

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ORIHUELA
GRADO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y AGROAMBIENTAL



“APLICACIÓN DIRECTA DE ALPERUJOS EN SUELOS AGRICOLAS DEL BAJO MAESTRAZGO”

TRABAJO FIN DE GRADO

Julio-2021

Autor: Manuel Lozano Pelegrin

Tutor/es: María Dolores Pérez Murcia

Encarnación Martínez Sabater



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, dar las gracias a mis tutoras del Trabajo Final de Grado Marilo Pérez Murcia y Encarnación Martínez Sabater. Por su profesionalidad, constancia, paciencia y capacidad docente que tanto me ha ayudado en este trabajo.

Al personal que trabaja en el departamento de Agroquímica y Medio Ambiente de la Escuela Politécnica Superior de Orihuela, Raúl, Teresa, Jose Sáez y Mari Sol, que siempre estuvieron dispuestos a colaborar y dar su opinión para mejor.

Y finalmente, y no menos importante a mi familia, por su apoyo incondicional. En especial a mis padres y hermanos por esa fe ciega en mí, que siempre han demostrado.



REFERENCIAS DEL TRABAJO FIN DE GRADO

IDENTIFICACIONES

Autor: Manuel Lozano Pelegrin

Título: Aplicación directa de alperujos en suelos agrícolas del Bajo Maestrazgo

Director: María Dolores Pérez Murcia

Co-Director: Encarnación Martínez Sabater

Año: 2021

Titulación: Grado de Ingeniería Agroalimentaria y Agroambiental

Tipo de proyecto: Trabajo experimental y descriptivo

Palabras clave: Alperujo, subproducto, valorización, economía circular.

Nº de citas bibliográficas: 139

Nº de tablas: 13

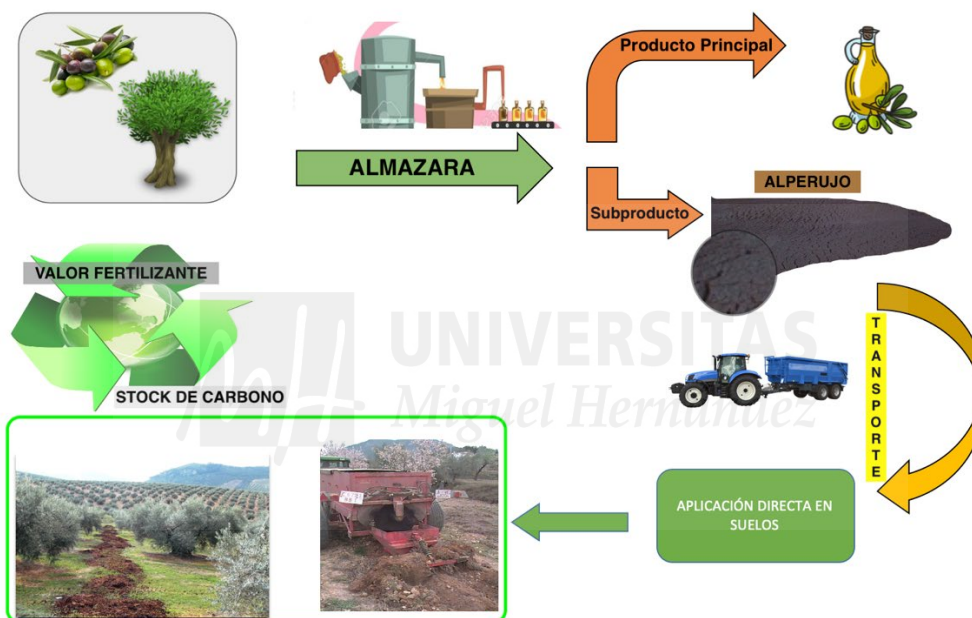
Nº de figuras: 26



RESUMEN

En este trabajo se desarrolla un programa de seguimiento científico-técnico específico tras la aplicación directa de alperujo fresco en diversos suelos del Maestrat de Castellón. Con la finalidad de investigar y evaluar los efectos agronómicos y medioambientales de la aplicación directa de alperujos a tiempo 0, 6, 10 meses. En parcelas en producción, con una superficie mínima de una hectárea, diferente accesibilidad, pendiente y tipo de suelo.

La evaluación final permitió obtener evidencias que permiten avanzar en una potencial propuesta de autorización para el **Uso Directo de Alperujos en la Agricultura Valenciana**.



ABSTRACT

In this work, a specific scientific-technical monitoring program is developed after the direct application of fresh alperujo on various soils of the Maestrat de Castellón. In order to investigate and evaluate the agronomic and environmental effects of the direct application of alperujos in time 0, 6, 10 months. In production plots, with a minimum area of one hectare, different accessibility, slope and type of soil.

The final evaluation allows obtaining evidence that allows progress in a potential authorization proposal for the **Direct Use of Alperujos in Valencian Agriculture**.

Índice

1. INTRODUCCIÓN	8
1.1 Comarca del Maestrazgo	8
1.1.1 Situación geográfica	8
1.1.2 Tipo de clima	11
1.1.3 Características edafológicas comarca del Maestrazgo	11
1.1.4 Historia del olivo en esta comarca y relevancia del cultivo	12
1.2 El Cultivo del Olivo	15
1.2.1 Origen, taxonomía, y morfología	15
1.2.2 Requerimientos climáticos y edafológicos	17
1.2.3 Sistemas de Cultivo del Olivo en España	18
1.3 Alperujo	21
1.3.1 Proceso de obtención, producción y características del alperujo	21
1.3.2 Principales usos del Alperujo	25
2. OBJETIVOS	37
3. MATERIAL Y MÉTODOS	38
3.1 Diseño Experimental	38
3.2 Dispositivo Experimental	39
3.2.1 Descripción de las parcelas utilizadas en el estudio	41
3.2.2 Enmiendas utilizadas	43
3.3 Desarrollo del Experimento	45
3.3.1 Seguimiento del cultivo	45
3.3.2 Muestras realizadas	45
3.4 Métodos analíticos empleados	45
3.4.1 Suelos	45
3.4.2 Alperujos	47
3.5 Métodos estadísticos	50
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
4.1 Observaciones in situ de los efectos de la aplicación del alperujo en el sistema suelo-planta	51
4.2 Influencia de la aplicación de alperujo en el pH de los suelos	52
4.3 Influencia de la aplicación de alperujo en la conductividad eléctrica de los suelos	54
4.4 Influencia de la aplicación de alperujo en el contenido de nitrógeno total Kjeldahl de los suelos	56
5. CONCLUSIONES	66

6. BIBLIOGRAFÍA..... 67



1. INTRODUCCIÓN

1.1 Comarca del Maestrazgo

El Maestrazgo es una importante comarca histórica, viene de maestre, señor, jefe o primera dignidad de una orden militar. Este comprende un amplio territorio del sector norte de la provincia de Castellón, el cual recibió el nombre del Maestrazgo tomándolo del maestre de la orden de Montesa a la que perteneció, por lo que este territorio tomó tantas posesiones como poseyó la orden de Montesa en la zona septentrional. Con el paso de los siglos concretamente desde el siglo XIV hasta la actualidad se ha ido manteniendo el concepto de comarca del Maestrazgo, subdividiéndose la extensión en dos subcomarcas históricas; Alto y Bajo Maestrazgo atendiendo a su geografía.

La influencia económico-cultural del Maestrazgo de Montesa se fue extendiendo y ganando terreno, debido a grandes parentescos tanto históricos-culturales como geográficos. Debido a esa expansión el termino Maestrazgo fue incrementando su área, y a partir de 1970 por su proximidad y ciertas semejanzas artísticas e históricas se fueron introduciendo rincones de las provincias de Castellón y Teruel (Roca, Giorgio Della, 1977). Por lo que se pasó a formar la Mancomunidad Turística del Maestrazgo (1972), englobando a municipios de las provincias de Teruel y Castellón. En esta mancomunidad existían tierras del auténtico Maestrazgo, en cambio, otros pueblos nada tenían que ver con los orígenes del Maestrazgo, pues pertenecían a otras comarcas de Los Puertos de Morella, así como a ciertos pueblos Turolenses. A raíz de un decreto de la Administración del Estado en 1981 que defendía “Mejoras en el Maestrazgo” incluyó municipios como Morella y Puebla de Benifasar.

En el año 2002 se creó la Asociación para el desarrollo del Maestrazgo, con el fin de crear de manera sostenible e integral la zona formada por 15 municipios que componen la Comarca del Maestrazgo en Teruel. Años más tarde, en febrero de 2012 las diputaciones de Teruel y Castellón disolvieron la Mancomunidad Turística del Maestrazgo.

Según el Decreto del Gobierno Valenciano número 170 del 28 de octubre de 1985, el Maestrazgo en la provincia de Castellón está compuesto por tres subcomarcas, Bajo Maestrazgo, Alto Maestrazgo y Los Puertos de Morella.

1.1.1 Situación geográfica

Maestrazgo de Castellón

La comarca del Alto Maestrazgo (Figura 1.1.) pertenece a la provincia de Castellón, cuya capital es Albocácer. Está conformada por un total de 9 municipios los cuáles son;

Villafranca del Cid, Albocácer, Benasal, Catí, Culla, Tírig, Ares del Maestre, Villar de Cans y Torre de Embesora. Tiene una extensión de 663,16 Km² y cuenta con una población de 6.622 habitantes, según el Banco de Datos municipal (2020). Limita al norte con la comarca de los Puertos de Morella, al oeste con la provincia de Teruel, al sur con la comarca de El Acalatén y al este con el Bajo Maestrazgo.

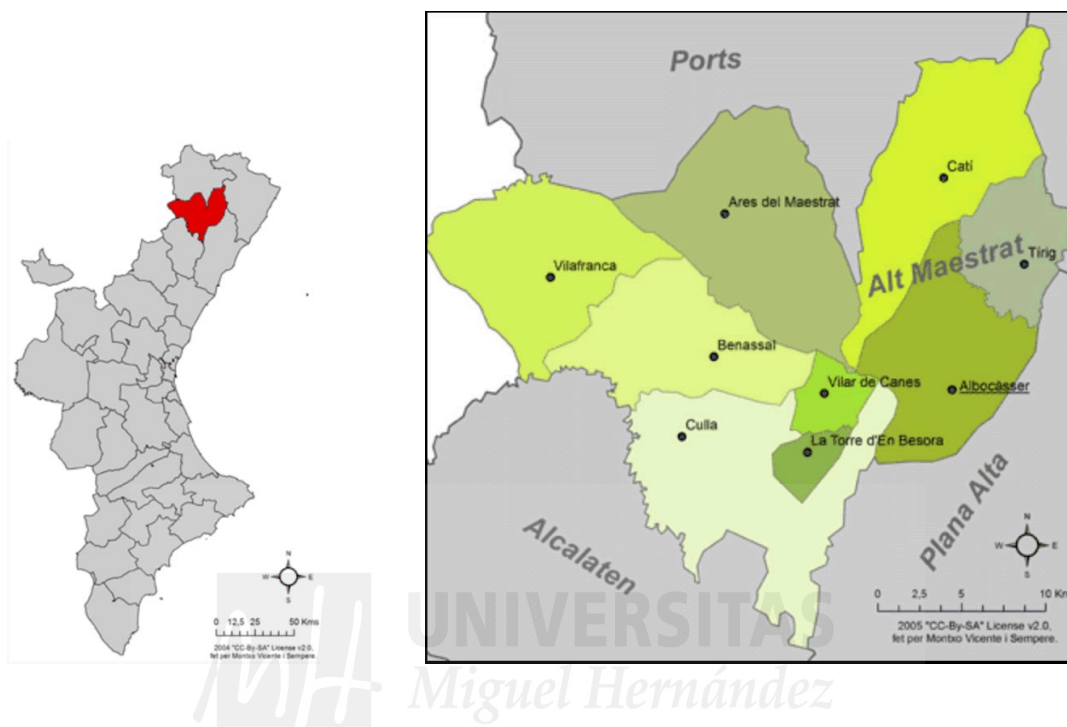


Figura 1.1. Comarca Alto Maestrazgo.

Fuente:https://es.wikipedia.org/wiki/Alto_Maestrazgo#/media/Archivo:Localitzaci%C3%B3_de_l'Alt_Maestrat_respecte_del_Pa%C3%ADs_Valenci%C3%A0.png

Situado al norte de la provincia de Castellón, se encuentra la comarca del Bajo Maestrazgo (Figura 1.2) constituida por 18 municipios, cuya capital administrativa es Vinarós. Dicha comarca cuenta con un total de 81.871 habitantes (INE 2020), distribuidos en los siguientes municipios; Alcalá de Chivert, Benicarló, Cáliz, Canet de Roig, Castell de Cabres, Cervera del Mestre, Chert, La Jana, Peñíscola, Puebla de Benifasar, Rosell, Salsadella, San Jorge, San Rafael del Río, San Mateo, Santa Magdalena de Pulpis, Traiguera, Vinarós. La comarca limita al este con el Mar Mediterráneo, al oeste con el Alto Maestrazgo, al noroeste con la provincia de Teruel y al sur con la comarca de la Plana Alta.

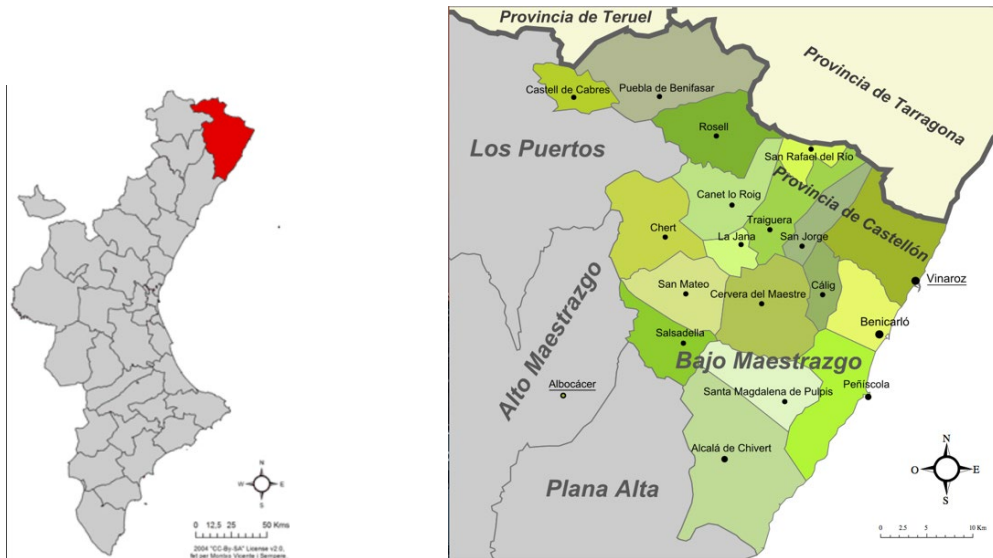


Figura 1.2. Comarca Bajo Maestrazgo.

Los Puertos de Morella es otra de las tres comarcas que forman el Maestrazgo de Castellón (Figura 1.3), se caracteriza por ser una comarca montañosa y de interior situada al norte de la Comunidad Valenciana. Cuenta con 13 municipios, distribuidos en una extensión de 903,9 Km². Morella además de ser la capital de la comarca es el municipio mas poblado con 2.416 habitantes (INE 2020). La comarca limita al oeste con la provincia de Teruel, al norte con Tarragona, al este con el Bajo Maestrazgo y al sur con el Alto Maestrazgo.



Figura 1.3. Comarca Los puertos.

1.1.2 Tipo de clima

Existen diferencias sensibles entre las tres zonas, pero en general el clima es Mediterráneo. Pero si es frecuente la existencia de fuertes contrastes; frío y nieve en el interior, sobre todo zonas de montaña, y en las zonas más próximas al mar, calor intenso en verano. En cuanto a la precipitación también se dan diferencias dentro del territorio, lloviendo más en general en las zonas montañosas.

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen-Gueiger podemos definir el clima del Maestrazgo de Castellón según sus datos térmicos y pluviométricos como un clima Mediterráneo seco y cálido Csa (veranos secos y cálidos), para la comarca del Bajo Maestrazgo. En la comarca del Alto Maestrazgo, el clima es similar, es decir; Csb (veranos secos y templados). Mientras que para el municipio de Morella las diferencias son más notorias, puesto que no se contempla ninguna estación seca durante el año, debido a que las precipitaciones se encuentran bien repartidas a lo largo del año, dando lugar a un tipo de clima Cfa (templados sin estación seca y verano caluroso). Es la zona climática más fría de la Comunidad, por la mayor altitud y latitud y el alejamiento del mar (T^a med. 10-11°C) y también la más lluviosa 650 l/m², donde son frecuentes las heladas y la nieve.

1.1.3 Características edafológicas comarca del Maestrazgo

Cada suelo, en función del tamaño y la naturaleza de sus componentes presenta unas propiedades físicas, químicas y biológicas definidas, que determinan su aptitud agrícola.

Según la taxonomía del USDA-NRCS, el suelo predominante en las comarcas que forman el maestrazgo de Castellón, es el Xerochrept, ocupando un gran porcentaje de la superficie total. De acuerdo con la clasificación del grupo es caracterizado por su coloración pardo-oscura y por ser suelos profundos (100-150 cm), además presentan bajo contenido en materia orgánica, pH ligeramente ácido y la textura es franco-arenosa.

Por orden de importancia el segundo grupo de suelos, es el Xerorthent, son suelos moderadamente básicos. Tienen un contenido en materia orgánica medio y en general también son suelos profundos, siendo su textura franca o arcillosa.

Ambos grupos de suelos tienen un buen drenaje, condición idónea dada la alta susceptibilidad del olivo al encharcamiento. Esta es mayor en olivos jóvenes, hasta el punto que los plantones de olivo pueden morir si permanecen encharcados 3 o 4 días.

Los suelos bien drenados presentan colores (pardos, rojizos o amarillentos), en cambio los suelos mal drenados tienen coloración grisácea, consecuencia de una actividad anaeróbica (Barranco, 2008).

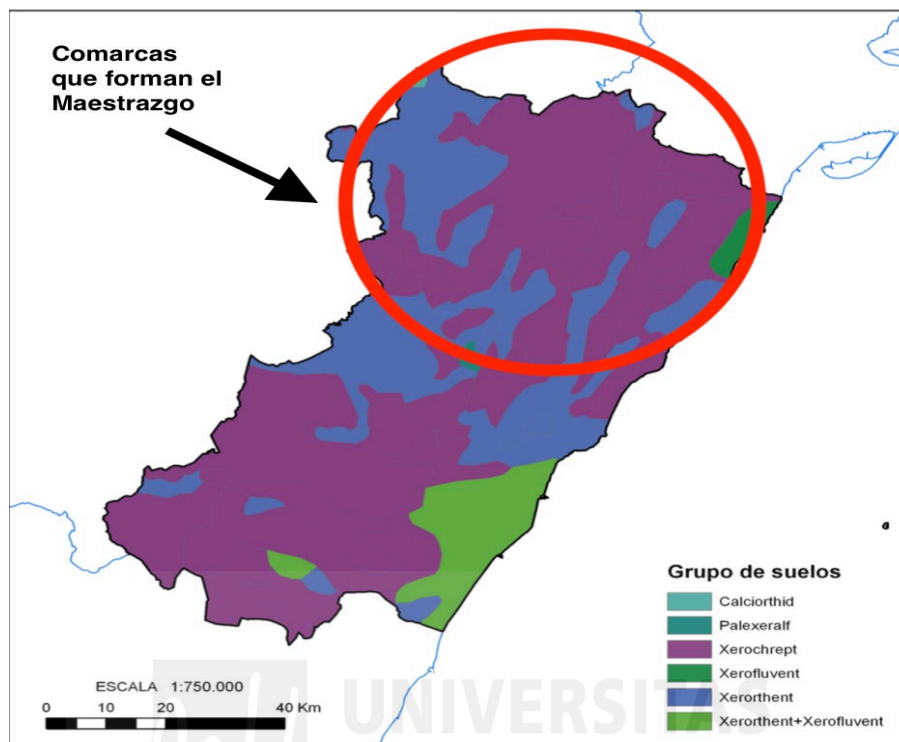


Figura 1.4. Mapa edafológico de la provincia de Castellón, según la Taxonomía de suelos del USDA-NRCS. Fuente: “Caracterización de las comarcas agrarias de España”, ministerio de Agricultura y Medio Ambiente (2014).

1.1.4 Historia del olivo en esta comarca y relevancia del cultivo

El olivo (*Olea europea*, L.) forma parte del patrimonio histórico de la Comunidad Valenciana, al norte de la provincia de Castellón, concretamente en la comarca del Maestrazgo y también parte de territorio de Aragón y Cataluña existe una zona que ostenta el mayor número de ejemplares de olivos milenarios del mundo, denominado territorio Sénia. Un lugar único que ha convivido con fenicios, íberos, romanos o musulmanes.

Este territorio está formado por 27 municipios (15 valencianos, 9 catalanes y 3 aragoneses). En el sólo se recogen en inventario los olivos que superan los 3,5 m de perímetro de tronco a 1,3 m del suelo, habiendo un total de 4.960 ejemplares milenarios repartidos entre sus municipios, albergándose más del 80% en Canet lo Roig, la Jana y Traiguera (Bajo Maestrazgo) y en Ulldecona (Cataluña).

Las Cortes Valencianas en el año 2006 aprobaron por unanimidad la Ley de Patrimonio arbóreo monumental de la Comunidad Valenciana, con el objetivo de proteger estos olivos milenarios.

El sistema Agrícola de Olivos Milenarios del Territorio Sénia contribuye en gran medida a alcanzar los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 de Desarrollo sostenible de Naciones Unidas. Dichos objetivos son de gran importancia para alcanzar retos globales como son; mitigar el hambre y la pobreza, la igualdad de género, fomentar la buena salud y bienestar, crecimiento económico y empleo de calidad, consumo responsable, acción por el clima etc..

