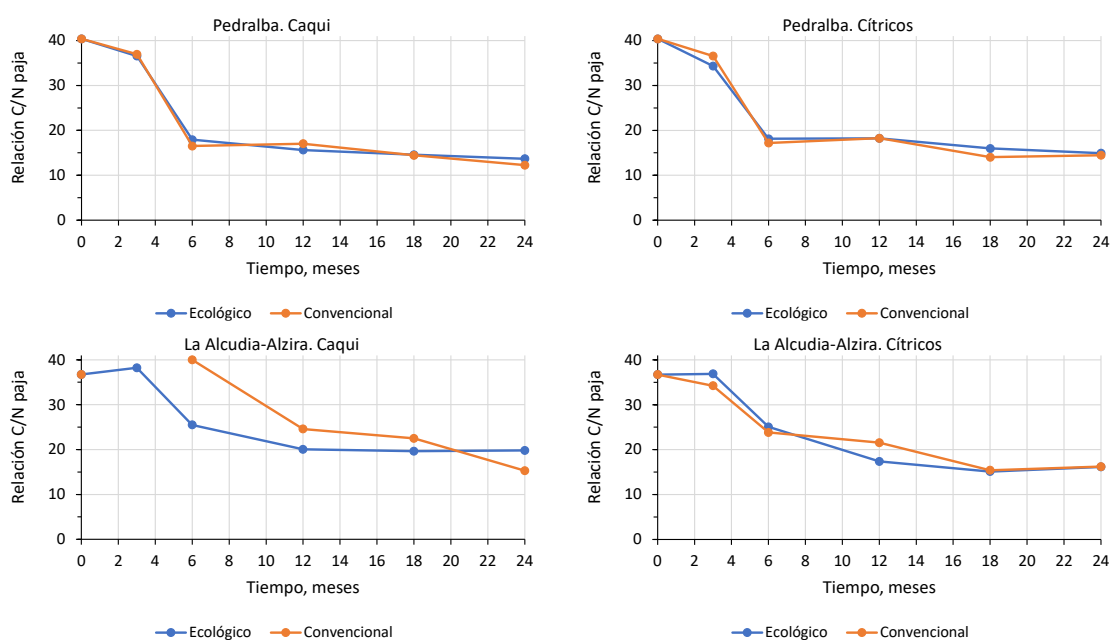


Figura 23. Evolución de la relación C/N de la paja de arroz en las diferentes zonas y cultivos.

En la tabla 11 se muestra el resultado del análisis factorial de la varianza con interacción del contenido de C y N en las diferentes zonas, cultivos y manejos de los mismos. Los mismos factores que resultan significativos para la descomposición de la paja de arroz (tiempo desde el inicio de la incubación, el tipo de cultivo y el tratamiento con la cubierta de paja) lo son también para el porcentaje de C y el de N. Además, para el carbono resulta significativa la posición respecto al gotero y para el nitrógeno resulta significativa la zona. Las interacciones que son significativas para ambos elementos son el tiempo x zona, zona x tratamiento y cultivo x tratamiento. En la tabla 12 se muestra para cada factor la comparación de medias del contenido relativo de C y N respecto del contenido inicial de ambos elementos en la paja con la que se rellenan las bolsas (contenido inicial).

Tabla 11. Resultados del ANOVA factorial sobre el porcentaje de C y N en función de A) tiempo de incubación, B) zona, C) cultivo, D) sistema de cultivo, E) tratamiento de paja y F) posición respecto a la línea de gotero.

Fuente	% C			% N		
	Gl	Razón-F	Valor-P	Gl	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES						
A:Tiempo	4	137,21	0,0000	4	33,01	0,0000
B:Zona	1	0,01	0,9214	1	13,61	0,0004
C:Cultivo	1	7,36	0,0078	1	9,86	0,0022
D:Sistema	1	1,35	0,2474	1	2,27	0,1354
E:Tratamiento	1	11,94	0,0008	1	15,50	0,0002
F:Posición	1	3,96	0,0492	1	0,87	0,3531
INTERACCIONES						
AB	4	3,85	0,0059	4	5,68	0,0004
AC	4	0,21	0,9316	4	0,85	0,4982
AD	4	0,09	0,9851	4	1,54	0,1965
AE	4	0,38	0,8231	4	1,57	0,1872
AF	4	0,78	0,5424	4	2,16	0,0785
BC	1	2,47	0,1192	1	0,21	0,6490
BD	1	3,68	0,0578	1	3,45	0,0660
BE	1	11,26	0,0011	1	15,42	0,0002
BF	1	0,01	0,9387	1	3,03	0,0849
CD	1	1,38	0,2430	1	1,93	0,1675
CE	1	4,34	0,0398	1	8,71	0,0039
CF	1	3,63	0,0596	1	0,18	0,6686
DE	1	1,82	0,1801	1	4,08	0,0461
DF	1	6,93	0,0098	1	2,06	0,1541
EF	1	0,14	0,7104	1	0,67	0,4163

Tabla 12. Comparación de medias. Las letras minúsculas en un mismo factor indican valores medios significativamente diferentes (nivel de significación: 95%).