El carácter permanente de este cultivo ha permitido la fijación de la población rural de las áreas, creando un sistema agroindustrial y económico (López- Cortés et al., 2006)

De acuerdo con datos estadísticos de la Conselleria de Agricultura, Desarrollo Rural, Emergencia Climática y Transición Ecológica, en el año 2019 la Comunidad Valenciana contaba con un total de 93.741 hectáreas dedicadas al cultivo del olivo, una tendencia ascendente en comparación con años anteriores. Desde el año 2015 a 2019 se produjo un incremento destacable de unas 2.568 ha (Figura 1.5).

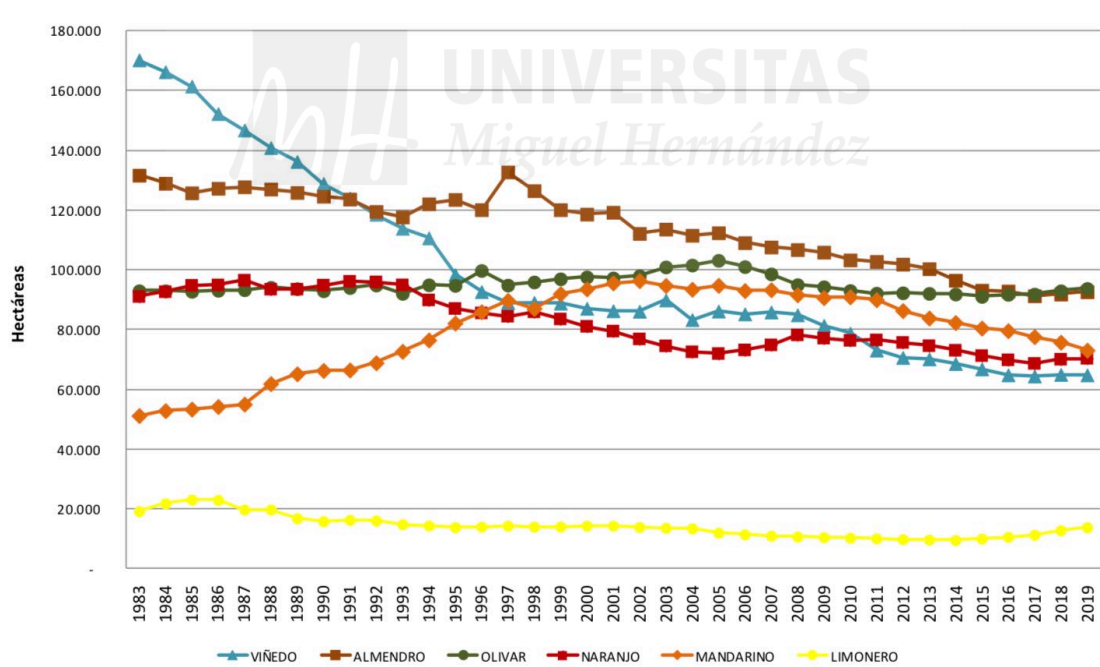


Figura 1.5. Evolución de la superficie de los diferentes cultivos en la CV. Fuente: ISAV. Conselleria de Agricultura, Desarrollo Rural, Emergencia Climática y Transición Ecológica.

El olivar tiene una gran importancia dentro de la provincia de Castellón, de acuerdo con datos estadísticos de la (FAO, 2015) hay unas 32.939 hectáreas dedicadas al cultivo del olivo, la zona intermedia (Bajo Maestrazgo) es la de mayor proporción de olivar sobre superficie cultivada. La mayoría de las plantaciones de olivo son de secano, exceptuando

un pequeño porcentaje con algún tipo de riego de apoyo y casi no existe ninguna plantación intensiva. Prácticamente la totalidad de las explotaciones son de tipo tradicional, en muchos casos, esta actividad se entiende como una fuente complementaria de ingresos (Caballero et al., 2006). En la Tabla 1.1, se muestra la relación existente entre el porcentaje de superficie cultivada de olivar y superficie de olivar total en los diferentes municipios que componen parte del Maestrazgo de Castellón.

Tabla 1.1. Superficie olivar respecto a la superficie cultivada y total.

MUNICIPIOS	% superficie olivar/cultivada	% superficie olivar/total
ALCANAR	18%	6%
BECEITE / BESEIT	28%	2%
BENICARLÓ	11%	8%
CÀLIG	30%	24%
CANET LO ROIG	93%	51%
CASTELL DE CABRES	0%	0%
CERVERA	41%	12%
FREGINALS	75%	21%
GALERA, LA	64%	45%
GODALL	67%	34%
HERBÉS	0%	0%
JANA, LA	87%	59%
MAS DE BARBERANS	87%	41%
MORELLA	0%	0%
PEÑARROYA DE TASTAVINS	5%	1%
POBLA BENIFASSÀ	0%	0%
ROSSELL	84%	30%
SAN RAFAEL DEL RÍO	44%	36%
SANT JORDI	31%	25%
SANT CARLES RÀPITA	20%	5%
SANTA BÀRBARA	55%	35%
SÈNIA, LA	96%	19%
TRAIQUERA	65%	44%
ULLDECONA	67%	31%
VALDERROBRES	15%	5%
VALLIBONA	0%	0%
VINARÓS	5%	4%

Fuente: Portal Estadístico Generalitat Valenciana.

Según la Conselleria de Agricultura, Pesca y Alimentación de la Comunidad Valenciana de las 23 variedades de oliva que se cultivan en España seis de ellas son valencianas; Villalonga, Blanqueta, Farga, Serrana de Espadan, Changlot Real y Alfafara.

Agustí (2010) clasifica las variedades de olivo en España en cuatro grupos: principales, secundarias, difundidas y locales. En función de su importancia y difusión. Entendiendo por variedades principales aquellas que tienen una importante superficie cultivada y son dominantes en, al menos, una comarca. En cambio, las variedades secundarias no llegan a dominar en ninguna comarca, pero son base de plantaciones regulares. Las difundidas y locales se presentan como árboles aislados en una o varias comarcas. Las variedades

principales y secundarias constituyen el 80% de la superficie cultivada, mientras que el 20 % se reparte entre las difundidas y locales.

En la comarca del Maestrazgo de Castellón la variedad predominante es la Farga. Esta variedad es originaria del norte de la provincia de Castellón, su cultivo se extiende por gran parte de la provincia, siendo especialmente importante en el Bajo Maestrazgo, y sur de Tarragona, donde representa el 70% de la superficie total.



Figura 1.6. Variedades predominantes de aceituna en las comarcas de Castellón. Fuente: Generalitat Valenciana. Conselleria de Agricultura, Pesca y Alimentación.

El sector olivarero además de tener una gran importancia ambiental y paisajística en la comunidad, juega un papel fundamental, en la lucha contra la erosión, la desertificación o la aridez en el territorio. En la Comunidad Valenciana la mayoría de las explotaciones oliveras se encuentran en zonas de difícil acceso, debido a las características orográficas del terreno.

La relevancia de este cultivo ya no es solo en términos económicos, ya que la estructura minifundista de este sector en la comarca le otorga un gran potencial social puesto que se comparten tareas, como pueden ser; la poda, recolección y laboreo.

1.2 El Cultivo del Olivo

1.2.1 Origen, taxonomía, y morfología

Los primeros hombres del neolítico, hace aproximadamente 4.000 a.C., comenzaron a seleccionar los mejores acebuches, los fueron domesticando y mejorándolos, esto

ocurrió en el creciente fértil, lo que actualmente lo integran países como; Líbano, Israel, Siria, etc.. Obteniéndose las actuales variedades, provenientes de dicho lugar (AEMO).

El olivo llegó a la Península Ibérica por el norte vía continental a través de los griegos y por el sur, vía marítima a través de los fenicios. Los romanos se encargaron de la expansión del cultivo, utilizándolo como arma pacífica en sus conquistas para el asentamiento de poblaciones, de ahí que, el cultivo no adquirió una verdadera importancia hasta la dominación romana en el 45 a.C. (Blázquez, 1966).

El olivo (*Olea europaea* L.) pertenece a la familia botánica Oleaceae, las plantas de esta familia son mayormente árboles y arbustos. Esta familia incluye a más de 600 especies diferentes, distribuidas en una veintena de géneros. La especie *Olea europaea* L. engloba también a el acebuche considerado el antepasado de los olivos cultivados.

De acuerdo con Barranco (2008) el olivo cultivado es un árbol vivaz de tamaño mediano, de unos 4 a 8 metros de altura. Lo considera un árbol polimórfico con fases juvenil y adulta basándose las diferencias principalmente entre ambas fases en la capacidad reproductora (solo en la fase adulta). El potencial de enraizamiento (superior en la fase juvenil) y la morfología de hojas y ramos. Caracteres como la densidad de copa, el porte del árbol o el color de la madera varían en función del cultivar.

La morfología del sistema radical del olivo es dependiente por una parte del origen del árbol y por otra por las condiciones del suelo. Si este proviene de una semilla, desarrolla una raíz principal durante los primeros años, sin producirse la formación de raíces laterales importantes. En cambio, si proviene de un estaquillado como la mayoría de árboles comerciales, se forman multitud de raíces adventicias. Estas raíces adventicias se comportan como raíces principales múltiples en el árbol. Según (Fernández et al., 1991) la profundidad y desarrollo radical está condicionado por la profundidad del suelo, la aireación y contenido de agua del mismo.

Las hojas son simples y persistentes, pudiendo permanecer hasta tres años en el árbol. Presenta consistencia coriácea, margen entero y forma elíptica o lanceolada. El color es verde oscuro en el haz, mientras que en el envés son de color blanco-plateado, recubierto por tricomas, que le sirven para controlar las pérdidas de agua por las estomas. El largo varía entre 30-80 mm, el área foliar puede oscilar entre 2-3 cm² (Barone et al., 1993; Cimato et al., 1997).

Las inflorescencias, son de color verde y luego blanca por la presencia de los pétalos, su forma es paniculada, poseen un eje central, con diversas ramificaciones donde se ubican varias flores, pueden medir de 10 a 70mm y contener entre 10 y 40 flores (Lavee, 1996). El desarrollo de la inflorescencia, dura de 30 a 45 días y está influenciado por factores ambientales y nutricionales (Tombesi, 1995).

El fruto (la aceituna) es una drupa de forma elipsoidal o globosa. En madurez es negra, negro violáceo o rojizo. Es un fruto con una semilla compuesto por tres tejidos principales: endocarpo, mesocarpo y exocarpo. Los tejidos del fruto se desarrollan del

ovario por los procesos de división, expansión y diferenciación celular, a partir de la fecundación y del cuajado inicial (Barranco, 2008).

1.2.2 Requerimientos climáticos y edafológicos

El cultivo del olivar es propio de las regiones mediterráneas caracterizadas por suaves inviernos, y veranos largos, cálidos y secos. La temperatura es el principal factor que condiciona la presencia del olivo en un determinado ambiente, y este árbol ha mostrado un crecimiento óptimo entre 20 y 30° C (Rinaldelli y Mancuso, 1974). Por otra parte, según (Fabbri y Benelli, 2000) la temperatura óptima para la mejor floración parece ser de 10 a 13°C, por debajo de 4 °C y superior a 18 °C, la exposición debe ser entre siete y diez semanas.

El olivo es más sensible al frío que otros frutales, en estado de reposo temperaturas comprendidas entre 0 °C y – 5 °C causan pequeñas heridas en brotes y ramas de poca edad. Temperaturas comprendidas entre -5 °C y -10 °C pueden provocar la muerte de brotes y ramas jóvenes, y temperaturas inferiores a -10 °C causan la muerte de ramas de gran porte e incluso de la totalidad de la parte aérea (Sibbett y Osgood, 1994).

Por lo tanto, en aquellos lugares donde se den con frecuencia temperaturas bajas, por debajo de las mencionadas, no se deben realizar plantaciones de olivos.

Dicho cultivo se adapta bien a una gran variedad de suelos, aunque es sensible a la falta de aireación. El tipo de perfil textural tiene gran importancia en cuanto al tipo de manejo. Puede afirmarse que el olivar de secano prefiere texturas menos finas, cuanto menor es la pluviosidad, para un mejor aprovechamiento del agua que llega al mismo. Diversos autores como Loussert y Brousse (1980), afirman que, para una pluviosidad entre 300 y 600 mm, la proporción óptima de arcilla es del 20%, mientras que, si esa pluviosidad es superior a 600 mm, pasa a ser del 30%.

Una textura se considera adecuada cuando la relación (arcilla+limo)/arena tiende a la unidad. Los suelos con texturas más gruesas tienen una buena capacidad de aireación, en cambio no son tan favorables para el olivar de secano, puesto que la retención de agua es considerablemente menor, siendo eso sí, excelentes para el olivar de regadío.

En comparación con otros árboles frutales tiene una mayor tolerancia a la salinidad. Ciertos estudios indican que pueden existir mermas de producción de un 10%, si la CE alcanza un valor de 4 dS/m y con una CE de 8 dS/m, el crecimiento y la producción pueden sufrir consecuencias severas.

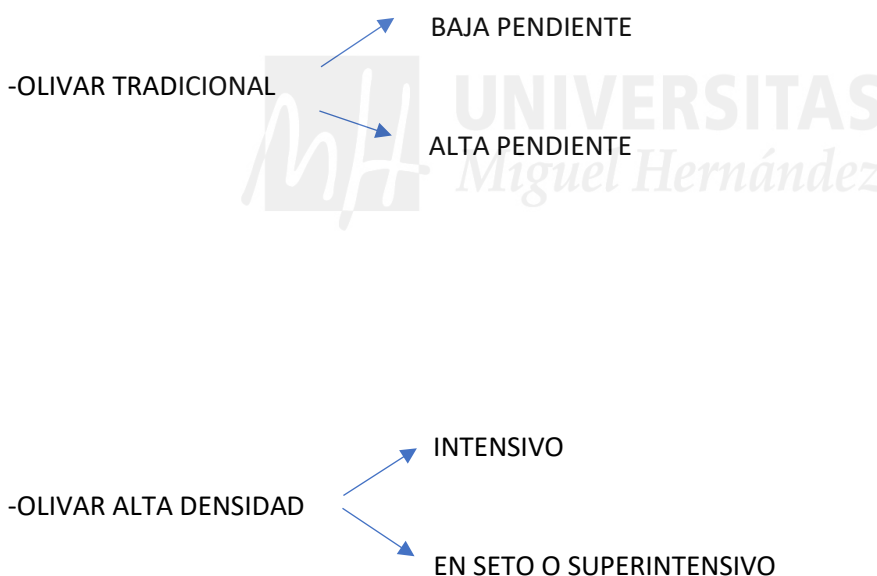
Siendo el olivo un cultivo sensible a la asfixia radicular, bajo las condiciones del clima mediterráneo, el encharcamiento no suele ser un problema importante en el olivar.

1.2.3 Sistemas de Cultivo del Olivo en España

Para que el cultivo del olivo sea una actividad económicamente rentable, los ingresos obtenidos de la venta de la aceituna recolectada han de superar los costes que incurre por la realización de las actividades agrícolas. El agricultor tiene la capacidad de influir en la rentabilidad agrícola actuando directamente sobre sus costes agrícolas y ello va a depender del grado de mecanización. Sobre el grado de mecanización de las labores del cultivo del olivar tiene gran influencia el sistema de cultivo adoptado.

El diseño correcto de la plantación permitirá acortar el periodo improductivo, aprovechar al máximo el medio y mecanizar las operaciones de cultivo.

En España existen 2.600.000 hectáreas de olivo, cultivados de manera diferente. De acuerdo con la Asociación Española de Municipios del Olivo (AEMO) a lo largo de los años han ido surgiendo diferentes sistemas de cultivo. Todas las fincas de olivo español quedan representadas en el siguiente esquema:



OLIVAR TRADICIONAL BAJA PENDIENTE

Según datos de (AEMO) este sistema de cultivo representa el 50 % del olivar español. Es caracterizado por poseer cultivos con baja densidad de árboles entre 80-120 árboles por hectárea, y tener menos de un 20% de desnivel. Los árboles quedan distribuidos en un marco de plantación de 10 x 10m, hasta incluso 12 x 12m, entre los vértices donde están plantados los olivos. Son olivares con decenas de años y cuentan con dos o tres pies para incrementar la producción.

Este sistema de cultivo posibilita parcialmente la mecanización de ciertas labores, ya que son olivos con dos o tres pie y van a dificultar la recolección directa.



Figura 1.7. Olivar tradicional de baja pendiente.

Fuente: <http://www.esenciadeolivo.es/cultura-del-olivo/cultivo/el-olivo-olea-europea/>



OLIVAR TRADICIONAL ALTA PENDIENTE

La característica principal y diferencial con el anterior sistema se da en la vegetación de los olivos, produciéndose en pendientes superiores al 20% de desnivel, condición que hace prácticamente imposible la mecanización de las labores, ni siquiera la de recolección, la de mayor coste para el agricultor. Son olivares tradicionales típicos de comarcas de montaña (Figura 1.8), en los cuales no se contempla el cambio de sistema de plantación debido a la orografía del terreno.

En pendientes que superan el 25%, el método eficaz para luchar contra la erosión es la construcción de bancales en donde se distribuyen los olivos de forma regular. A la dificultad de mecanización que ofrecen las plantaciones en bancales hay que añadir su elevado coste (Barranco, 2008).

La principal desventaja de estos sistemas de cultivo tradicionales es el bajo nivel de producción, traduciéndose en una menor competitividad en comparación con el sistema intensivo o superintensivo.



Figura 1.8. Olivar tradicional alta pendiente.

Fuente:

https://cadenaser.com/emisora/2016/06/30/radio_cordoba/1467268754_929514.html



OLIVAR ALTA DENSIDAD INTENSIVO

El olivar en intensivo suele estar dotado de riego y en idóneas condiciones para una mecanización completa de la recolección e incluso de otras labores agrícolas. Consta de olivos de un solo pie, colocados en marcos de plantación de 6 x 6m o de 6 x 3m, obteniendo unas densidades de 200-500 árboles por hectárea. La producción en estos sistemas es notablemente mayor que en el sistema de cultivo tradicional, de acuerdo con la Asociación Española de Municipios del Olivo es debido a que la producción es directamente proporcional a la fotosíntesis, y esta a su vez, es directamente proporcional a la superficie verde expuesta al Sol.

Este sistema de cultivo permite un gran ahorro en costes, ya que una sola persona puede recolectar grandes superficies de cultivo en poco tiempo, con un tractor dotado de un paraguas invertido.

OLIVAR EN SETO O SUPERINTENSIVO

Está formado por hileras de olivos muy jóvenes formando un seto, se consiguen densidades mucho mayores, entre 1.000-2000 árboles por hectárea. La vida útil de la

plantación oscila entre los 12-14 años, por lo que al transcurrir esos años es necesario llevar a cabo una renovación de la plantación. La disposición de la plantación es acorde a la recolección mediante una máquina cabalgadora, mecanizando el derribo del fruto, la recepción y el transporte.

Los volúmenes anuales de riego varían notoriamente con la evolución termopluiométrica anual y con las características edafológicas de la parcela. Recientes investigaciones llevadas a cabo en Sicilia, en entornos con elevada demanda evapotranspirativa, han puesto de manifiesto que $1.300\text{m}^3/\text{ha}$ serían suficientes para satisfacer las necesidades hídricas anuales de las plantaciones olivícolas superintensivas.

Según datos de AEMO actualmente supone el 3% de las explotaciones olivareras a nivel español, pero con un fuerte auge en los próximos años, ya que la investigación internacional ya ha validado la sostenibilidad agronómica y económica de este tipo de plantaciones.



Figura 1.9. Olivar en seto o superintensivista.

Fuente: <https://www.olimerca.com/noticiadet/suspendida-la-recoleccion-nocturna-en-olivares-superintensivos/22b1f1f338642af897104e32bd402fb6>

1.3 Alperujo

1.3.1 Proceso de obtención, producción y características del alperujo

El cultivo de la aceituna y la producción de aceite de oliva tiene una gran importancia en la región mediterránea, ya que en ella se produce el 97% de la producción total de aceite de oliva. Los principales países productores de aceite a nivel europeo son: España, Italia, Grecia y Turquía, por orden de importancia.

La extracción del aceite de oliva puede clasificarse en dos procesos; proceso de prensado tradicional (Figura 1.10) y procesos de centrifugación (Figura 1.11) (dos o tres fases) (Kappellakis et al., 2008). Estos procesos implican diferentes operaciones, que van desde la eliminación de hojas, el lavado de la aceituna, el triturado, batido y separación del aceite.

El aceite de oliva se extrae directamente del fruto fresco del olivo (*Olea europaea* L.) utilizando únicamente métodos mecánicos para preservar sus características organolépticas de acuerdo con el Reglamento de la Comisión Europea nº 1513/2001 (CE, 2001).

Con el paso de los años los procesos mecánicos utilizados para la obtención del aceite de oliva han ido evolucionando, debido a la necesidad de operar con un mayor volumen de aceitunas y obtener mayores rendimientos de aceite de oliva.

En la actualidad el sistema de prensa hidráulica es un sistema obsoleto y menos eficiente, en España su uso es prácticamente inexistente, y más del 90% de las industrias de extracción de Aceite de Oliva trabajan con el moderno sistema de centrifugación de dos fases (Roig y cols., 2006). El sistema de prensa hidráulica resulta poco operativo, ya que, al ser discontinuo, consigue rendimientos horarios bajos, necesita mucha mano de obra y, en líneas generales es difícil conseguir una correcta higienización (Tardáguila et al., 1996).



Figura 1.10. Sistema de extracción de prensa hidráulica. Fuente:

<https://www.oliveoiltimes.com/es/basics/what-does-cold-pressed-really-mean/84235>

A partir de 1970, con el fin de aumentar la capacidad de procesamiento y reducir la mano de obra, se introdujo el proceso de centrifugación de tres fases (Demicheli y Bontoux, 1997). Con este nuevo sistema de extracción se modificó el concepto de subproducto de manera considerable, en cantidad y en características, y en su utilización posterior (García-Ortiz y cols., 1993). El residuo sólido obtenido se separa de las otras dos fases en el decantador, donde posteriormente las fases líquidas se someten a una centrifugación vertical para separar el aceite de oliva, por diferencia de densidad,

obteniéndose tres elementos bien diferenciados; aceite, orujo y agua residual. Este sistema de centrifugación tiene una problemática y es la elevada cantidad de aguas residuales que genera, debido al gran consumo de agua 1,25 - 1,75 veces superior a la extracción con prensa (Vlyssides et al. 2004).

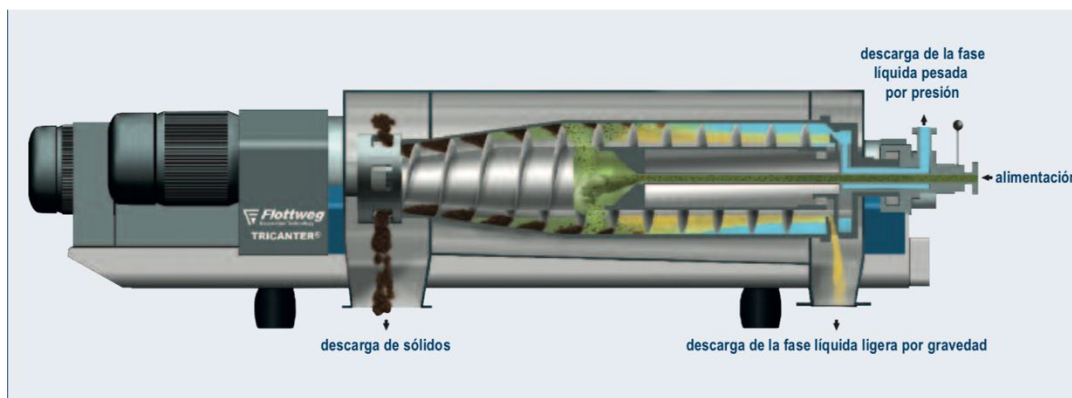


Figura 1.11. Centrifuga decantadora de tres fases. Fuente:

https://www.flottweg.com/fileadmin/user_upload/data/pdf-downloads/Olivenoel-ES.pdf

Ante tal problemática, a finales de la campaña oleícola 1991-92, se desarrolló un nuevo proceso de centrifugación de dos fases, el cual utiliza solamente agua de la propia vegetación, o una adición mínima, dependiendo de la humedad del material. Consiguiendo una reducción en el consumo de agua entre el 65-70% frente al sistema de centrifugación de tres fases.

Como consecuencia permite la obtención de un aceite de oliva de una calidad superior debido a una mayor cantidad de agentes antioxidantes, que otorgan mayor estabilidad ante fenómenos oxidativos (Ranalli y Martinelli, 1995). Este sistema de dos fases es de gran importancia puesto que alcanza más de un 95% de la producción total (Roig et al., 2006). De este sistema de extracción de dos fases se obtiene el alperujo, donde la entrada al proceso es la oliva y la salida del balance de masas es el producto principal (aceite de oliva) y un flujo secundario denominado alperujo, el cual incluye parte de la pulpa de la aceituna, una fracción acuosa, y generalmente el hueso de la aceituna.

El impacto medioambiental de la producción de aceite de oliva es importante, ya que la extracción del aceite puede requerir importantes cantidades de agua y genera y genera muy altas cantidades de residuos en las almazaras, además en un periodo limitado de 3-4 meses que dura la recolección de las aceitunas (Regni, et al., 2017; Ntougias et al., 2013; Mechri et al., 2011; Ouzounidou et al., 2010; Morillo et al., 2009). Se han realizado muchos estudios con el objetivo reducir el impacto ambiental de los alperujos y / o

aprovechar su valor económico potencial. Hasta ahora, los alperujos se han utilizado como combustible, fertilizante o alimento para animales (Manios, 2004).

A nivel nacional, se estima un crecimiento que apuntan a picos de 2.000.0000 de toneladas de aceite de oliva más por campaña, como consecuencia de los nuevos sistemas intensivos de plantación, con una producción futura según datos de la Asociación Española de Municipios del Olivo de 7.200.000 toneladas de alperujo. Las almazaras de las comarcas de el Alto y Bajo Maestrat y Els Ports (Castellón) generan anualmente unas 10.000 toneladas de alperujos.

Este material se puede catalogar como una matriz orgánica heterogénea que contiene moléculas complejas y sencillas cuyo origen es directamente el olivo, que han sido sintetizadas de forma natural y cuya naturaleza es mayoritariamente orgánica. Algunos de estos compuestos se han identificado como compuestos pre-prebióticos incluyendo capacidades antibióticas, antimicrobianas y anticancerígenas.

El alperujo, subproducto obtenido en el sistema de extracción de dos fases, tiene una baja porosidad, que, junto con las grasas y polifenoles que tiene dificulta el manejo de su gestión. Cuenta con una relación humedad/materia seca variable, pero se sitúa por debajo del 50%, siendo la humedad máxima para alperujo desecado del 25%. El pH es ligeramente ácido, aspecto muy interesante a tener en cuenta a nivel agronómico puesto que la acidez en las enmiendas orgánicas esta correlacionado con la mayor o menor concentración de grupos alcohol (-OH) y carboxilo (-COOH), estos grupos ácidos le otorgan al suelo una serie de propiedades como es una mayor solubilidad y un aumento de la disponibilidad de nutrientes en muchos casos deficitarios como son el Fe y Mn. Su contenido en materia orgánica es elevado (849-976 g/Kg) como valor medio, indicador de la baja presencia de sales que tiene. La conductividad eléctrica varía desde valores cercanos a 1 dS/m hasta más de 5 dS/m.

En lo referente al contenido en nutrientes, podemos considerarlo como un material fertilizante rico en potasio, algo característico de los residuos y subproductos de almazara, por el contrario, sus contenidos son bajos en nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio en comparación con otros residuos orgánicos (Pascual y cols., 1997).

En la Tabla 1.12, se incluye una composición promedio de muestras de alperujos, recogidas en la comarca del Maestrazgo en la campaña 2019-20 (3 submuestras en cada almazara durante una semana), expresados sobre materia seca. Dichos valores son representativos de su naturaleza y composición.

Tabla 1.12. Composición promedio alperujos comarca Maestrat campaña (2019-20).

Fuente: datos del GIAAMA (Grupo de Investigación Aplicada en Agroquímica y Medio Ambiente- UMH).

Propiedades	Valor (s.m.s)	desviación	Valor (s.m.f.)
Humedad (%)	47,6	5,2	--
Materia seca (%)	52,4	5,2	--
Densidad aparente (kg/L)	1,1	0,1	--
pH (ud pH)	5,4	0,3	--
Conductividad Eléctrica (dS/m)	2,8	0,2	--
Materia orgánica total, MOT (%)	94,6	0,9	49,8
Nitrógeno total, NT (%)	1,12	0,2	0,59
Carbono orgánico total, COT (%)	53,5	0,7	28,1
Relación COT/NT	55,1	5,1	29,0
Fósforo total (g P/kg)	1,5	0,1	0,80
Fósforo como P2O5 (g P2O5/kg)	3,4	0,2	1,8
Potasio total (g K/kg)	18,5	2,5	9,7
Potasio como K2O (g K2O/kg)	22,2	2,7	11,5
Sodio total (g Na/kg)	1,8	0,3	1,0
Polifenoles (mg/kg)	7174	892	3773
Ácidos húmicos y fúlvicos (g/kg)	6,5	2,0	3,6

1.3.2 Principales usos del Alperujo

El alperujo no se considera un residuo peligroso por la legislación española. Existe una Orden Ministerial, Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos. En dicha lista el alperujo se incluye en el capítulo 02: *Residuos de la agricultura, horticultura, acuicultura, silvicultura, caza y pesca; residuos de la preparación y elaboración de alimentos, (código: 02 01 03 Residuos de tejidos vegetales)*.

El aprovechamiento o explotación del alperujo desde un punto de vista ambiental puede abordarse de diversas formas, como el compostaje (Albuquerque et al., 2004), la generación de energías (Ollero et al., 2003) o como hasta ahora, orientada a la gestión principal de extracción de aceites de orujo en las orujeras (Clemente et al. 1997), pero el creciente aumento en la producción de alperujos y el pesimista escenario de precios futuros para el aceite de orujo y para la biomasa, hacen que cada vez sea más necesario la búsqueda de alternativas. La aplicación directa de alperujos en zonas del cultivo del olivo y de otros cultivos cercanos a las almazaras puede constituir una alternativa económica y acorde con los principios de la economía circular. Con los experimentos

planteados en este trabajo se pretende obtener información con base científica y trasladarla a la administración para ayudar a legislar y tener la base legal para este tipo de actuaciones y al sector, para que pueda ejercer esta actividad con seguridad, como llevan demandando desde hace tiempo.

1.3.2.1 Aprovechamiento energético

Los residuos resultantes en los procesos de obtención de aceite de oliva en las almazaras pueden clasificarse según su humedad en (baja, media o alta). Convertir en energía térmica y eléctrica estos residuos generados por las almazaras, es una opción muy interesante en el caso de residuos de baja humedad, como el hueso de aceituna o el residuo de orujo seco extraído (Galanakis, 2011).

En cuanto a los subproductos de humedad-media, como el alperujo obtenido en el sistema de centrifugación de dos fases, también existen ciertas experiencias sobre su uso energético, pero implica mayores dificultades debido a un mayor contenido en humedad (Albuquerque et al, 2004).

El aprovechamiento energético a partir de los subproductos del olivar es una técnica aceptada en el sector, ya que hay un beneficio de las materias primas debido a la producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables.

Los residuos provenientes de las operaciones de poda del olivar contienen cantidades significativas de celulosa, hemicelulosa y lignina. Esta composición permite considerar estos residuos como una importante fuente de energía. En cambio, en el ya mencionado sistema de centrifugación de dos fases, se obtiene por un lado el aceite de oliva y por otro el alperujo, el cuál es el principal residuo, constituido por huesos de aceituna, agua de proceso y todo el material procedente de los frutos de aceituna, tiene un alto contenido en extractos alrededor del 48% y un contenido en carbohidratos cercano al 20%. Dicho material se puede procesar una segunda vez para obtener "aceite de orujo", generándose un residuo final denominado "residuo de orujo seco extraído", el cual se puede integrar en la biorrefinería para la producción de energía.

Los huesos de las aceitunas se pueden extraer del alperujo después de la separación del aceite, mediante un proceso físico, en gran parte por el gran interés que suscita como biocombustible para las propias almazaras (autoconsumo), siendo los excedentes comercializados para la generación eléctrica en industrias o calefacción doméstica, y a intermediarios que lo distribuyen o transforman.

En las industrias de extracción de aceite de orujo de oliva, el residuo de orujo seco se utiliza generalmente como energía para secar el orujo de aceituna húmedo, aunque en los últimos años se ha incrementado el uso del hueso de aceituna como combustible en las calderas de almazara en lugar del orujo seco extraído.

Además de la combustión, en los últimos años se han investigado otras tecnologías termoquímicas para este tipo de residuos, como la pirolisis o la gasificación (Christoforou y Fokaides, 2016b).

Morrillo et al., 2009 también investigaron la utilización de alperujo para la obtención de biocombustibles, como sería biogás a partir de digestión anaerobia, o bioalcohol por hidrólisis enzimática de los polisacáridos y posterior fermentación alcohólica con levaduras.

En cuanto a los residuos de humedad media, como el orujo de almazara bifásico (alperujo), han investigado algunos tratamientos como la torrefacción combinada con el briquetado para evaluar la viabilidad de energía a partir de estos residuos (Benavente y Fullana, 2015).

1.3.2.2 Extracción de aceite de orujo

El proceso de obtención del aceite de orujo comienza con la recepción del alperujo en las orujeras o extractoras, el cuál se va a utilizar como materia prima para obtener aceite de orujo. La extracción se puede llevar a cabo mediante procedimientos químicos o físicos. La mayoría de las extractoras emplean el sistema de centrifugación horizontal o decanters (métodos físicos) para extraer el aceite de orujo por diferencia de densidad. El funcionamiento de estos dispositivos consiste en un tambor cilíndrico-cónico que gira a gran velocidad, sometiendo a el alperujo a una centrifugación. La obtención de aceite de orujo a través de métodos químicos se basa en una extracción sólido-líquido, en la que se emplea un disolvente orgánico (hexano). El producto final obtenido en estas instalaciones es el aceite de orujo, aunque se obtiene en unos porcentajes muy bajos en comparación con la cantidad de alperujo que llega a las instalaciones, en torno a un 2% del total de alperujo introducido.

El aceite de orujo de oliva obtenido debe someterse a un proceso de refinado, así como, mezclarse con el aceite de oliva virgen extra con el fin de mejorar su sabor, olor y color, con la finalidad de obtener aceite de orujo de oliva apto para el consumo.

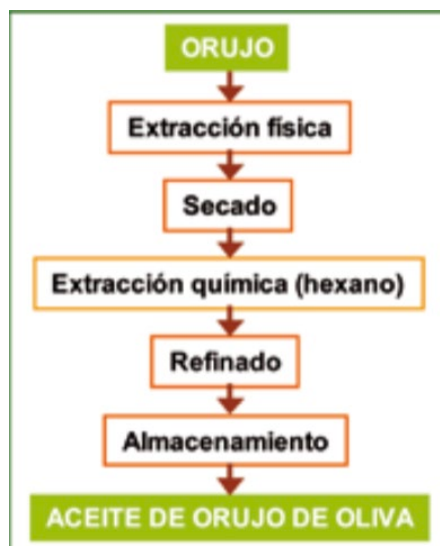


Figura 1.12. Fases de elaboración del aceite de orujo. Fuente: Elaboración propia.

En la actualidad, este modelo de gestión, que es el más usado tradicionalmente, se está replanteando, ya que, aunque a priori parece que resuelve totalmente los problemas asociados a la gestión los subproductos generados en las almazaras, en cambio, la solución que damos al problema no es realmente una solución final, ya que en el sector o entorno donde están esas orujeras se generan otra serie de impactos; residuos, emisiones (GEI) asociadas a la quema de combustibles fósiles, etc..

El orujo bifásico (alperujo) tiene una humedad cercana al 70%, mientras que el orujo tradicional tiene un contenido de humedad entre el 25-30%, y el 45%, en el sistema centrifugo de 3 fases. Esto conlleva unos mayores costes económicos asociados al transporte de estos materiales entre orujeras y almazaras, como consecuencia, implica una cadena de gestión larga. Además, el bajo precio del aceite de orujo de oliva crudo y del orujillo obtenido en las orujeras está haciendo bajar la rentabilidad de las orujeras generando serios problemas de equilibrio financiero en el sector orujero.

Como aspecto positivo, cabe destacar que a partir de un residuo se está generando un aceite de segunda mano o de menor calidad comercializable, en un entorno regulado y maduro con unas directrices claras.

Por todo ello, la tendencia actual es un balance económico crecientemente negativo, lo que hace necesaria la búsqueda de soluciones de valorización alternativas, buscando un sistema de economía circular donde el sector oleícola pueda manejar un conjunto de soluciones de manera continua.

1.3.2.3 Recuperación de compuestos fenólicos

La recuperación de compuestos fenólicos del alperujo como fuente potencial de compuestos bioactivos para las industrias farmacéutica y nutracéutica ha sido estudiada por diversos autores (Rodis et al., 2002, Aludatt et al., 2010).

Alu'datt et al., 2010, destacaron el alto contenido en polifenoles y actividades antioxidantes encontradas en extractos de alperujos, lo que confirma que pueden utilizarse en productos, farmacéuticos y alimenticios nutracéuticos y funcionales, contribuyendo a disminuir su impacto en el medio ambiente.

La cantidad y el tipo de compuestos fenólicos en el alperujo depende del cultivo y la madurez del fruto, las condiciones climáticas, el tiempo de almacenamiento y la técnica de procesamiento (Allouche et al., 2004, Fiorentino et al., 2003, Piperidou et al., 2000). Los principales compuestos fenólicos presentes en el alerujo son hidroxitirosol (Fernandez-Bolanos et al., 2002), oleuropeína (Mulinacci et al., 2001), tirosol (Allouche et al., 2004), ácido cafeico (Lesage-Meessen et al., 2001), ácido p-cumárico, ácido vainílico (Bianco et al., 2003), verbascósido, ácido elenólico (Mulinacci et al., 2001), catecol (Fiorentino et al., 2003) y rutina (Romero, Brenes, García Y Garrido, 2002).

En otros estudios se han evaluado aspectos de la actividad antioxidante del alperujo de aceituna; como la potencia antioxidante (Ranalli et al., 2003, Shahidi y Naczki, 2004), las actividades anti-radicales y las actividades de eliminación de radicales (Lesage-Meessen et al., 2001, Shahidi y Naczki, 2004).

Alu'datt et al., 2010, evaluaron y optimizaron las condiciones para la extracción de compuestos fenólicos y las actividades antioxidantes del alperujo sin desgrasar y desgrasado. Así, demostraron que el ácido protocatecuico, el ácido hidroxibenzoico, el ácido sinápico, el ácido p-cumárico, la rutina y la hesperidina eran los compuestos fenólicos libres predominantes, mientras que el ácido síringico, el ácido sinápico, el ácido cafeico y el ácido protocatecuico fueron ácidos fenólicos ligados predominantes. Encontraron que, del contenido fenólico total, el 75-90% se encontraba en sus formas libres, mientras que solo del 10-25% estaban ligados. También observaron una correlación positiva entre el contenido fenólico total y la actividad antioxidante.

1.3.2.4 Compostaje de alperujo

El compostaje es una alternativa para el reciclaje y valorización del alperujo de gran interés, (Mantzavinos y Kalogerakis, 2005) por sus beneficios ambientales y económicos, ya que el compost final resultante, puede utilizarse para la preparación de enmiendas y abonos orgánicos, así como para sustratos de cultivo, aprovechables a escala local, contribuyendo así a la optimización del uso de los recursos naturales.

Podemos definir el compostaje como un proceso de degradación aeróbico controlado, de materiales de desecho, en el que intervienen numerosos y diversos microorganismos, que requieren una determinada humedad y sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido. El compostaje implica el paso por tres fases; la fase de activación, la fase termofílica reconocida por el aumento de la temperatura, y una fase mesofílica donde los materiales orgánicos se enfrían a la temperatura circundante (Ryckeboer et al., 2003). Se genera dióxido de carbono, agua y minerales, así como materia orgánica, libre de fitotoxinas. Como consecuencia de los procesos de degradación, dando como resultado un producto óptimo para el empleo en agricultura sin que provoque efectos perniciosos (Costa et al., 1991).

El proceso de compostaje presenta algunas dificultades (Cegarra y Paredes, 2008; García-Gómez et al., 2003), relacionadas principalmente con su elevado contenido en lignina, elevada relación C/N debido a su bajo contenido en nitrógeno, efecto antimicrobiano de algunos de sus componentes (polifenoles y lípidos, entre otros), y las características semisólidas del material, que limita la difusión del oxígeno necesaria en el proceso aeróbico de la biodegradación de la materia orgánica. Dicha problemática relacionada con la consistencia física del residuo, elevada humedad, baja porosidad y una textura pastosa que dificulta su aireación es comentada por diversos autores (Albuquerque et al. 2006; Cayuela et al. 2006).

Por dichos motivos, la viabilidad del compostaje de alperujo va a depender del aporte de agentes estructurantes, que faciliten su manejo y aireación, ayuden a la retención del nitrógeno estabilizando la relación C/N que presenta el alperujo y aporten porosidad a la mezcla, esto puede lograrse incorporando estiércol ovino fresco (Cayuelas et al. 2005), hojas de olivo (Albuquerque et al. 2006), raspón de uva (Baeta-Hall et al. 2005), corteza y serrín de chopo (Flippi y cols., 2002).

Otros aspectos a tener en cuenta a la hora de elegir los materiales para las distintas mezclas son la disponibilidad del material, coste y su proximidad a la planta de compostaje (Cegarra y Paredes, 2008). Por ello, en el compostaje del alperujo es conveniente utilizar materiales del entorno de las zonas del cultivo del olivo y de la extracción del aceite, como la hoja de limpia o estiércol (Cayuela et al., 2004), con el fin de incrementar la viabilidad económica del proceso, solucionar paralelamente los problemas de gestión de otros tipos de residuos locales y fomentar su posterior uso en la agricultura. Esta forma de gestión integral, contribuye a la valorización de los recursos propios de una zona y a potenciar la confianza en el compostaje del alperujo, como una buena opción de tratamiento.

Existen muchos métodos para transformar el alperujo y otros materiales similares en compost, pero fundamentalmente se basan en el control de la humedad y la aireación de la mezcla. La evolución de la temperatura marca las diferentes etapas (mesófila,

termófila, enfriamiento y maduración) en el proceso de compostaje, por lo que determinan el grado evolutivo (Chen e Inbar, 1993). El compost a de alcanzar un grado óptimo de maduración para poder ser aplicado, y de ello, va a depender la duración del proceso entre seis y nueve meses.