Factor	Niveles	Balace de C (% restante)	Balace de N (% restante)
Tiempo	3 meses	93,20 d	103,89 c
	6 meses	70,69 c	124,43 d
	12 meses	44,05 b	87,00 b
	18 meses	23,42 a	53,36 a
	24 meses	11,04 a	53,72 a
Zona	Pedralba	50,60	93,71 b
	L'Alcúdia-Alzira	50,36	76,04 a
Cultivo	Caqui	47,26 a	77,36 a
	Naranja	53,70 b	92,42 b
Sistema	Ecológico	49,06	88,60
	Convencional	51,9	81,16
Tratamiento	Bajo paja	46,29 a	75,23 a
	Al aire	54,67 b	94,53 b
Posición	Junto gotero	48,13 a	82,65
	Meseta	52,84 b	87,11

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha evaluado la descomposición de la paja de arroz utilizada como acolchado en cultivos leñosos. Los resultados obtenidos en el trabajo permiten sacar las siguientes conclusiones:

- Los valores de las variables meteorológicas de interés indican que no hay grandes diferencias entre las zonas de estudio en el período 2019 - 2021.
- La descomposición de la paja de arroz resultó afectada por el tiempo transcurrido desde el inicio de la incubación, por el tipo de cultivo bajo el que se realiza dicha incubación y por el tipo de cubierta de las muestras (bajo *mulch* o sobre suelo desnudo).
- La descomposición de la paja de arroz es relativamente rápida, ya que al cabo de un año sólo queda el 57% de la masa seca añadida inicialmente, y al cabo de 2 años sólo queda el 20% de la masa inicial. Esto indicaría la necesidad de reponer la paja cada año con la mitad de la dosis inicial para mantener un *mulch* permanente.
- La descomposición se ve favorecida bajo *mulch* debido a las condiciones más favorables de humedad y temperatura con respecto a las que se producen sobre suelo desnudo.
- La paja se descompone en el cultivo de cítricos más lentamente que en el cultivo de caqui, quizás debido a la diferente cobertura del suelo en ambos cultivos a lo largo del año que produce cambios en las condiciones micrometeorológicas a nivel de suelo.
- Durante la descomposición de la paja se produce una disminución del contenido de carbono y un enriquecimiento en nitrógeno del residuo que va quedando. Además de los factores que afectan a la descomposición, el contenido de carbono también resulta influido por la posición respecto al gotero, y el de nitrógeno por la zona.
- La relación C/N de la paja disminuye de forma considerable con el tiempo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Abril, D., Navarro, E. y Abril, A. (2009). La paja de arroz. Consecuencias de su manejo y alternativas de aprovechamiento. *Agronomía*, 17(2), 69-79. ISSN 0568-3076
- Adnan, M., Asif, M., Khalid, M., Abbas, B., Hayyat, M.S., Raza, A., Khan, B.A., Hassan, M., Khan, M.A.B. y Hanif, M.S. (2020). Role of mulches in agriculture: A review. *International Journal of Botany Studies*, 5(3), 309-314. ISSN 2455-541X
- Bilalis, D., Sidoras, N., Economou, G. y 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. doi: 10.1046/j.1439-037X.2003.00029.x
- <http://riegos.ivia.es/datos-meteorologicos>. [Consulta: el 05/05/2023].
- Iranzo, M., Cañizares, J. V., Roca-Pérez, L., Sainz-Pardo, I., Mormeneo, S. y Boluda, R. 2004. Characteristics of rice straw and sewage sludge as composting materials in Valencia (Spain). *Bioresource Technology*, 95(1): 107-112. doi: [10.1016/j.biortech.2004.01.013](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.01.013)
- Lado-Monserrat, L., Lidón, A. y Bautista, I. (2016). Erratum to: Litterfall, litter decomposition and associated nutrient fluxes in *Pinus halepensis*: Influence of tree removal intensity in a Mediterranean forest. *European Journal of Forest Research*, 135(1): 203-214. doi: 10.1007/s10342-015-0923-x
- MAPA (2023). Anuario de Estadística Agraria. <https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/superficies-producciones-anuales-cultivos/> [Consulta: 25/07/2023]
- Monzó, J.M. (2020). Efecto de una cubierta de paja de arroz sobre la respiración basal del suelo. Trabajo Final de Grado. Universidad Politécnica de Valencia.
- Ribó, M., Albiach, R., Pomares, F. y Canet, R. (2017). Alternativas de gestión de la paja de arroz en la Albufera de Valencia. *Vida Rural*, 430: 56-60
- Segarra R., (2022). Acolchado de paja de arroz y calidad de suelo: efecto de la dosis aplicada. Trabajo Final de Máster. Universidad Politécnica de Valencia.
- Soam, S., Borjesson, P., Sharma, P.K., Gupta, R.P., Tuli, D.K. y Kumar, R. (2017). Life cycle assessment of rice straw utilization practices in India. *Bioresource Technology*, 228: 89-98. doi: 10.1016/j.biortech.2016.12.082
- Statista.com <https://es.statista.com/estadisticas/501804/produccion-de-arroz-cascara-grano-en-comunidades-autonomas-de-espana/> [Consulta 15/07/2023]
- Stinson, J., Brinen, G.M., Connell, D. y Black, R. (1990). Evaluation of landscape mulches. *HortScience*, 103: 372-377. ISSN 0018-5345
- Zribi, W. (2013). Efectos del acolchado sobre distintos parámetros del suelo y de la nectarina en riego por goteo. *Tesis Doctoral*, Universitat de Lleida
- Zribi, W., Faci, J.M. y Aragüés, R. (2011). Efectos del acolchado sobre la humedad, temperatura y salinidad de suelo agrícolas. *Información Técnica Económica Agraria (ITEA)*, 107(2): 148-162. ISSN 1699-6887