Señalar que la presencia de polifenoles debe inferior al 0,8% del producto, la determinación de estos, se debe realizar con el método de Kuwatsuka y Shindo. En el proceso de compostaje los polifenoles presentes se degradan y su presencia en los productos finales es baja, por lo que el riesgo de fitotoxicidad disminuye. También tienen propiedades antimicrobianas, por lo que los alperujos, en general, no presentan riesgos sanitarios-higiénicos asociados a la existencia de microorganismos patógenos a diferencia de otros materiales orgánicos residuales que se aplican de manera directa en agricultura como es el caso de los lodos de depuradora.

El compostaje de alperujo juntos con elementos estructurantes, produce un compost con buen grado de humificación, no fitotóxicos, libres de patógenos, y con niveles aceptables de nutrientes (Alfano y cols., 2008; Cayuela y cols., 2004; Roig y cols., 2006).

Tortosa et al. (2018) realizaron procesos de co-compostaje exitosos desde el punto de vista de la higienización de los materiales a base de alperujo desecado, hojas de olivo, estiércol de oveja, lodo de tomatera y pollinaza. García-Rández et al., (2018) co-compostaron alperujo fresco con hojas de olivo y gallinaza como alternativa económica para la gestión de estos residuos en la comarca del Maestrat (Castellón).

El compostaje ha resultado un método adecuado para la valorización eficiente de este subproducto y el compost de alperujo es una enmienda excelente de suelos. Este tipo de gestión puede incrementar los ingresos y viabilidad de pequeñas almazaras. Algunas sugerencias para asegurar un buen compostaje del alperujo según Akrotos et al., son:

- Asegurar una concentración de oxígeno entre el 15 y el 20%
- Seleccionar adecuada de agentes de carga para lograr valores de porosidad del compost entre el 35 y el 50% y una relación C/N entre 10 y 20.
- La duración del proceso debe ser de al menos 90 días.
- Deben evaluarse agentes genotóxicos y citotóxicos antes de utilizar los compost en cultivos agrícolas.

También Khayer et al., (2013) proponen para obtener un buen compost en el compostaje de alperujo con una relación C/N ideal entre 10-20 que se usen agentes de carga con bajas concentraciones en compuestos estables (lípidos, polifenoles, ligninas, celulosa, hemicelulosa y pectina), con un tamaño de partícula que proporcione un área superficial pequeña y con alta concentración de nitrógeno total, este último aspecto puede solucionarse fácilmente utilizando estiércol animal (Cegarra et al., 2006).

En el aprovechamiento de los compost se producen dos variantes, una de carácter ambiental, al reducir los residuos sin alteración importante del equilibrio de los ecosistemas, y otra agronómica, según Cooperband (2002) y Rynk (1992) mejora la capacidad hídrica del suelo y la estabilidad de los agregados, mejor el intercambio catiónico, aumenta la actividad microbiana y la degradación de plaguicidas y otros compuestos orgánicos sintéticos.

1.3.2.5 Uso de alperujo como enmendante de suelos

El orujo graso húmedo (alperujo) no destinado a las orujeras, sino destinado a la obtención de compost o bien a desecación para su aplicación al suelo, recibe varias denominaciones dependiendo de cada administración autonómica. En aquellas comunidades autónomas donde se considera al alperujo un residuo, las extractoras de aceite de orujo y las plantas de compostaje son consideradas instalaciones de tratamientos de residuos y sometidas al régimen de autorización previsto Ley 22/2011, de 28 de julio. En cambio, otras comunidades no han requerido autorización, pues, consideran que el Real Decreto de fertilizantes distingue entre compost de alperujo y compost a partir de residuos, por lo que dedujeron que el alperujo no es un residuo.

En relación, al uso del alperujo en agricultura cabe destacar el Real Decreto 506/2013, de 28 de junio sobre productos fertilizantes, modificado por el Real Decreto 999/2017 de 24 de noviembre donde el anexo 1, "Grupo 6. Enmiendas orgánicas", se establecen los requisitos para el uso de "6.08 Alperujo desecado" y "6.09 Compost de alperujo". En la Tabla 1.13 se exponen dichos requisitos.

Tabla 1.13. Enmiendas orgánicas asociadas al alperujo. Anexo I Real Decreto 506/ 2013.

N.º	6.08	6.09
Denominación del tipo	Alperujo desecado	Compost de alperujo
Informaciones sobre la forma de obtención y los componentes esenciales	Producto procedente de almazaras con un proceso posterior de secado para reducir su fitotoxicidad	Producto obtenido por descomposición biológica y estabilización de la materia orgánica procedente del alperujo, bajo condiciones que permitan un desarrollo de temperaturas termofílicas
Contenido mínimo y máximo (porcentaje en masa) Otros requisitos	Materia orgánica total: 25%. Humedad máxima: 25%. Contenido máximo en polifenoles: 0,8%. No podrá contener impurezas ni inertes de ningún tipo tales como piedras, gravas, metales, vidrios o plásticos.	Materia orgánica total: 45%. Humedad máxima: 40%. Relación C/N < 20. Contenido máximo en polifenoles: 0,8%. No podrá contener impurezas ni inertes de ningún tipo tales como piedras, gravas, metales, vidrios o plásticos.
Otras informaciones sobre la denominación del tipo o del etiquetado	– pH. – Conductividad eléctrica. – Relación C/N. – Humedad mínima y máxima. – Tratamiento o proceso de elaboración, según la descripción indicada	– pH. – Conductividad eléctrica. – Relación C/N. – Humedad mínima y máxima. – Tratamiento o proceso de elaboración, según la descripción indicada
Contenido en nutrientes que debe declararse y garantizarse. Formas y solubilidad de los nutrientes Otros criterios	– Materia orgánica total. – C orgánico. – N total y N orgánico (si > 1%). – Otras formas de N (si > 1%). – P2O5 total (si supera el 1%). – K2O total (si supera el 1%). – Ácidos húmicos. – Granulometría.	– Materia orgánica total. – C orgánico. – N total y N orgánico (si superan el 1%). – Otras formas de N (si superan el 1%). – P2O5 total (si supera el 1%). – K2O total (si supera el 1%). – Ácidos húmicos. – Granulometría.

En la actualidad, se están planteando la aplicación directa de alperujos fresco sin desecar al suelo, pero esta práctica todavía no está regulada a nivel nacional. Con los experimentos realizados en este estudio queremos contribuir a determinar dosis de aplicación y condiciones para poder realizar este tipo de aplicaciones. Así podemos contribuir a mejorar la gestión de este subproducto del que cada año se generan millones de toneladas, la mayoría de ellas en la región Mediterránea, donde casi la totalidad de los suelos tienen una baja concentración en materia orgánica, además las prácticas agrícolas intensivas, la erosión y las condiciones climáticas de la zona provocan una grave degradación del suelo.

En Cataluña, a través del Decreto 198/2015, de 8 de septiembre, de gestión agrícola de los efluentes producidos en bodegas y almazaras, está regulado, especificando y limitando las condiciones para su uso concreto, en dicho decreto además del alperujo incluyen otros efluentes procedentes de almazara, que la norma define como “aguas del procesado de las olivas y alpechines”, para los cuales también establece las dosis máximas y otras especificaciones a cumplir para la aplicación agrícola. En dicha normativa se establece una dosis de aplicación máxima de 3 t/ha/año de alperujo.

En Andalucía existe el Decreto 4/2011, de 11 enero, que regula exclusivamente “las aguas de aceitunas, las aguas de lavado de aceites y las aguas de las tolvas” como efluentes de almazara, quedando excluido el empleo de alperujo para tal fin. En la misma línea ha regulado, la Comunidad Valenciana posibilitando incorporar a los suelos los efluentes que coinciden con la norma andaluza, que no incluyen al orujo graso húmedo (alperujo). En la Tabla 1.14 se resume la normativa vigente y aplicable a nivel autonómico.

Tabla 1.14. Normativa autonómica, aplicación orujo graso húmedo a suelos.

Fuente: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Nivel	Norma	Objeto
Autonómico	<p>ANDALUCÍA Decreto 4/2011, de 11 de enero, por el que se regula el régimen del uso de efluentes de extracción de almazara como fertilizante agrícola.</p> <p>Orden de 18 de febrero de 2011, por la que se regula el régimen de autorización para la utilización de los efluentes líquidos resultantes de la extracción de aceite de oliva en las almazaras, como fertilizante en suelos agrícolas en la Comunidad Autónoma de Andalucía.</p>	<p>Esta norma no regula el orujo graso húmedo.</p> <p>Como efluente el decreto define las aguas de lavado de aceitunas, las aguas de lavado de aceites y las aguas de goteo de tolvas, así queda reflejado en su artículo 2.</p> <p>Establece que el volumen de esos efluentes a aplicar en el suelo agrícola en ningún caso superará la cantidad de 50 m³/ha/año.</p> <p>Establece también otras especificaciones como áreas de exclusión para la aplicación agrícola, entre otras.</p>
	<p>CATALUÑA Decreto 198/2015, de 8 de septiembre, de gestión agrícola de los efluentes producidos en bodegas y almazaras.</p>	<p>Define el procedimiento de gestión mediante aplicación agrícola tanto de las aguas de procesado de la aceituna como del alperujo, definidos como “<i>efluentes</i>” de las almazaras en su artículo 2.</p> <p>En el artículo 9 se establecen las dosis máximas por año: <i>“- Para el caso de las aguas del procesado de las olivas, la dosis máxima permitida durante la aplicación agrícola es de 60 m³/ha/año. - La dosis de aplicación agrícola permitida para el alpechín se limita a 30 m³/ha/año. - La aplicación de alperujo no puede superar la dosis de 3 t/ha/año.”</i></p> <p>También especifica otro tipo de condiciones como distancias a respetar y características de los terrenos donde se vaya a aplicar.</p>
	<p>COMUNIDAD VALENCIANA Orden 10/2018, de 27 de febrero, de la Conselleria de Agricultura, Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Rural, sobre la utilización de materias fertilizantes nitrogenadas en las explotaciones agrarias de la Comunidad Valenciana.</p>	<p>Esta norma no regula el orujo graso húmedo.</p> <p>A los efluentes de almazara, que su artículo 2 define como “<i>producto líquido constituido por las aguas de lavado de las aceitunas, las aguas de lavado del aceite y las aguas de goteo de las tolvas</i>” los considera como “<i>materia fertilizante nitrogenada</i>”.</p> <p>Establece que esos efluentes de almazara pueden usarse en los suelos agrarios, como aporte de nitrógeno y otros nutrientes, y de materia orgánica, en explotaciones agrarias situadas en esa comunidad autónoma.</p>

La aplicación agrícola de residuos o subproductos orgánicos presenta una importante forma de recuperación de los suelos, además de ser una fuente de nutrientes para las plantas.

La aplicación directa de alperujos al suelo es una opción en algunos países productores como Italia bajo condiciones específicas. Este tipo de aplicación tiene interés por su bajo costo y también por el potencial de mejora para las propiedades del suelo (Regni et al., 2017).

Las principales consecuencias del empleo del alperujo como enmienda orgánica, van ligadas a la mejora de la fertilidad física, química y biológicas ya que provocan el mantenimiento o aumento de sustancias húmicas. Puede ser de gran interés utilizar el alperujo como enmienda orgánica para los suelos que se encuentran en la mayoría de las regiones mediterráneas, ya que suelen ser pobres en materia orgánica y nutrientes (Toscano y Montemurro 2012). Por lo tanto, el uso de dichos desechos orgánicos puede jugar un papel fundamental en las prácticas agrícolas modernas y sostenibles.

La agricultura intensiva ha potenciado los fenómenos degradativos como la erosión y la pérdida de fertilidad de los suelos (Toscano y Montemurro 2012). Así el alto contenido en materia orgánica de los alperujos puede contribuir a la mitigación de estos fenómenos adversos (Renig, et al., 2017). La materia orgánica es capaz de mejorar los agregados del suelo y por tanto su porosidad y capacidad de retención de agua, aunque una aplicación incorrecta puede provocar una inmovilización temporal de nitrógeno, con la consecuente reducción del rendimiento en los cultivos (Toscano y Montemurro 2012).

Además de los efectos agronómicos mencionados, también puede incorporar como ya se ha mencionado anteriormente importantes beneficios ambientales. Más específicamente considerando su alto contenido orgánico, su aplicación en el suelo podría secuestrar ciertas cantidades de carbono (C), mitigando de alguna manera la concentración atmosférica de dióxido de carbono (CO₂), (Lozano-García et al., 2011; Sánchez-Monedero et al., 2008) y contribuyendo a la restitución, mejora y mantenimiento de niveles crecientes del carbono orgánico del suelo (COS). También favorece en la disminución del uso de fertilizantes inorgánicos, que, aunque no puede sustituir de manera completa los fertilizantes minerales, si los puede reemplazar de manera parcial.

En la actualidad, las técnicas de manejo de tierras que maximice el secuestro de C en el suelo están suscitando mucho interés, como lo que establece el artículo 3.4 del Protocolo de Kioto (los países se han comprometido a reducir los niveles de emisiones de CO₂), (Proietti et al., 2014, 2016). Las prácticas encaminadas a aumentar el contenido de materia orgánica en el suelo están asociadas a prácticas con el máximo potencial de mitigación según el Special Report de IPCC (2019) junto al manejo de residuos (Vico, 2018).

Para la aplicación de compost de alperujo como enmienda orgánica, es de sumo interés tener en cuenta diversos factores, tales como la dosis de aplicación, el nivel de elementos o sustancias potencialmente contaminantes, el grado de higienización, madurez y estabilidad, la época de incorporación al suelo, las características edáficas y climáticas (Danés y Boixadera, 2011). Además de cumplir con los requisitos necesarios

establecidos en el Real Decreto 506/2013, de 28 de junio sobre productos fertilizantes, modificado por el Real Decreto 999/2017 de 24 de noviembre.

Numerosas publicaciones afirman que los orujos grasos húmedos (alperujos) pueden aplicarse de manera directa al suelo como enmienda orgánica, pero si bien es cierto, resulta preferible que se haga tras haber sido compostado, como coinciden muchos autores (Amirante, 2003; Proietti et al., 2015).

Madejón et al., (2020) comprobaron que la aplicación de las enmiendas de compost de alperujo provocó un aumento de contenido de C orgánico total del suelo junto con un incremento de las actividades enzimáticas deshidrogenasa y β -glucosidasa con respecto al control, siendo este efecto fue más positivo en las dosis más bajas del compost quizá por el menor aporte de sales o simplemente por un problema de variabilidad espacial. Aunque se observan ligeros descensos en la producción de aceitunas obtenidas con los tratamientos con compost de alperujo éstos se ven compensados por un aumento en la calidad atendiendo a su tamaño.

La aplicación de alperujos directa al suelo debe realizarse de manera racional, teniendo en cuenta las normativas específicas. La dosificación utilizada, los métodos de esparcimiento, tipo de cultivo, tipo de suelo, profundidad etapa del cultivo, condiciones climáticas, manejo del suelo, etc., pueden influir que los efectos sean positivos o se genere algún problema respecto al desarrollo de los cultivos, como la presencia de polifenoles con efecto antimicrobiano sobre microorganismos y fitotóxico en cultivos. Los compuestos fenólicos pueden combinarse con otros compuestos orgánicos (proteínas) alterando la permeabilidad de la membrana celular. La alta relación C/N puede conducir a una competencia del nitrógeno entre los microorganismos del suelo y las raíces (Barbera et al., 2013; Renig, et al., 2017).

Nasini et al. (2013) observaron un aumento en el crecimiento de los brotes, el volumen de la copa y el peso de la poda en olivos con aplicaciones de 50 t / ha, después de 4 años de aplicación. Albuquerque et al. (2007) observaron un aumento similar en el crecimiento de las plantas debido a los efectos fertilizantes de un compost elaborado con alperujo y desechos de desmotadora de algodón. Nasini y col. (2013) también encontraron un aumento en el crecimiento de frutos y rendimiento de frutos por árbol, sin efectos negativos sobre el contenido de aceite. López-Piñeiro et al. (2008) observaron un efecto positivo en el rendimiento de la aceituna como consecuencia del aumento en el contenido de materia orgánica, N total y P y K disponibles al aplicar como enmienda al suelo alperujo fresco. Proietti et al. (2015) trataron durante 3 años consecutivos un olivar con alperujo (compostado o no) y observaron un aumento en la actividad vegetativa y productividad de los olivos. La ausencia generalizada de efectos sobre las características químicas del aceite observada en este caso indicó que la aplicación de alperujo de aceituna húmedo (compostado o no) al suelo no tuvo un impacto negativo en la calidad del aceite.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal de este proyecto es *“estudiar la viabilidad del uso directo de alperujos en agricultura, dentro de un entorno específico de actuación, como es el área agrícola del Bajo Maestrat de Castellón, teniendo en cuenta aspectos agronómicos y especialmente medioambientales, incorporando condiciones específicas a nivel de cultivos, entornos agronómicos de aplicación, dosificación puntual, así como procedimientos claros y concretos de seguimiento, con la finalidad de dar una respuesta a las cooperativas oleícolas de la zona, que llevan demandando desde hace mucho tiempo una legislación clara que les permita utilizar los alperujos de manera segura y eficiente, en los suelos de la zona”*. Para ello, se han planteado los siguientes objetivos específicos:

- Investigar y evaluar los efectos agronómicos y medioambientales de la aplicación directa de alperujos en parcelas agrícolas en producción.
- Seleccionar las parcelas para la aplicación del alperujo en función de criterios agronómicos y de las expectativas de mejora de su calidad.
- Analizar los alperujos de las almazaras asociadas a las fincas seleccionadas y evaluar sus características.
- Realizar un seguimiento de los parámetros claves a nivel edáfico como la conductividad eléctrica (CE), pH, materia orgánica (MO), nitratos, nitrógeno total kjeldahl (NTK) y polifenoles.
- Evaluar las pautas de manejo y dosificación realizadas.

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1 Diseño Experimental

Para alcanzar los objetivos planteados, se desarrollaron una serie de ensayos en el que se evaluó la aplicación del alperujo fresco como enmendante de suelos de cultivo principalmente del olivo en la zona del Maestrat de Castellón. Se seleccionaron 5 parcelas pertenecientes a los municipios de Xert, Traiguera, Sant Jordi, Vinaròs y La Jana. Como requisito las parcelas debían de encontrarse en plena producción y tendrían una superficie mínima de una hectárea, también se buscó variabilidad en cuanto a la accesibilidad, endiente, tipo de suelo, cultivo, variedad y marco de plantación.

En cada parcela se delimitó una zona para la aplicación del alperujo y otra zona control sin aplicación del alperujo, atendiendo a la irregularidad y accesibilidad de las parcelas, que servirá de referencia respecto a producción, estado vegetativo y efectos potencialmente asociados al uso de alperujo. La dosis de aplicación de alperujo fue de 10 t/ha en todas las parcelas. Además, se muestrearon los suelos a tiempo cero, a los 6 meses y a los 10 meses. La aplicación de la enmienda fue única al inicio del experimento, y se realizó en surco que posteriormente se cubre, mediante remolque y posterior pase de cultivador. En la figura 3.1 se presenta el diseño experimental.

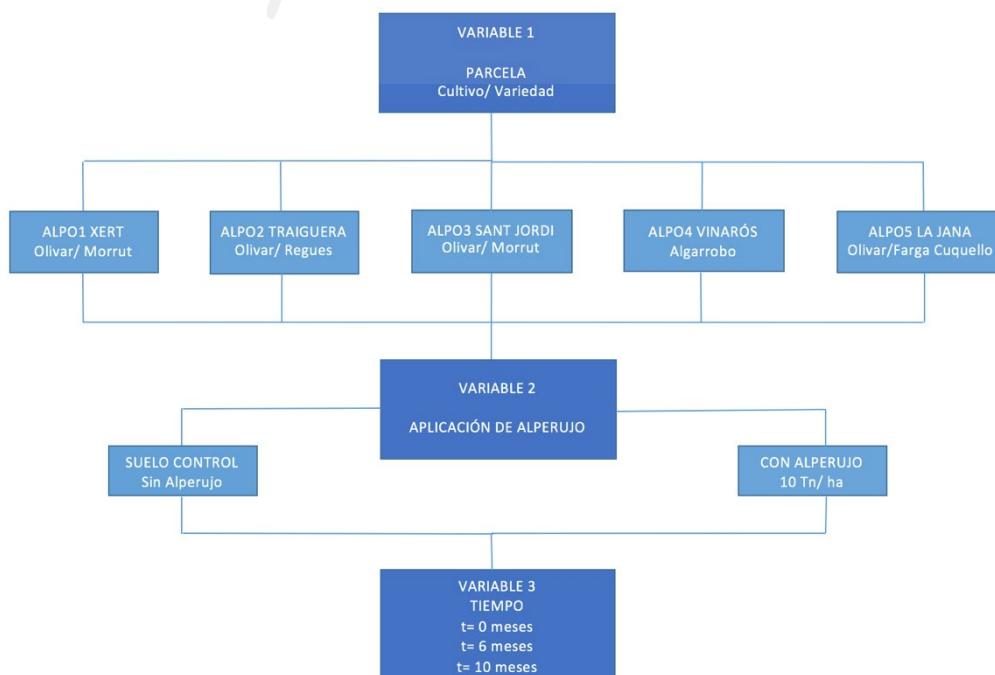


Figura 3.1. Esquema del diseño experimental.

3.2 Dispositivo Experimental

El dispositivo experimental utilizado pretende verificar los objetivos y las variables planteadas en el diseño experimental, con el fin de obtener unos resultados extrapolables y reproducibles en condiciones similares.



Figura 3.2. Parcela APL01 Xert.



Figura 3.3. Parcela APL02 Traiguera.

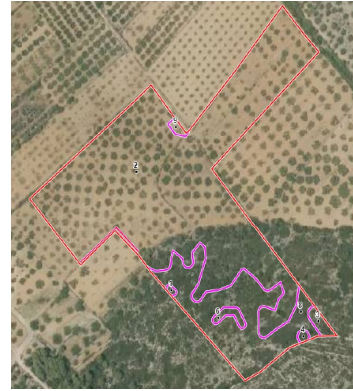


Figura 3.4. Parcela APL03 Sant Jordi.

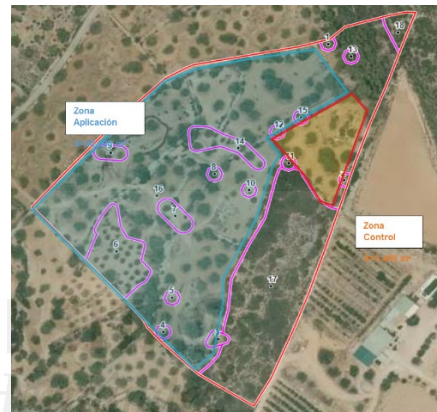


Figura 3.5. Parcela APL04 Vinaròs.



Figura 3.6. Parcela APL05 La Jana.

3.2.1 Descripción de las parcelas utilizadas en el estudio

Para la selección de las parcelas utilizadas en el estudio se realizó un estudio previo de gabinete sobre el listado de posibles que proporcionó la Federación Valenciana de Cooperativas en base a los requisitos demandados como que:

- ✓ Pertenezcan a términos municipales ubicados en la comarca del Bajo Maestrat
- ✓ Las parcelas se encontrarán en plena producción y tuvieran una superficie mínima de una hectárea.
- ✓ La selección de parcelas tuviera diversidad en cuanto a diferente accesibilidad, pendiente, tipo de suelo, cultivo, variedad y marco de plantación.

El estudio previo de gabinete se realizó usando la aplicación móvil Soil Quality Mobile App (SQAPP) que permitió analizar las potenciales amenazas y riesgos para poder justificar la elección de las 5 parcelas para el estudio.

Una de las características comunes de las parcelas seleccionadas fue la poca cantidad de materia orgánica, así como de fósforo y de nitrógeno en una profundidad de 0-30 cm de suelo, y la posibilidad de la erosión debido a circunstancias eólicas e hídricas. Es decir, todas las parcelas tenían un potencial de mejora de las propiedades de suelo entre un 39-56%. Por lo tanto, en dicha selección de parcelas está más que justificado la aplicación de alperujo fresco, para mejorar las condiciones de dichos suelos de la comarca.

A modo de ejemplo se muestran imágenes del estudio preliminar con dicha aplicación Figura 3.2.

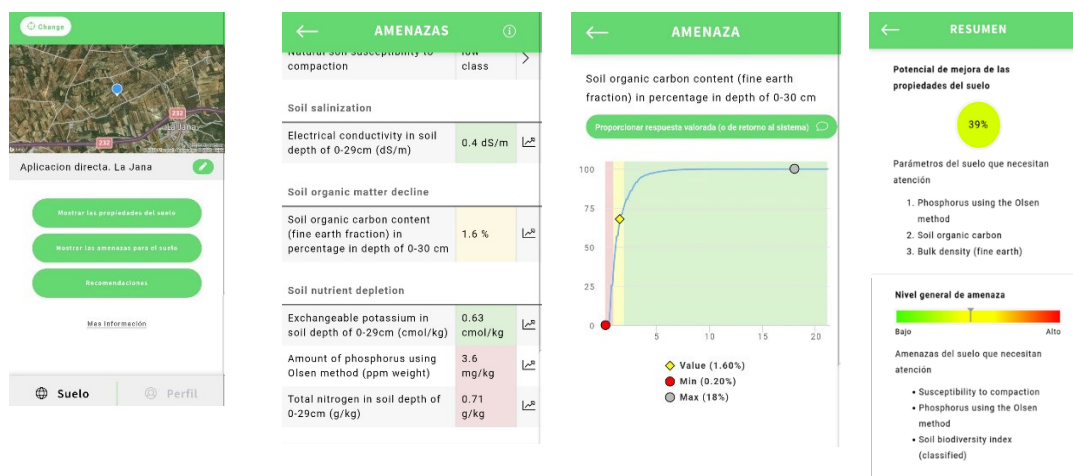


Figura 3.2. Imágenes del estudio preliminar en la aplicación móvil Soil Quality Mobile App.

En la tabla 3.1 se muestra la información de las parcelas utilizadas respecto a localización, superficie, cultivo, marco de plantación, sistema de riego, dosificación del alperujo forma y fecha de aplicación.

Tabla 3.1. Registro parcelas experimentales ensayo piloto de aplicación directa de alperujos en agricultura.

Fuente: Grupo de investigación aplicada en agroquímica y Medio Ambiente. Universidad Miguel Hernández.

Registro de parcela experimental:	ALP01 Xert	ALP02 Traiguera	ALP03 Sant Jordi	ALP04 Vinaròs	ALP05 La Jana
Polígono y parcela:	Pol.10 Parcela 364	Pol. 38 Parcela 130	Pol. 10 Parcela 58	Pol. 4 Parcela 3	Pol. 2 Parcela 83
Localización (coordenadas):	X:259131.95 Y:4488491.27	X: 271132.21 Y: 4491482.31	X: 274250.98 Y: 4487219.97	X: 277213.71 Y: 4489132.29	X:266109.67 Y: 4488828.18
Superficie total:	1,38 ha	2 ha	3,7 ha	4,8 ha	2 ha
Superficie de aplicación:	10000 m ²	1500 m ²	20000 m ²	30000 m ²	17000 m ²
Superficie control:	2000 m ²	5000 m ²	3000 m ²	3400 m ²	3000 m ²
Municipio:	Xert	Traiguera	Sant Jordi	Vinaròs	La Jana
Provincia:	Castellón	Castellón	Castellón	Castellón	Castellón
Cooperativa:	Coop. Ag. San Marcos de Xert	Cèrvol de Traiguera	Coop. Ag. San Isidro de San Jorge	Coop. Ag. San Isidro de San Jorge	Les Alboredes de La Jana
Cultivo/variedad:	Olivar/Morrut	Olivar/Regues	Olivar/Morrut	Algarrobo	Olivo/Farga y Cuquello
Marco de plantación:	7x6	10x12	15 x 15	Sin marco	10x10
Sistema de riego:	Secano	Secano	Secano	Secano	Secano
Dosificación Alperujo fresco:	10 t/ha	10 t/ha	10 t/ha	10 t/ha	10 t/ha
Forma de aplicación:	Remolque + cultivador	Remolque + cultivador	Remolque + cultivador	Remolque + cultivador	Remolque + cultivador
Fecha de aplicación del alperujo:	27 de mayo de 2020	27 de mayo de 2020	27 de mayo de 2020	27 de mayo de 2020	27 de mayo de 2020

3.2.2 Enmiendas utilizadas

La enmienda utilizada fue alperujo fresco procedente de diferentes cooperativas cercanas a las parcelas donde se realizaron las aplicaciones. En la tabla 3.2 se muestran las características de los alperujos utilizados y la empresa que los suministró.

Los alperujos aplicados presentan una humedad entre el 65-71% y su densidad es elevada entre 1,0-1,1 kg/l. El pH de los alperujos es ácido entre 5,5-5,8, lo cual es bastante interesante desde el punto de vista agronómico. La acidez asociada a grupos alcohol (-OH) y carboxilo (-COOH) de la materia orgánica contribuye a mejorar la solubilidad y la biodisponibilidad de elementos esenciales de la nutrición vegetal (microelementos usualmente deficitarios como Fe y Mn), facilita la formación de complejos arcillo-húmicos responsables de la agregación del suelo y por tanto de la resistencia a la erosión, permiten la fijación reversible de nutrientes y fertilizantes en las superficies activas del suelo evitando su lixiviación. Además, su carácter iónico (cargado) permite retener mayor contenido de agua útil en el suelo durante más tiempo. La aplicación del alperujo puede suponer una variación leve del pH, en el entorno de aplicación, en los suelos mediterráneos mayormente alcalinos (pH>8) por elevado contenido en calizas y sulfatos y, bases de cambio (Ca, Mg, Na y K).

Tabla 3.2. Características de los alperujos aplicados.

Fuente: Grupo de investigación aplicada en agroquímica y Medio Ambiente. Universidad Miguel Hernández.

Código:	MP 423	MP 424	MP 425	MP 426
Tipo Producto:	Alperujo	Alperujo	Alperujo	Alperujo
Origen:	Agroindustrial	Agroindustrial	Agroindustrial	Agroindustrial
Fecha muestreo:	27/05/2020	04/06/2020	15/06/2020	23/06/2020
Empresa:	Cooperativa Sant Marc	Cooperativa Cervol	Cooperativa Sant Isidre	Cooperativa Les Alboredes
Municipio:	Xert	Traiguera	Sant Jordi	La Jana
Uso: aplicación directa	Parcela ALP01 Xert	Parcela ALP02 Traiguera	Parcela ALP03 Sant Jordi y ALP04 Vinaròs	Parcela ALP05 La Jana
Características:				
Humedad (%)	67,1	71,2	64,5	71,4
Densidad (kg/l)	1,050	1,151	1,087	1,120
pH (1:10)	5,7	5,6	5,8	5,5
CE (dS/m) (1:10)	4,7	3,1	3,7	4,1
% MO	91,9	93,3	94,5	91,1
% N	1,5	1,4	0,8	2,0
% COT	55,4	56,6	53,6	55,2
COT/NT	37,2	40,4	70,1	27,3
Polifenoles (mg/kg)	5395	3296	4462	5514
Na (g/kg)	0,02	0,10	0,02	0,02

K (g/kg)	18,00	9,90	14,10	10,15
P (g/kg)	1,6	0,9	0,9	1,1
Ca (g/100g)	0,69	0,74	0,26	0,85
Mg (g/100g)	0,07	0,06	0,04	0,06
Fe (mg/Kg)	497	577	278	629
Cd (mg/Kg)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Ni (mg/Kg)	3,035	1,78	0,185	2,145
Zn (mg/Kg)	15,5	11,55	6,59	16,28
Cr (mg/Kg)	8,9	8,1	2,9	7,9
Cu (mg/Kg)	11,1	13,4	8,5	22,8
Pb (mg/Kg)	0,49	2,63	0,06	2,45
Co (mg/Kg)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

La salinidad de los alperujos entre 3,1-4,7 dS/m es media, respecto a otros residuos como lodos de depuradora o purines. Debido a su origen vegetal su contenido orgánico es muy elevado, contenido en materia orgánica alto superior 90% y de carbono orgánico total superior al 50%, siendo la eficiencia de entrada de carbono en el suelo mayor que para otros materiales residuales como lodos o purines. El contenido de nitrógeno en estos subproductos es medio-bajo entre 0,8-2,0%, lo que determina una relación COT/NT alta, indicativo de su carácter poco mineralizable, en comparación con lodos y purines. Su contenido en fósforo es bajo (0,08-0,16%) y en potasio es medio (1,0-1,8%). El contenido de polifenoles, entre 3296 y 5514 mg/l, es alto en este residuo, como era de esperar, respecto al que puedan presentar otros residuos como lodos o estiércoles, aunque no supera el límite establecido para el uso de compost de alperujo en el Real Decreto 506/2013 de fertilizantes, modificado por orden AAA/2564/2015 y por RD 535/2017. Los polifenoles pueden inhibir la actividad biótica del suelo (Alburquerque et al., 2006) por ello es clave la dosificación y el manejo agronómico en el entorno edafoclimático que se actúe, que determinará su biodegradación/mineralización.

Por sus propiedades reológicas el alperujo es bombeable y su aplicación directa es perfectamente ejecutable con los sistemas de enmendado orgánico tradicionales similares a los del estiércol.

3.3 Desarrollo del Experimento

3.3.1 Seguimiento del cultivo

Para evaluar los efectos agronómicos y medioambientales de la aplicación directa de alperujos frescos se realizaron observaciones in situ, buscando diferencias entre las parcelas control y las parcelas tratadas respecto al estado vegetativo del cultivo, efectos en la floración, necrosis apical en hojas, efectos en la verdosidad o efectos en la producción. Además, también se prestó atención a la posible formación de costra superficial, formación de raigueros, presencia de vegetación arvense en zonas de aplicación.

3.3.2 Muestreos realizados

En cada una de las parcelas se realizaron muestreos de la zona de aplicación y de la zona control en el momento de la aplicación ($t=0$), a los seis meses desde la aplicación ($t=6$ meses), a los 10 meses desde la aplicación ($t=10$ meses). Los parámetros analizados en las muestras de suelo fueron los siguientes: conductividad eléctrica (CE) y pH, según M.A.P.A., 1994, carbono orgánico según Yeomans y Bremner, 1989, nitrógeno total Kjeldahl (NTK) según Bremner y Britenbeck, 1983, nitratos según el método de Sempere y col. (1993) y polifenoles solubles en agua se determinaron mediante el método modificado Folin-Ciocalteu en un extracto de agua 1:10 (p/v).

También se muestrearon los alperujos en el momento de la aplicación. Los parámetros analizados fueron: densidad aparente, humedad de acuerdo con el método estándar CEN13039 (Comité Europeo de Estandarización, 1999), pH y conductividad eléctrica (CE) en un extracto acuoso 1:10 (p/v), la materia orgánica (MOT) mediante la pérdida de peso a 550°C durante 24 h, de acuerdo con el método estándar CEN13039. El nitrógeno total (TN) y el carbono orgánico total (TOC) se determinaron por combustión seca a 950 °C usando un analizador elemental (Truspec CN, Leco, St. Joseph, Mich., EE. UU.). El fósforo, sodio, potasio y los metales se determinaron mediante ICP masas. Los polifenoles solubles en agua se determinaron mediante el método modificado Folin-Ciocalteu en un extracto de agua 1:20 (p / v), según Bustamante y col., 2008.

3.4 Métodos analíticos empleados

3.4.1 Suelos

Toma y preparación de la muestra

Las muestras de suelo fueron tomadas entre los primeros 20 cm de profundidad, con azada y pala. Por parcela y tratamiento se obtuvo una muestra integrada por varias

submuestras que fueron recogidas al recorrer la parcela en zig-zag. Cada submuestra estaba integrada por 3 paladas de forma perpendicular a la banda de aplicación. Se aplicó el sistema del cuarteo para la homogeneización y selección de la muestra final, que se envió al laboratorio para su análisis en bolsas de plástico debidamente etiquetadas.

Una vez en el laboratorio las muestras de suelo, se procedió a desmenuzar los agregados más grandes y se dispusieron en bandejas para su secado al aire. Una vez secas, se tamizaron por un tamiz de 2mm de luz y se envasaron en bolsas herméticas debidamente etiquetadas para su manejo y posterior análisis.

pH

La determinación del pH de un suelo se basa en la medida de la diferencia de potencial existente entre un electrodo de vidrio y el electrodo de referencia calomelanos (Hg_2Cl_2 (sat), $\text{KCl}(\times\text{F})/\text{Hg}$) sumergidos en una misma disolución. Esta diferencia de potencial es función lineal de la actividad de los iones hidrógeno presentes en la muestra problema a una temperatura dada.

En un suelo tamizado a 2 mm, la medida del pH actual se realiza en la suspensión suelo-agua desionizada con una relación de 1:2,5 (p/v) (M.A.P.A., 1994).

Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica de un extracto acuoso es la aptitud que presenta éste para transmitir la corriente eléctrica. La conductividad depende de la actividad e iones disueltos y de la temperatura a la que se realiza la medida. Para medir la conductividad se hace uso de un puente de Wheatstone y una célula de conductividad apropiada, comparando a la misma temperatura, la resistencia eléctrica de la muestra y la de una disolución estándar de cloruro potásico.

En un suelo tamizado a 2 mm, la medida de la C.E. se realiza en el extracto acuoso, obtenido por filtración de la suspensión suelo-agua desionizada con una relación 1:5 (p/v), previa agitación de la muestra durante 30 minutos (M.A.P.A., 1994).

Carbono oxidable

La determinación de la materia orgánica fácilmente oxidable se basa en la utilización de dicromato potásico en medio sulfúrico como oxidante valorando el exceso de éste con sulfato ferroso amónico (sal de Mohr), utilizando ferroína como indicador (Yeomans y Bremner, 1989). El carbono orgánico oxidable se determina por diferencia entre el dicromato total y el exceso valorado con la sal de Mohr.

Nitrógeno total Kjeldahl

Se utiliza el método Kjeldahl para la determinar el nitrógeno orgánico y el que se presenta en forma mineral como amonio conjuntamente. Este método se basa en una digestión, por vía húmeda en medio sulfúrico de la muestra, para mineralizar el nitrógeno orgánico a forma amónica. Posteriormente se realiza la destilación del amoniaco en medio alcalino, recogándose el destilado en una mezcla de ácido bórico indicador, valorándose a continuación con ácido clorhídrico de normalidad conocida (Bremner y Britenbeck, 1983).

Nitratos

Para la determinación de nitratos en el suelo se utilizó el método propuesto por Sempere y col. (1993). Este método utiliza la segunda derivada del espectro ultravioleta, donde a través de un barrido desde 190 a 280 nm de una disolución procedente de la extracción del suelo con una disolución saturada de sulfato de calcio, se puede analizar los contenidos de nitratos por comparación con una recta de calibrado adecuada. Este tipo de análisis permite eliminar la interferencia debida a la presencia de materia orgánica en el extracto del suelo (Simal et al. 1985). Los resultados obtenidos son comparables con otros métodos usuales de determinación de nitratos como HPLC y columna reductora de Cd.

Polifenoles

Los polifenoles hidrosolubles presentes en las muestras de suelo se determinaron mediante una modificación del método Folin (Beltrán y col., 1999). Al extracto acuoso de la muestra de suelo se le adiciona el reactivo de Folin-Ciocalteu para la determinación de fenoles y, tras 1 hora de reposo, se determina la absorbancia en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 725 nm, obteniéndose la concentración de polifenoles respecto a una recta patrón adecuada.

3.4.2 Alperujos

Los alperujos se muestrearon en el momento de la aplicación, directamente del remolque mientras se producía el esparcido del enmendante. Según tamaño de la parcela y cantidad aplicada se hicieron varias tomas secuenciales en el espacio-tiempo para conseguir una muestra representativa del material aplicado.

Las muestras finales se envasaron al laboratorio para su análisis en bolsas de plástico debidamente etiquetadas. Una vez en el laboratorio las muestras de suelo, se procedió a determinar la humedad y densidad y posteriormente se secaron a 60°C y se molieron hasta un tamaño inferior a 0,5 mm para su posterior análisis.

Preparación de la muestra

Recogidas las muestras del campo se llevan al laboratorio y se someten a secado en una estufa en de aire forzado a 60 °C. Una vez seca la muestra se procede al molido del material y se vuelve a secar a 105 °C, posteriormente se homogeneiza la muestra en un tamiz de 0.5mm de luz.

Humedad original

Para la determinación de la humedad se utilizó el método gravimétrico. La humedad la determinamos por diferencia de peso entre la materia humedad y la seca una vez secado el material a 105°C quedándonos un porcentaje de humedad.

$$\text{Humedad}(\%) = \frac{p_1 - p_2}{p_1 - p_3} * 100$$

P1= peso de la cápsula + peso de la muestra seca al aire

P2=peso de la cápsula + peso de la muestra se a 105°C

P3=peso de la cápsula.

Pérdida de peso por calcinación

Se determina según el método de (Navarro y col,1993), se toma como cenizas el residuo fijo obtenido de la calcinación de la muestra a 430°C.

Pérdida de materia orgánica

Las pérdidas de materia orgánica (MO), se determina según el método Navarro y col. (1993). La pérdida de peso se expresa respecto de la muestra seca.

$$\% \text{ Cenizas} = 100 - \% \text{ MOT}$$

El contenido de materia orgánica total de una muestra se determina mediante la expresión:

$$\% \text{ MOT} = \frac{p_s - p_c}{p} \times 100$$

P_s = peso seco, en gramos, del crisol + el filtro con muestra.

P_c = peso calcinado, en gramos, del crisol con la muestra

P = peso en gramos de la muestra seca.

Medida del pH

El pH se mide sobre la suspensión acuosa obtenida por agitación mecánica durante 2 horas de la proporción 1:10, sólido/líquido. La medida se realiza con un pH-metro por duplicado.

Conductividad eléctrica

Se determina sobre la suspensión acuosa anterior, previamente centrifugada y filtrada, con un conductímetro y también se realiza sobre las dos submuestras para evitar posibles errores.

Carbono orgánico total y nitrógeno total

Se realiza quemando la muestra a 1020°C en un analizador elemental (Navarro y col., 1991).

Determinación de macronutrientes, micronutrientes y metales pesados

Los elementos totales en el alperujo se determinaron mediante espectroscopía óptica de emisión por plasma de radiofrecuencia acoplado inductivamente (ICP) tras la digestión ácida de la muestra.

Digestión ácida de la muestra: de 0,05-0,20 g de la muestra sólida se digieren en microondas con 4 ml de ácido nítrico concentrado y 1 ml de agua oxigenada al 33%. Se enrasa el líquido de digestión a 25mL con agua ultrapura. Junto a las muestras se realiza un blanco con agua ultrapura y una muestra de control.

Medida en ICP: en primer lugar, se realiza la calibración del equipo con patrones multielementales y posteriormente se miden las muestras. Las muestras se nebulizan y el aerosol formado se transporta hasta la antorcha de plasma en donde tiene lugar la excitación electrónica. Un plasma de radiofrecuencia acoplado inductivamente (ICP) genera los correspondientes espectros de líneas de emisión atómicas. Los haces de luz son dispersados por un espectrómetro de red de difracción y los detectores se encargan de medir las intensidades de las líneas. Las señales originadas en los detectores se procesan y controlan mediante un sistema informático. El modelo de ICP utilizado es el ICP THERMO iCAP 6500 DOU/7000 DUO.

3.5 Métodos estadísticos

El análisis estadístico estuvo basado en un análisis de la varianza MLG-Univariante, que permitiera evaluar el efecto de las variables consideradas: ubicación, tiempo transcurrido desde la aplicación y aplicación de la enmienda de alperujo. Cuando la F-ANOVA mostró significación, se realizó el contraste post-hoc Tukey-b. Previamente al ANOVA, se evaluaron la normalidad y homogeneidad de las varianzas utilizando los tests de Shapiro-Wilk y Levene. Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el programa informático SPSS 22.0.



4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se expone la evaluación realizada in situ de los efectos de la aplicación del alperujo en el sistema suelo-planta, así como la discusión sobre la influencia de las variables experimentales ubicación, tiempo desde la aplicación de la enmienda y aplicación de la enmienda o no, en cada uno de los parámetros analizados, tanto a nivel global, como a nivel de parcela. La aplicación de la enmienda alperujo en la dosis de 10 t/ha se realizó en 5 parcelas de la comarca del Bajo Maestrat y se realizaron controles en el suelo a los tiempos 0, 6 y 10 meses desde la aplicación.

4.1 Observaciones in situ de los efectos de la aplicación del alperujo en el sistema suelo-planta

En la **Tabla 4.1**, se presenta a modo de resumen los resultados de las observaciones in situ de los efectos de la aplicación del alperujo en el sistema suelo-planta, durante el periodo de estudio. En cuanto al cultivo se han buscado diferencia entre las parcelas control y enmendadas observables visualmente respecto al estado vegetativo, floración, posibles apariciones de necrosis en hojas, verdosidad y producción y, respecto al suelo se ha evaluado la formación de costras superficiales, de raigueros y la presencia o no de vegetación arvense.

Tabla 4.1. Observaciones in situ de los efectos de la aplicación del alperujo en el sistema suelo-planta.

Observaciones	ALP01 Xert	AIP02 Traiguera	AIP03 Sant Jordi	AIP04 Vinaròs	AIP05 La Jana
En el cultivo:					
Estado vegetativo	SFD	SFD	SFD	SFD	SFD
Efecto en la floración	SFD	SFD	SFD	SFD	SFD
Necrosis apical en hojas	SFD	SFD	SFD	SFD	SFD
Efecto sobre verdosidad	SFD	SFD	SFD	SFD	SFD
Producción	SFD	SFD	SFD	SFD	SFD
En el suelo:					
Formación de costra	SFD	SFD	SFD	SFD	SFD
Formación de regueros	SFD	SFD	SFD	SFD	SFD
Vegetación arvense en zona de aplicación	+	SFD	SFD	-	SFD

SFD: sin efecto diferencial; Efecto positivo/negativo: +/-

Se observaron efectos diferenciados, respecto al **mayor crecimiento de vegetación arvense**, tipo *diplotaxis erucoides*, en zonas de aplicación y acumulación de alperujo, en

las parcelas de ALP02 de Traiguera y ALP03 de Xert, que podemos justificar por la presencia de mayor humedad y nutrientes.

4.2 Influencia de la aplicación de alperujo en el pH de los suelos

El valor del pH en un suelo es determinante, ya que influye en los procesos que en él tienen lugar, afectando en muchas ocasiones a la disponibilidad de los elementos necesarios para nutrición de las plantas, así como a los procesos de transformación de las especies nitrogenadas. La movilidad de los diferentes elementos que da lugar a la biodisponibilidad y la toxicidad depende del pH del suelo (Porta y col., 2014). También el pH del suelo contribuye en el desarrollo de los microorganismos, en la velocidad de los procesos de humificación y de mineralización y en la capacidad de intercambio catiónico (Andrades y Martínez, 2014).

En la Figura 4.1, se puede observar, que todas las variables estudiadas han tenido un efecto significativo sobre el pH de los suelos. Agrupando todos los datos de pH obtenido en el estudio por **ubicación** (parcela) el valor promedio de pH varió entre 7,9-8,5, situándose en el rango de pH básico (Figura 4.1.a), indicando abundancia de elementos alcalinos y alcalinotérreos, y baja disponibilidad de micronutrientes para la planta. Las parcelas ALP02, ALP03 y ALP05 de Traiguera, San Jordi y La Jana, respectivamente, no mostraron diferencias significativas respecto a los valores promedio de pH. En la Figura 4.1b se puede observar el efecto de la **aplicación de la enmienda** alperujo sobre los valores promedio de pH que disminuyeron en los suelos enmendados respecto a los controles sin enmendar. Respecto a la **variable tiempo** (Figura 4.1.c) se observa la evolución del pH promedio en las parcelas control y enmendadas. Inicialmente el valor de pH promedio disminuye con la incorporación de la enmienda en 1 unidad. A los 6 meses aumenta el pH promedio y no se observan diferencias significativas entre controles y tratamientos. A los 10 meses disminuye siendo ligeramente menor el valor promedio de pH en los suelos tratados respecto los suelos control.

A nivel de **parcela**, las **variables tiempo y aplicación del enmendante** alperujo han tenido un efecto significativo sobre los valores promedio del pH de los suelos (Tabla 4.2). En todas las parcelas, los valores promedio más bajos se dieron en el primer muestreo influenciado por la aplicación del enmendante orgánico de naturaleza ácida (5,5-5,8 unidades de pH), el mayor descenso respecto al control se dio en el caso de ALP01 Xert. Posteriormente, dichos valores promedio aumentaron siendo los más altos en el segundo muestreo a los 6 meses. La presencia de carbonato cálcico en los suelos de naturaleza caliza donde se realizaron las aplicaciones tamponó la reacción ácida de los grupos fenólicos y carboxílicos, que actúan como ácidos débiles, resultantes de la descomposición de la materia orgánica del alperujo (García-Ruiz et al., 2013).

Nasini et al. (2013) en un cultivo de olivar donde durante 4 años consecutivos se había aplicado 50 t/ha de alperujo fresco al suelo observaron una ligera disminución del pH.

García-Ortiz (2016), también observo disminuciones leves del pH tras la aplicación de alperujo fresco y compost de alperujo durante 5 años.

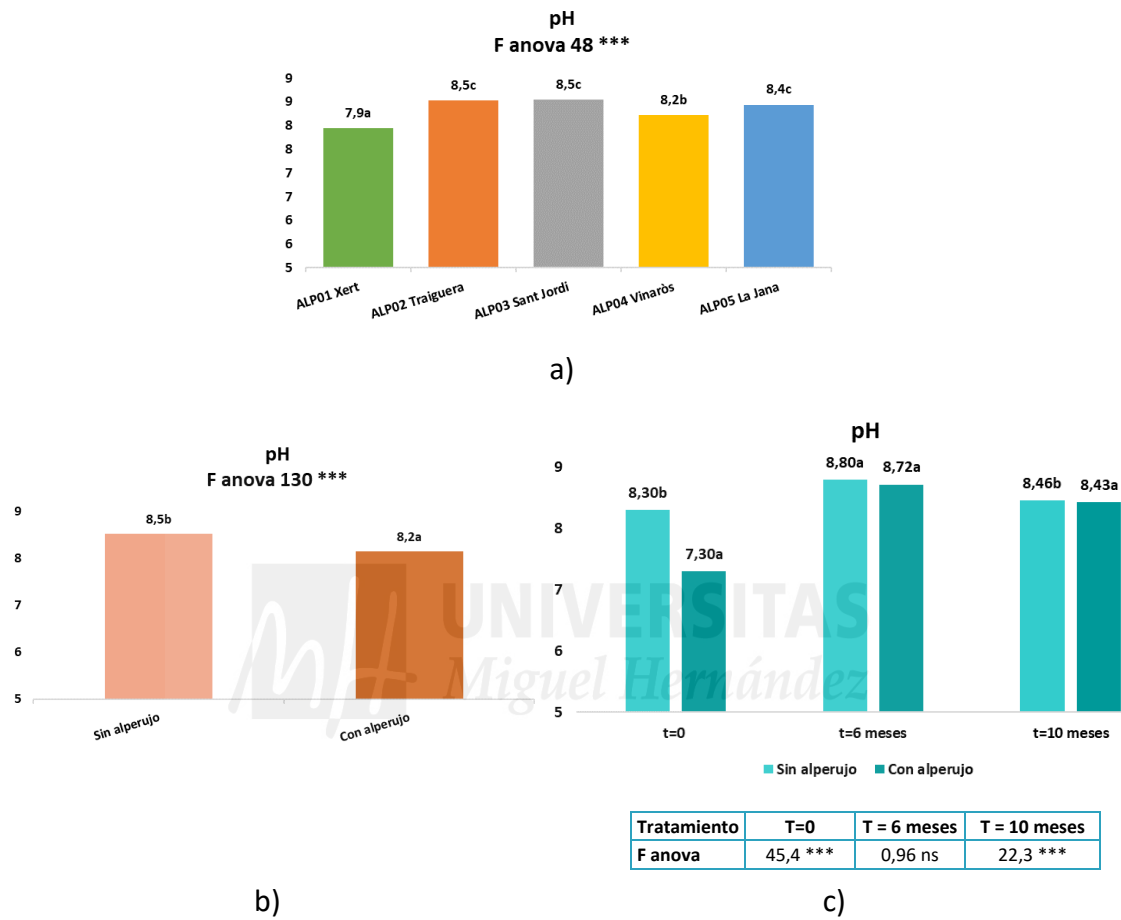


Figura 4.1. Influencia de las variables experimentales en el pH de los suelos: a) ubicación, b) aplicación de enmienda y c) tiempo.

Tabla 4.2. Influencia de las variables tiempo y aplicación del enmendante alperujo en el pH de los suelos en cada una de las parcelas.

<i>Variables</i>	<i>APL01</i> <i>Xert</i>	<i>APL02</i> <i>Traiguera</i>	<i>APL03</i> <i>Sant Jordi</i>	<i>APL04</i> <i>Vinaròz</i>	<i>APL05</i> <i>La Jana</i>
<i>Tiempo (meses)</i>					
0	7,2 a	8,2 a	8,1 a	7,6 a	7,8 a
6	8,5 c	8,9 c	8,9 c	8,6 c	8,8 b
10	8,1 b	8,5 b	8,6 b	8,3 b	8,7 b
F anova	122 ***	32 ***	37 ***	69 ***	77 ***
<i>Tratamiento</i>					
Sin alperujo	8,2 b	8,7 b	8,7 b	8,4 b	8,6 b
Con alperujo	7,7 a	8,4 a	8,4 a	8,0 a	8,3 a
F anova	51 ***	17 ***	20 ***	29 ***	19 ***

4.3 Influencia de la aplicación de alperujo en la conductividad eléctrica de los suelos

Los iones de la disolución del suelo pueden influir en sus propiedades físicas, en la acumulación de cationes dispersantes como el Na⁺ y en la dispersión de las arcillas, afectando a la permeabilidad del suelo, la retención de agua y la productividad de los cultivos (Keren, 2000). La salinidad eleva el potencial osmótico que las plantas deben superar para disponer de agua del suelo para realizar sus funciones y, además de afectar al crecimiento de algunas plantas agrícolas, puede ejercer procesos adversos sobre la biota y sobre los procesos biológicos esenciales que mantienen la calidad del suelo (Pankhurst et al., 2001).

Los valores promedios de la conductividad eléctrica (CE) de los suelos estudiados se sitúan en el rango de bajo a normal, por lo que no es de esperar problemas relacionados con la acumulación de sales solubles.

En la Figura 4.2, se puede observar, que todas las variables estudiadas han tenido un efecto significativo sobre la salinidad de los suelos. Atendiendo a la **variable ubicación** el valor promedio de la CE varió entre 172-329 µS/cm (Figura 4.2.a). Las parcelas APL02 y APL03 de Traiguera y de Sant Jordi, respectivamente, no mostraron diferencias significativas respecto a los valores promedio de CE. En la Figura 4.2b se puede observar el efecto de la **aplicación de la enmienda** sobre el aumento de los valores promedio de CE. Respecto a la **variable tiempo** (Figura 4.2.c), la CE aumenta mucho de forma puntual cuando se hace la aplicación de alperujo, pero tras 6 y 10 meses disminuye de forma

importante y aunque hay diferencias significativas con los controles, no genera problemas de salinización de suelos.

A nivel de parcela, las variables tiempo y aplicación del enmendante alperujo han tenido un efecto significativo sobre los valores promedio del CE de los suelos en todas las parcelas del estudio (Tabla 4.3). Los valores promedio más altos se obtuvieron en el primer muestreo influenciado por la aplicación del enmendante orgánico de salinidad media (3,1-4,7 dS/m), el mayor descenso respecto al control, al cabo de los 10 meses de estudio se dio en el caso de ALP05 La Jana. Posteriormente, dichos valores promedio disminuyeron no observándose diferencias significativas entre los valores promedio del segundo y tercer muestreo en el caso de las parcelas ALP02 Traiguera, APL03 Sant Jordi y APL05 La Jana.

En un estudio de campo realizado por López-Piñeiro et al., 2014 se observó también un aumento de la CE después de nueve años de aplicar alperujo a un suelo de ambiente semiárido.

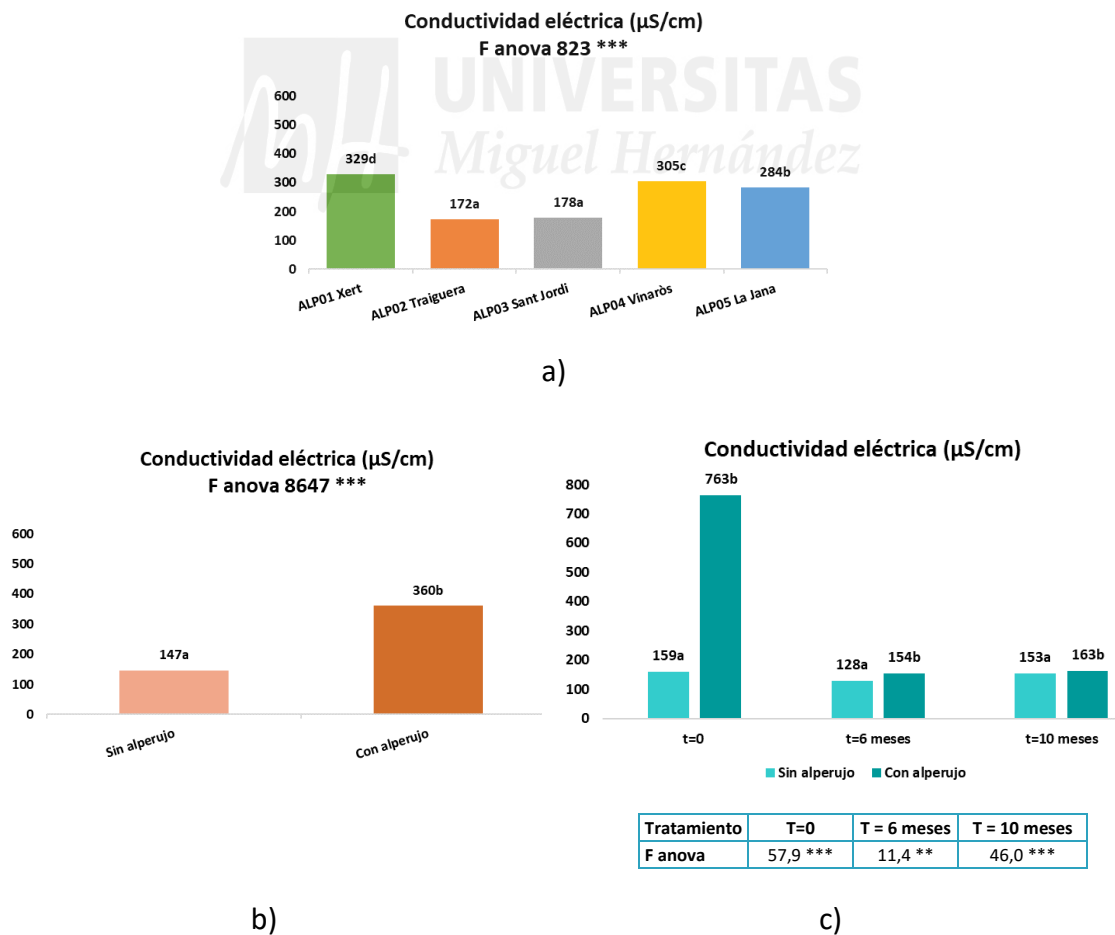


Figura 4.3. Influencia de las variables experimentales en la conductividad eléctrica de los suelos: a) ubicación, b) tiempo y c) aplicación de enmienda.

Tabla 4.3. Influencia de las variables tiempo y aplicación del enmendante alperujo en la conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) de los suelos en cada una de las parcelas.

<i>Variables</i>	<i>APL01 Xert</i>	<i>APL02 Traiguera</i>	<i>APL03 Sant Jordi</i>	<i>APL04 Vinaròz</i>	<i>APL05 La Jana</i>
<i>Tiempo (meses)</i>					
0	609 c	258 b	280 b	605 c	554 b
6	166 a	127 a	127 a	133 a	151 a
10	212 b	130 a	125 a	177 b	146 a
F anova	1518 ***	1011 ***	285 ***	4098 ***	5322 ***
<i>Tratamiento</i>					
Sin alperujo	176 a	123 a	120 a	154 a	160 a
Con alperujo	482 b	220 b	236 b	456 b	407 b
F anova	1795 ***	1302 ***	366 ***	4127 ***	4422 ***

4.4 Influencia de la aplicación de alperujo en el contenido de nitrógeno total Kjeldahl de los suelos

El contenido de nitrógeno en el suelo en condiciones naturales, hasta donde alcanzan las raíces de las plantas (zona radicular), oscila entre el 0,03% y el 0,4% (Tisdale et al., 1985). Las principales fuentes de nitrógeno en el suelo son la aplicación de fertilizantes (46%), la aplicación de residuos orgánicos (7%), la fijación del nitrógeno atmosférico por bacterias simbióticas y no-simbióticas (20%), los residuos procedentes de las plantas (17%) y las precipitaciones (10%). Más del 95% del nitrógeno almacenado en los suelos está, por lo general, en formas orgánicas (Allison, 1973; Batjes, 1996, asociado a materiales biológicos como raíces, microflora, fauna y procesos de descomposición (Stevenson, 1982). El nitrógeno orgánico se halla como proteínas, aminoácidos libres, aminoazúcares y otras sustancias complejas. Estas últimas se originan en las distintas etapas de humificación y son altamente resistentes a la degradación. Mientras un porcentaje relativamente pequeño de nitrógeno orgánico se mineraliza por año en el suelo, la cantidad total de nitrógeno disponible puede ser grande debido a su aporte en forma orgánica (Powlson y Barraclough, 1993). La forma amónica del N se encuentra en su mayor parte como amonio cambiante y no cambiante, y en pequeña proporción. El amonio cambiante y el contenido en la disolución del suelo, junto con las formas nitrito y nitrato, constituyen en conjunto menos del 2% del nitrógeno total en los suelos.

En la Figura 4.3 se muestra el contenido promedio de nitrógeno total Kjeldahl (NTK: nitrógeno orgánico y amoniacal), atendiendo a las variables de estudio **ubicación**,

tiempo y aplicación de la enmienda. Los resultados muestran una clara diferencia en los contenidos promedio de NTK de cada una de las parcelas, aquí se incluyen los datos de todos los muestreos realizados en cada una de las parcelas, a diferentes tiempos y enmendados y no (Figura 4.3.a). Las diferencias encontradas entre las parcelas pueden relacionarse con características basales del suelo y técnicas de manejo (fertilización, laboreo, etc). Dichos valores promedio de NTK oscilaron entre el 0,12-0,28% para la parcela ALP02 del municipio de Traiguera y la parcela ALP01 del municipio de Xert, respectivamente. Este rango de concentración de NTK en los suelos estudiados se considera como normal.

La **aplicación de alperujo** aumento el contenido promedio de NTK respecto a los suelos sin enmendar (Figura 4.3.b). En la Figura 4.3.c, se observar la clara influencia del **factor tiempo** trascurrido desde la aplicación del alperujo en el contenido promedio de NTK de los suelos. A tiempo cero, el contenido NTK es mayor en los suelos tratados. La mineralización del nitrógeno orgánico por acción de los microorganismos del suelo pudo activarse tras la aplicación del alperujo disminuyendo los niveles de NTK que observamos a los 6 meses, y en primavera, tras 10 meses desde la aplicación, la reactivación de la biomasa microbiana y vegetativa pudo contribuir a un incremento en el NTK.

Los valores promedio de NTK en cada una de las **parcelas** se han visto influenciados por las variables tiempo y aplicación del enmendante de forma significativa (Tabla 4.3). Los valores promedio más altos se obtuvieron en el primer muestreo asociado a la aplicación del enmendante orgánico y, aunque disminuyeron en el segundo, se recuperaron en el caso de APL03 San Jordi y ALP04 Vinaròz.

Los alperujos contienen N principalmente en forma de sales de amonio, por lo tanto, cuando se aplica a los suelos, el amonio (cargado positivamente) es absorbido por los coloides y evitando en cierto modo la lixiviación. Posteriormente el amonio se oxida a nitrato, pudiendo ser absorbido por la planta o quedando expuesto a la lixiviación, cuando su cantidad en la solución del suelo es mayor a la que la el sistema demanda. El mejor período según (López-Piñeiro et al., 2007) para la incorporación al suelo del alperujo es otoño-invierno, antes de que se reanude el crecimiento vegetativo.

Brunetti et al., (2005) observaron un aumento lineal del N total en un estudio realizado de aplicación de alperujo fresco durante 2 años. Durante el primer año, el mayor aumento se dio para en N orgánico, pero en el segundo año también era atribuible al N inorgánico. La concentración aumentó al aumentar el volumen de aplicación en comparación con el control. Estos resultados también se obtuvieron en un experimento en invernadero durante 2 años.

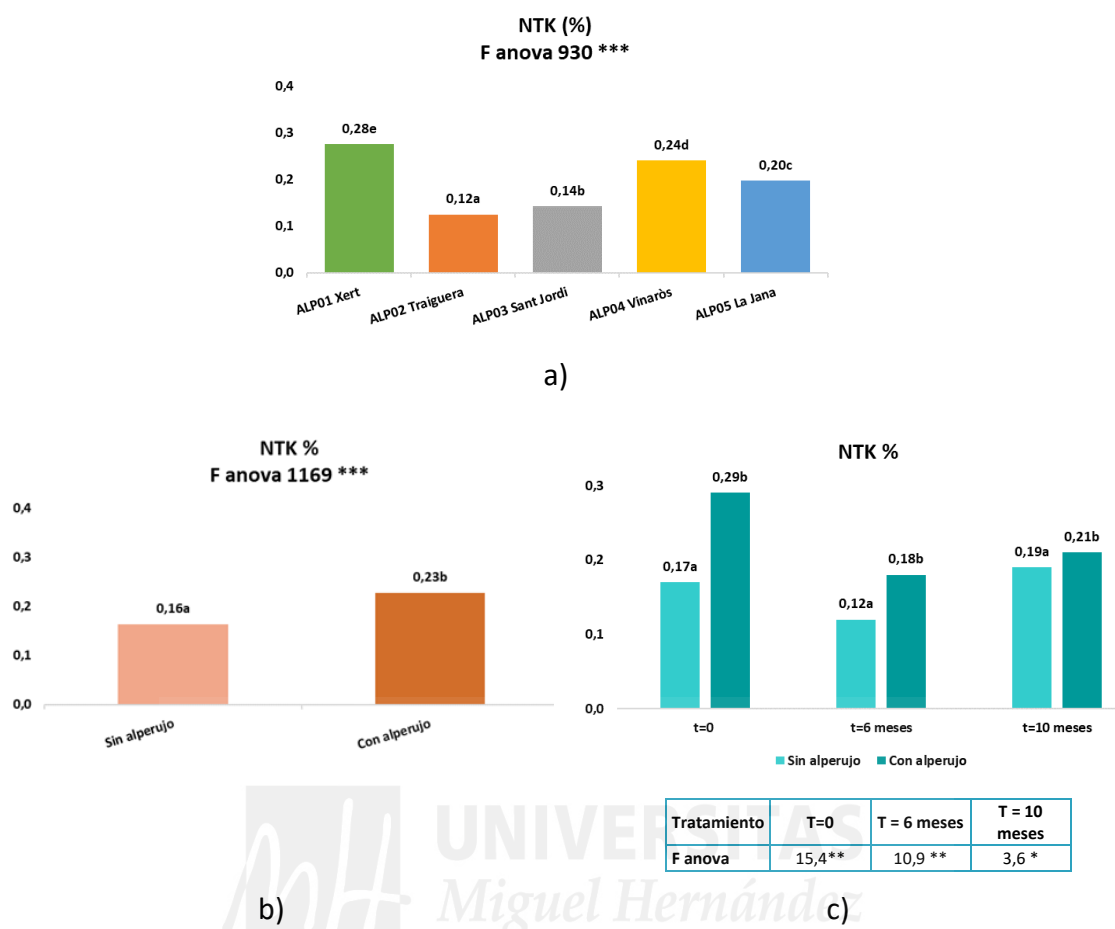


Figura 4.3. Influencia de las variables experimentales en el contenido de NTK de los suelos: a) ubicación, b) tiempo, c) aplicación de enmienda.

Tabla 4.4. Influencia de las variables tiempo y aplicación del enmendante alperujo en la concentración de NTK % de los suelos en cada una de las parcelas.

Variables	<i>APL01</i> <i>Xert</i>	<i>APL02</i> <i>Traiguera</i>	<i>APL03</i> <i>Sant Jordi</i>	<i>APL04</i> <i>Vinaròz</i>	<i>APL05</i> <i>La Jana</i>
Tiempo (meses)					
0	0,32 c	0,14 c	0,16 b	0,28 b	0,25 c
6	0,23 a	0,11 a	0,10 a	0,16 a	0,16 a
10	0,27 b	0,12 b	0,16 b	0,28 b	0,18 b
F anova	88 ***	73 ***	49 ***	487 ***	323 ***
Tratamiento					
Sin alperujo	0,23 a	0,10 a	0,12 a	0,21 a	0,16 a
Con alperujo	0,32 b	0,15 b	0,16 b	0,27 b	0,24 b
F anova	221 ***	890 ***	50 ***	325 ***	781 ***

4.5 Influencia de la aplicación de alperujos en el contenido nitratos de los suelos

El ion nitrato (NO_3^-) es el compuesto esencial biodisponible que absorben las plantas para su crecimiento y desarrollo siendo la especie principal nitrogenada aplicada en las diferentes estrategias de fertilización comúnmente utilizadas. El ion nitrato es altamente soluble en agua y no es retenido por los coloides del suelo con carga negativa (materia orgánica y arcilla), por lo que es un anión altamente movilizable que puede ser absorbido por la planta o transportado por el agua (superficial o subterránea). Las aguas de percolación pueden arrastrarlo hacia capas más profundas, siendo inaccesible para las plantas. Este proceso es más importante en suelos de textura gruesa, tras el riego o lluvia. El movimiento de nitrato por percolación hacia aguas profundas causa problemas graves en la calidad del agua subterránea y de los ríos corriente abajo. En regiones agrícolas donde se hace uso muy intensivo de la fertilización muchos acuíferos se han contaminado por nitratos, haciendo inservibles sus aguas para el consumo humano. Los nitratos también se pueden perder por desnitrificación e inmovilización por los microorganismos (Marañés *et al.*, 1998).

En la Figura 4.4 se muestra el contenido promedio de nitratos, según las distintas variables estudiadas. En la Figura 4.4.a, se observan los valores promedio correspondientes a la media de todas las analíticas realizadas, independientemente del tratamiento y muestreo, solo atendiendo al **factor ubicación** y puede observarse una influencia clara de dicho factor. Los valores promedios oscilaron entre 18,9 y 52,6 mg/kg para las parcelas de ALP03 de Sant Jordi y ALP05 de La Jana, respectivamente. La **aplicación de alperujo** aumento el contenido promedio de nitratos respecto a los suelos sin enmendar (Figura 4.4.b). En la figura 4.4.c, se observar la clara influencia del **factor tiempo** trascurrido desde la aplicación del alperujo en el contenido promedio de nitratos en los suelos. A tiempo cero, día de la aplicación de la enmienda, la presencia de nitratos es la más alta tanto en los controles como en los suelos enmendados con valores promedio de 54 y 111 mg/kg, respectivamente (Figura 4.4.c). En ambos casos, los contenidos de nitratos disminuyen progresivamente encontrando los valores más bajos a los 10 meses desde la incorporación del alperujo. Los fenómenos de lixiviación y de absorción por la planta pueden haber sido los mecanismos principales para su disminución a lo largo del tiempo.

A nivel de cada una de las **parcelas** estudiadas también se observa una disminución significativa de los contenidos de nitratos a lo largo del tiempo (tabla 4.5). En los suelos de la parcela ALP05 de La Jana fue donde se produjo un mayor incremento de nitratos asociado a la aplicación de alperujo, ya que fue el alperujo de la cooperativa de Les Alboredes aplicado es esta parcela el que presentó mayor cantidad de nitrógeno total (2%).

López-Piñeiro *et al.*, 2011 también observaron un aumento de nitratos asociado a la aplicación de alperujo a un suelo en un área mediterránea durante ocho años y también una disminución de los nitratos dos años después de la última aplicación.

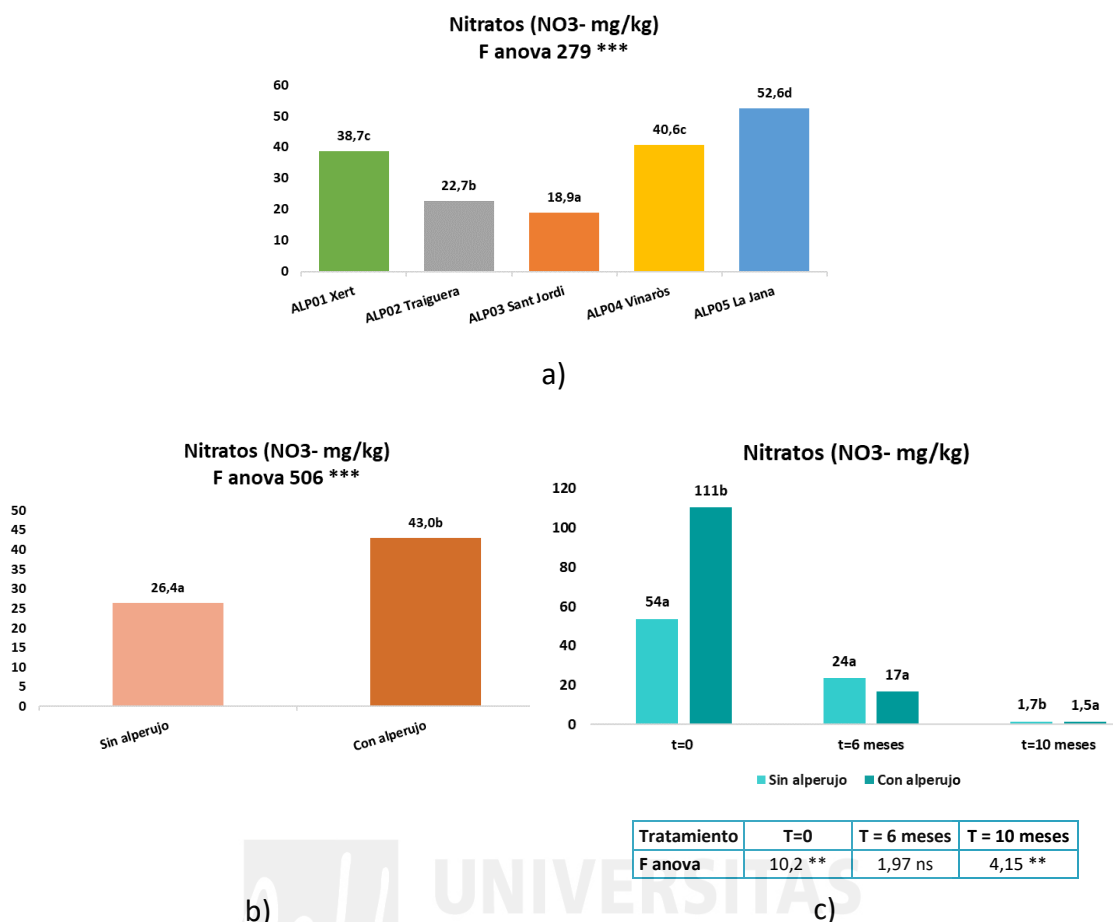


Figura 4.4. Influencia de las variables experimentales en el contenido de nitratos de los suelos: a) ubicación, b) tiempo, c) aplicación de enmienda.

Tabla 4.5. Influencia de las variables tiempo y aplicación del enmendante alperujo en la concentración de nitratos (mg/kg) de los suelos en cada una de las parcelas.

Variables	<i>APL01</i> <i>Xert</i>	<i>APL02</i> <i>Traiguera</i>	<i>APL03</i> <i>Sant Jordi</i>	<i>APL04</i> <i>Vinaròz</i>	<i>APL05</i> <i>La Jana</i>
Tiempo (meses)					
0	101 c	43,2 c	47,2 c	101 c	117 c
6	12,9 b	12,0 b	19,3 b	18,5 b	39 b
10	1,5 a	1,5 a	1,5 a	1,8 a	1,0 a
F anova	1204 ***	237 ***	6791 ***	4227 ***	694 ***
Tratamiento					
Sin alperujo	32,7 a	17,7 a	27,2 b	26,4 a	27,8 a
Con alperujo	44,6 b	20,1 b	18,2 a	54,8 b	77,3 b
F anova	43 ***	2,2 ***	774 ***	895 ***	364 ***

4.6 Influencia de la aplicación de alperujo en la concentración de polifenoles de los suelos

Los polifenoles son compuestos orgánicos con carácter antioxidante y antimicrobiano que pueden inhibir la actividad biótica del suelo. Se sabe que la alta concentración de fenoles poliméricos tiene un efecto bacteriostático sobre los microorganismos y efectos fitotóxicos sobre los cultivos, la actividad antimicrobiana y fitotóxica se debe principalmente a la capacidad de los compuestos fenólicos de combinarse con otros componentes orgánicos, alterando la permeabilidad de la membrana celular y los mecanismos de transferencia intercelular (Peri y Proietti, 2014).

Debemos considerar que estos compuestos en el entorno edáfico tienen una cierta movilidad que también permite su biodegradación/ mineralización que se producirá de forma menos rápida o eficiente que en materiales orgánicos menos refractarios (Proietti et al., 2015).

En la Figura 4.5 se muestra el contenido promedio de polifenoles, según las distintas variables estudiadas. En la Figura 4.5.a, se observan los valores promedio correspondientes a la media de todas las analíticas realizadas, independientemente del tratamiento y muestreo, solo atendiendo al **factor ubicación** y puede observarse una influencia clara de dicho factor. Los valores promedios oscilaron entre 37,8 y 89,5 mg/kg para las parcelas de ALP02 de Traiguera y ALP05 de La Jana, respectivamente. En los **suelos con alperujo** se observa un aumento promedio del contenido de polifenoles respecto a los suelos sin enmendar (Figura 4.5.b). En la figura 4.4.c, se observar la clara influencia del **factor tiempo** en el contenido promedio de polifenoles de los suelos que disminuyó a lo largo del tiempo de estudio. A tiempo cero, el contenido de polifenoles es el más alto tanto en el control como en el suelo enmendado con valores promedio de 23 y 204 mg/kg, respectivamente. En ambos casos, los contenidos de polifenoles disminuyen progresivamente. Al final hay diferencias estadísticas significativas entre el control y enmendado, pero sin riesgo para el suelo. Los fenómenos de humificación, pueden haber contribuido a su disminución a lo largo del tiempo.

En todos los suelos de las parcelas estudiadas se produjo una disminución significativa de los contenidos de polifenoles a lo largo del tiempo (Tabla 4.6). En los suelos de la parcela ALP05 de La Jana fue donde se produjo un mayor incremento de polifenoles asociado a la aplicación de alperujo, ya que fue el alperujo de la cooperativa de Les Alboredes aplicado es esta parcela el que presentó mayor cantidad de polifenoles (5514 mg/kg).

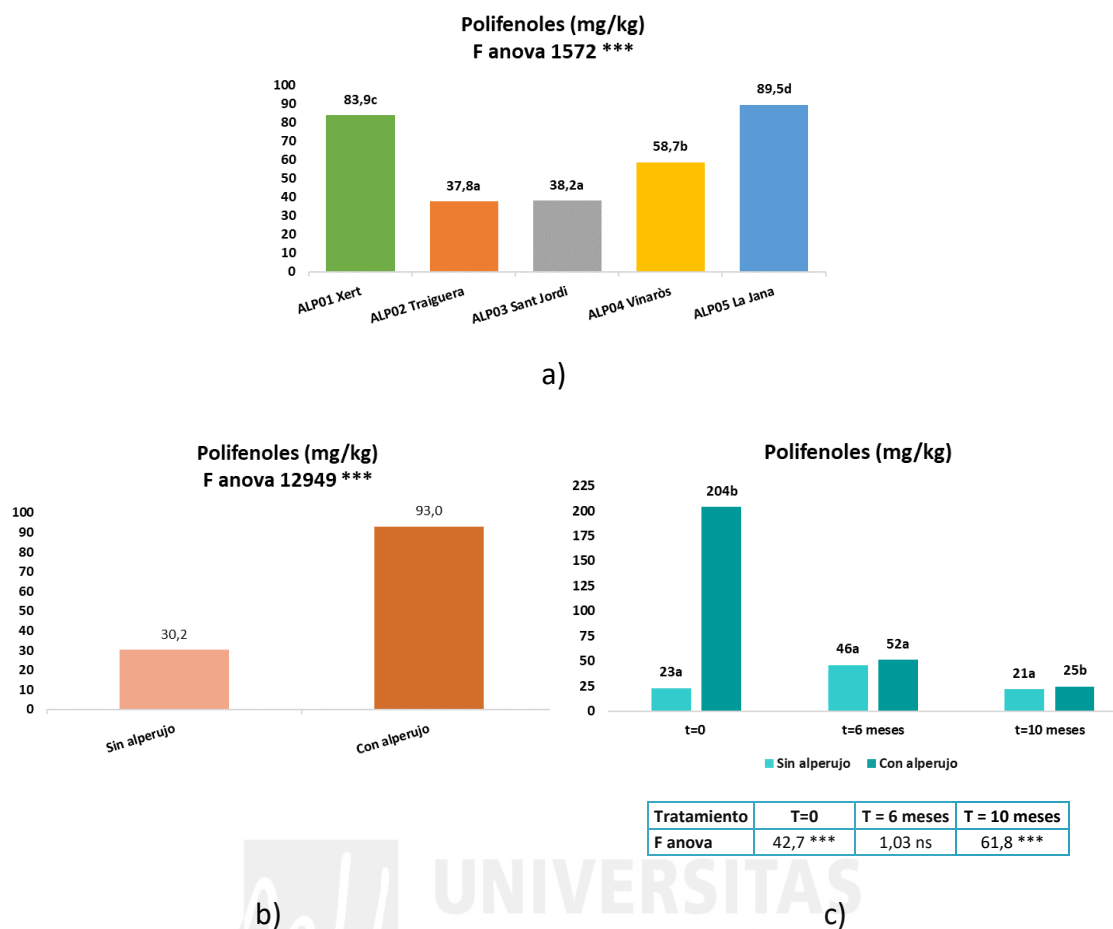


Figura 4.5. Influencia de las variables experimentales en el contenido de polifenoles de los suelos: a) ubicación, b) tiempo, c) aplicación de enmienda.

Tabla 4.6. Influencia de las variables tiempo y aplicación del enmendante alperujo en la concentración de polifenoles (mg/kg) de los suelos en cada una de las parcelas.

Variables	<i>APL01</i> <i>Xert</i>	<i>APL02</i> <i>Traiguera</i>	<i>APL03</i> <i>Sant Jordi</i>	<i>APL04</i> <i>Vinaròz</i>	<i>APL05</i> <i>La Jana</i>
Tiempo (meses)					
0	144 c	57,9 c	53,2 c	117 c	192 c
6	66,8 b	42,3 b	42,9 b	38,3 b	54 b
10	39,9 a	13,2 a	18,5 a	20,9 a	22 a
F anova	1322 ***	1256 ***	612 ***	3656 ***	4485 ***
Tratamiento					
Sin alperujo	39,7 a	27,9 a	23,4 a	23,3 a	35,8 a
Con alperujo	128 b	47,7 b	52,1 b	94,1 b	143 b
F anova	2608 ***	711 ***	112 ***	5244 ***	4749 ***

4.7 Influencia de la aplicación del alperujo en el contenido orgánico de los suelos

La materia orgánica mejora la estructura del suelo ya que se favorece la unión de las partículas del suelo para la formación de agregados y la formación de complejos arcillo-húmicos. Esto repercute positivamente sobre su porosidad, aumentando su capacidad de infiltración de agua a lo largo del perfil de suelo, incrementando la permeabilidad y confiriéndole una adecuada relación agua-aire. En este sentido, aumenta su estabilidad frente a agentes atmosféricos disminuyendo el riesgo a la erosión (Stevenson, 1994).

La materia orgánica mejora la capacidad de intercambio catiónico y aumenta la capacidad tampón de los suelos, y constituye una fuente de nutrientes para las plantas y los microorganismos, determinando el conjunto de actividades biológicas que repercuten en gran medida sobre la fertilidad y la calidad del suelo (Tate, 1987).

En la Figura 4.6 se muestra el contenido promedio carbono orgánico, según las distintas variables estudiadas. En la Figura 4.6.a, se observan los valores promedio correspondientes a la media de todas las analíticas realizadas, independientemente del tratamiento y muestreo, solo atendiendo al **factor ubicación** y observamos que no se encontraron diferencias significativas entre las parcelas APL02 de Traiguera y APL03 de Sant Jordi, pero sí entre el resto. Los valores promedios oscilaron entre 1,2 y 3,1 % para las parcelas de ALP03 de Sant Jordi y ALP01 de Xert, respectivamente. En los **suelos con alperujo** se observa un aumento del contenido de materia orgánica respecto a los suelos sin enmendar (Figura 4.6.b). En la Figura 4.6.c, se observa la clara influencia del **factor tiempo** en el contenido promedio de carbono orgánico de los suelos que disminuyó a lo largo del tiempo de estudio, desde valores promedio a tiempo cero, día de la aplicación de la enmienda, de 1,6 % y 4,4 %, a valores promedio de 1,1 y 2,0 % a los 10 meses desde la aplicación, para los suelos controles y enmendados respectivamente. Los fenómenos de biodegradación y oxidación de la materia orgánica aportada con el alperujo y la que contenía el suelo inicialmente pueden haber sido los mecanismos principales para su disminución a lo largo del tiempo. Los alperujos aportados presentaban un elevado contenido en materia orgánica, por tanto, su uso como enmendante puede potencialmente mejorar las propiedades del suelo, reduciendo la necesidad de insumos de nitrógeno.

En todos los suelos de las **parcelas** estudiadas se produjo una disminución significativa de los contenidos de carbono orgánico a lo largo del tiempo (Tabla 4.7). En los suelos de la parcela ALP01 de Xert fue donde se produjo un mayor incremento del contenido de carbono orgánico promedio asociado a la aplicación de alperujo.

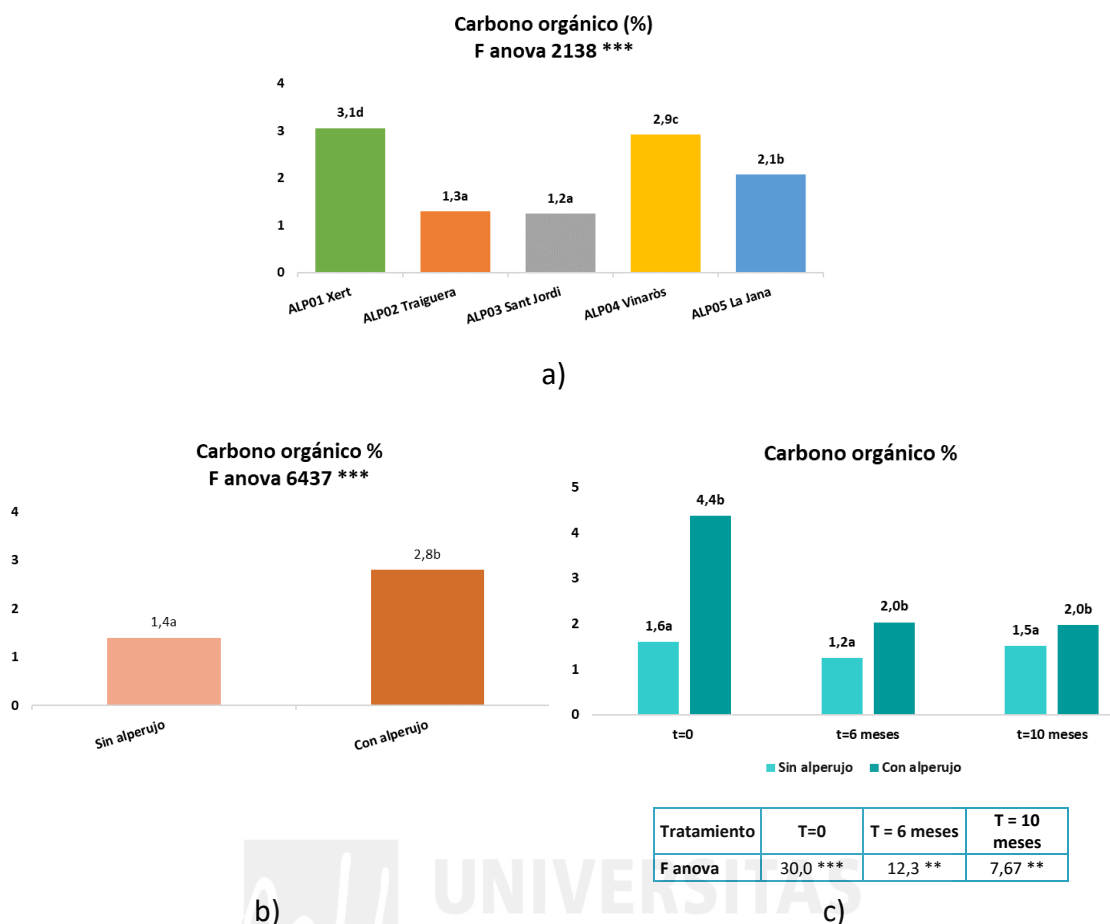


Figura 4.6. Influencia de las variables experimentales en el contenido de carbono orgánico de los suelos: a) ubicación, b) tiempo, c) aplicación de enmienda.

Tabla 4.7. Influencia de las variables tiempo y aplicación del enmendante alperujo en la concentración de carbono orgánico (%) de los suelos en cada una de las parcelas.

<i>Variab</i> les	<i>APL01</i> <i>Xert</i>	<i>APL02</i> <i>Traiguera</i>	<i>APL03</i> <i>Sant Jordi</i>	<i>APL04</i> <i>Vinaròz</i>	<i>APL05</i> <i>La Jana</i>
<i>Tiempo (meses)</i>					
0	4,5 c	1,6 b	1,6 c	3,9 c	3,3 c
6	2,5 b	1,1 a	1,0 a	2,0 a	1,5 b
10	2,1 a	1,1 a	1,1 b	2,8 b	1,4 a
F anova	1314 ***	229 ***	171 ***	383 ***	1370 ***
<i>Tratamiento</i>					
<i>Sin alperujo</i>	1,9 a	0,8 a	0,9 a	2,3 a	1,3 a
<i>Con alperujo</i>	4,2 b	1,7 b	1,6 b	3,6 b	2,8 b
F anova	2889 ***	2329 ***	870 ***	515 ***	2225 ***

Tras 10 meses desde la aplicación del alperujo se observa un efecto residual respecto a la reserva de carbono orgánico con un incremento promedio respecto al control inicial de 0,4 unidades de % (Figura 4.8). Esto es importante ya que cambia la dinámica de la materia orgánica del suelo, estabilizándola e incrementándola, respecto a la inacción de no aportar enmendante que la reduciría.

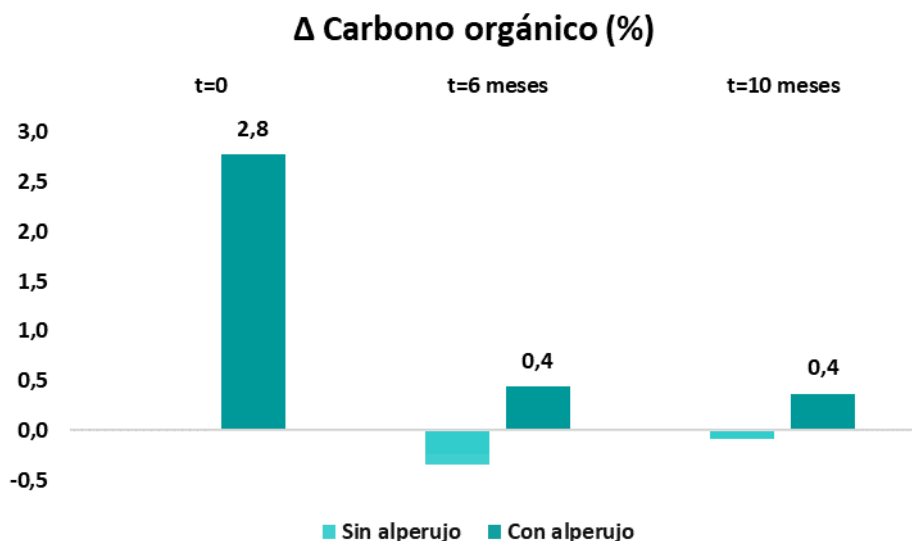


Figura 4.8. Incremento promedio del carbono orgánico del suelo.

García-Ortiz (2016) observó un aumento del contenido de materia orgánica del suelo después de 5 años de aplicación de alperujo fresco y de compost de alperujo. En el caso del alperujo fresco aumentó la materia orgánica entre el inicio y el último año, pero sin diferencias significativas entre ellos, debido a que, aunque el contenido de materia orgánica en el alperujo fresco es muy alto se incorpora al suelo sin degradar, por lo que su disponibilidad es menor que en el caso de la adición de materiales compostados. Aun así, los suelos enmendados con alperujo fresco presentaron los mayores contenidos de materia orgánica al inicio de los ensayos manteniéndose altos y similares a los finales donde se aplicaron los compost de alperujo. Tras cinco años de ensayo observaron un incremento de la materia orgánica en las parcelas enmendadas con alperujo fresco, del 72% y del 78% y 82% en las parcelas enmendadas con dos composts de alperujo, respecto a las parcelas con abonado mineral.

Los incrementos en el contenido en materia orgánica observados, en nuestro ensayo y también en los realizados por otros autores, tras la aplicación de las enmiendas es importante en las condiciones semiáridas de nuestra área de estudio donde los suelos agrícolas son pobres en materia orgánica y están expuestos a una intensa degradación.

5. CONCLUSIONES

- La aplicación de alperujo como enmendante de suelos en la zona del Bajo Maestrato:
 - ✓ favoreció la **humedad** del suelo que junto con los nutrientes aportados propiciaron la mayor presencia de vegetación arvense.
 - ✓ disminuyó el **pH** de los suelos sobre todo al inicio, lo cual resulta interesante en este tipo de suelos para mejorar la disponibilidad de nutrientes.
 - ✓ aumento la concentración de **sales solubles** sobre todo a tiempo cero, pero sin llegar a alcanzar valores que supongan un riesgo de salinización de los suelos.
 - ✓ aumentó la cantidad de **NTK** en todos los tiempos respecto al control, reduciendo la necesidad de insumos de nitrógeno.
 - ✓ incrementó el **contenido de nitratos** a tiempo cero y disminuyó con el tiempo por debajo de los niveles del control.
 - ✓ aumentó los niveles de **polifenoles** que disminuyeron hasta valores ligeramente por encima del control al final del ensayo, posiblemente asociado a fenómenos de humificación.
 - ✓ mejoró la dinámica de la **materia orgánica** en el suelo y el stock de carbono lo que puede potencialmente mejorar las propiedades del suelo.

- Con la **dosis de aplicación** de 10 t/ha y a 10 meses desde la aplicación no se han detectado efectos negativos ni en el suelo ni en los cultivos, aunque sería conveniente repetir las aplicaciones para analizar sus ver efectos a más largo plazo.

- Por tanto, la **aplicación directa de alperujos**, en suelos de cultivo cercanos a las almazaras supone una **alternativa de gestión económica y agroambientalmente viable** para estos flujos residuales que se originan de forma estacional y localizada, que contribuye a **cerrar los ciclos de nutrientes y a incrementar el stock de carbono del suelo**, esto es muy importante en las condiciones semiáridas del área de estudio donde los suelos agrícolas son pobres en materia orgánica y están expuestos a una intensa degradación. Junto con el tratamiento en orujeras y el compostaje, la aplicación directa puede considerarse como una opción más de gestión para **potenciar la economía circular en el sector productivo oleico de la Comunidad Valenciana**.

6. BIBLIOGRAFÍA

Agusti, M. (2010). *Fruticultura*. Madrid: Mundi-prensa.

Albuquerque, J.A.; Gonzalez J.; García, D; Cegarra, J. (2006). Effects of bulking agent on the composting of “alperujo”, the solid by-product of the two-phase centrifugation method for olive oil extraction. *Process Biochemistry* 41(1): 127-132.

Albuquerque, J.A.; González, J.; García, D., Cegarra, J. (2004). Agrochemical characterisation of alperujo, a solid by-product of the two-phase centrifugation method for olive oil extraction. *Bioresour. Technol.* 91, 195-200.

Allison, F.E., (1973). *Soil organic matter and its role in crop production*. Devel. In Soil Sci. 3. Elsevier, Amsterdam. In: Lawrence, J., Yakovchenco, V., Cambardella, C., Doran, J., (1994). Assessing soil quality by testing organic matter. *Soil Science Society of America Journal* 5: 41-48.

Allouche et al., (2004). Allouche, N.; Fki, I.; Sayadi, S. Toward a high yield recovery of antioxidants and purified hydroxytyrosol from olive mill wastewaters. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52 (2004), pp. 267-273

Alu'datt, MH; Alli, I; Ereifej, K; Alhamad, M; Al-Tawaha, AR; Rababah, T. (2010). Optimisation, characterisation and quantification of phenolic compounds in olive cake. *Food Chemistry*, 123: 117-122. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.04.011

Amirante, P. (2003). I sottoprodotti della filiera olivicola-olearia. In: Fiorino, P. (Ed.), *Olea, Trattato di Olivicoltura*. Edagricole, Bologna, pp. 291–303.

Andrades, M., Martínez, M.E. (2014). *Fertilidad del suelo y parámetros que la definen*. Edita. Universidad de La Rioja, Servicio de Publicaciones, La Rioja.

Barone, E. Di Marco, L. (1993). Capítulo 2: Morfología e ciclo di sviluppo. Pp 13-33. Fiorino P. *Trattato di olivicoltura*. Edagricole. Bologna, 461p.

Barranco, D.; Fernández-Escobar, R.; Rallo, L. (2008). *El cultivo del olivo*, sexta edición, Ediciones Mundi-prensa.

Batjes, N.H., (1996). *Total carbon and nitrogen in soils of the world*. *European Journal of Soil Science* 47, 151-163.

Beata Hall, I.; Céu Sàágua, M.; Lourdes Bartolomeu, M.; Anselmo, A.; Fernanda Rosa, M. (2005). Biodegradation of olive oil husks in composting earated piles. *Bioresoure*

Technology, 96:69-78.

Benavente, V.; Fullana, A. (2015). Torrefaction of olive mil waste. *Biomass Bioenerg.* 73, 186-194.

Bianco, Buiarelli, F.; Cartoni, G.; Coccioli, F.; Jasionowska, R.; Margherita P; (2003). Analysis by liquid chromatography–tandem mass spectrometry of biophenolic compounds in olives and vegetation waters, Part I. *Journal of Separation Science*, 26 (2003), pp. 409-416

Blazquez, J. (1996). Evolución e historia. En *enciclopedia mundial del olivo*. Madrid: Consejo Oleico Internacional.

Caballero, P.; de Miguel, M.; & Ferrández, M. (2006). La gestión del minifundio a través de las cooperativas de la Comunidad Valenciana. *Revista de economía pública, social y cooperativa*, 55,193-220.

Cayuela, M.L., Bernal, M.P., Roig, A. (2004). Composting olive mill waste and sheep manure for orchard use. *Compost Science & Utilization* 12: 130-136.

Cayuela, M.L., Sánchez-Monedero, M.A., Roig, A. (2006). Evaluation of two different aeration systems for composting two-phase olive mill wastes. *Process Biochemistry* 41: 616-623.

Cegarra et al. (2006)._Cegarra, J.; Albuquerque, J.A.; González, J.; Tortosa, G.; Chaw, D. Effects of the forced ventilation on composting of a solid olive-mill by-product (“alperujo”) managed by mechanical turning. *Waste Management*, 26 (2006), pp. 1377-1383

Chen, Y. e Inbar, Y. 1993. Chemical and spectroscopical analyses of organic matter transformations during composting in relation to compost maturity. En: *Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects*. Ed.: H.A.J. Hoitink y H.M. Keener. Renaissance Publications. Ohio. pp. 551-600.

Christoforou, E.A.; Fokaidis, P.A., (2016a). Life cycle assesment (LCA) of olive husk torrefaction. *Renew. Energ.* 90, 257-266.

Christoforou, E.A.; Fokaidis, P.A., (2016b). A review of olive mil solid wasted to energy utilization techniques. *Waste Manag.* 49, 346-363.

Civantos, C.G.O (2016). Aprovechamiento del alperujo como enmienda orgánica en el olivar. Tesis Doctoral. Jaén (España). ISBN 978-84-16819-60-.

Claves para la Taxonomía de Suelos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. USDA-NRCS. Décima Edición, (2006). 339 pp.

Demicheli, M.C.; Bontoux, L. (1997). Novel technologies for olive oil manufacturing and their incidence on the environment. *Fresen. Environ. Bull.* 6 (5), 240–247.

Fabbri, A y Benelli, C. (2000). Flower bud induction and differentiation in olive. *Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 75 (2): 131-141.

Fernandez-Bolanos, J.; Rodriguez, G.; Rodriguez, R.; Heredia, A.; Guillen, R.; (2002). Jimenez, A. Production in large quantities of highly purified hydroxytyrosol from liquid-solid waste of two-phase olive oil processing or "Alperujo". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, pp. 6804-6811.

Fernández, L.; Moreno, F.; Cabrera, F.; Arrue, J.; & MARTÍN-ARANDA, J. (1991). Drip irrigation, soil characteristics and the root distribution and root activity of the olive trees. *Plant and soil*, 133,239-251.

FIAPA. (2006). Contaminación por nitratos de origen agrario. Revisión legislativa. Fundación para la investigación Agraria de la Provincia de Almería.

Filippi, C.; Bedini, S.; Levi-Minzi, R.; Cardelli, R.; Saviozzi, A. (2002). Co-composting of olive mill by-products: chemical and microbiological evaluations. *Compost Science and Utilization*, 10 (1): 63-71

Fiorentino, A.; Gentili, A.; Isidori, M.; Monaco, P.; Nardelli, A.; Parrella A (2003). Environmental effects caused by olive mill wastewaters: Toxicity comparison of low-molecular weight phenol components. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51 (2003), pp. 1005-1009.

Galanakis, C.M., (2011). Olive fruit dietary fiber: components, recovery and applications. *Trends Food Sci. Technol.* 22 (4), 175–184.

García-Ortiz, A.; Giráldez, J.; González, P.; Ordóñez, R. (1993). El riego con alpechín. *Agricultura, Revista Agropecuaria*, nº 730, 426-431.

García-Randez, A.; Canet, R.; Rosello, J.; Sanchez-Garcia, F.B.; Fernandez-Suarez, M. T.; Perez-Murcia, M D.; Moral R. (2018). Gestión de alperujos mediante agrocompostaje en la comarca del Maestrat (Castellón). En: Albiach, R, Canet, R., Montoya, T., Pérez, A., Quiñones, A., Rojo, P. (Eds). *Gestión integral de residuos orgánicos. Poniendo en marcha la economía circular en la sociedad. 6^{as} Jornadas de la Red Española de Compostaje, noviembre 2018. Valencia (España) ISBN 978-84-09-09152-2.*

Generalitat Valenciana, (2018). Orden 10/2018, de 27 de febrero, de la Conselleria de Agricultura, Medio Ambiente, Cambio Climático y Desarrollo Rural, sobre la utilización de materias fertilizantes nitrogenadas en las explotaciones agrarias de la Comunitat Valenciana.

GVA, (2014). Cuadernos de Tecnología Agraria. Conselleria de Agricultura, Pesca, Alimentación y Agua de la Generalitat Valenciana, Enero 2014. Obtenido de <http://www.agricultura.gva.es>

Jesús Fernández (2011). Caracterización de las Comarcas Agrarias de España, octubre 2011. Madrid (España). ISBN 978-84-491-1244-7.

Juan, B. Simó Castillo (1982). El Maestrazgo histórico. Publicaciones del centro de estudios del maestrazgo cuaderno nº1, agosto 1982.

Kapellakis, I.E.; Tsagarakis, K.P.; Crowther, J.C., (2008). Olive oil history, production and by-product management. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 7 (1), 1-26

Kavdir, Y.; Killi, D. (2007). Influence of olive oil solid waste applications on soil pH, electrical conductivity, soil nitrogen transformations, carbon content and aggregate stability. *Bioresour. Technol.* 99, 2326–2332.

Keren, R. (2000). "Salinity". In: "Hand Book of Soil Science, Malcolm E. Sumner (editors). CRS Press. (pp.G3-G25).

Lavee S.; Rallo I., (1996). Efecto de la defoliación, de la carga del árbol y de la acumulación de frío en la brotación forzada de yemas de estacas de olivo. *Actas de horticultura* vol. 15 pp. 97-107.

Lesage- Meessen, L.; Navarro, D.; Maunier, S.; Sigoillot, J.C.; Lorquin, J.; Delattre, M. (2001) Simple phenolic content in olive oil residues as a function of extraction systems. *Food Chemistry*, 75 (2001), pp. 501-507.

López-Cortés.; Salazar, D. M. (2006). Variedades de Olivo y composición de sus aceites en el Oeste del Mediterráneo. *Phytoma*.

Peña D, Albarrán A, Sánchez-Llerena J, Becerra D (2014). Long-term effects of olive mill waste amendment on the leaching of herbicides through undisturbed soil columns and mobility under field conditions. *Soil Till Res* 144:195–204. doi:10.1016/j.still.2014.08.001.

López-Piñeiro A, Murillo, S., Barreto, C., Muñoz, A., Rato, J.M., Albarrán, A., García, A. (2007). Changes in organic matter and residual effect of amendment with twophase olive-mill waste on degraded agricultural soils. *Science of the Total Environment* 378: 84-89.

López-Piñeiro, A., Albarrán, A., Rato Nunes, J.M., Peña, D., Cabrera, D., (2011). Long-term impacts of de-oiled two-phase olive mill waste on soil chemical properties, enzyme activities and productivity in an olive grove. *Soil Till. Res.* 114, 175–182.

López-Piñeiro, A.; Albarrán, A.; Rato Nunes, J.M.; Barreto, C. (2008). Short and medium term effects of two- phase olive mill waste application on olive grove production and soil properties under semiarid Mediterranean conditions. *Bioresour. Technol.* 99, 7982–7987.

Loussert, R.; Brousse, G. (1980). El olivo. Ad. Mundi-Prensa. Madrid. Pp. 302-312.

Lozano-García, B.; Parras-Alcántara, L.; del Toro Carrillo de Albornoz, M. (2011). Effects of oil mill wastes on surface soil properties, runoff and soil losses in traditional olive groves in southern Spain. *CATENA* 85 (3), 187–193.

Madejón E.; Lozano de Sosa, L.; Panettieri, M.; Moreno B.; Benítez E. (2020). Compost de alpejujo como fertilizante de olivar de secano. En: Gómez Sánchez, M.A., González Hernández, A.I. Morales Corts, R., Pérez Sánchez, R. (Eds.) *Compostaje webinars 2020*. ISBN 978-84-09-27257-0.

Manios T. (2004). The composting potential of different organic solid wastes, experience from the island of Crete. *Environment International*, 29: 1079-1089.

Mantzavinos, D., Kalogerakis, N. (2005). Treatment of olive mil effluents: Part I. Organic matter degradation by chemical and biological processes - An overview. *Environment International* 31: 289-295.

MAPA (1996); Comarcalización Agraria de España. Secretaría General Técnica. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (España), 1996. 2 vol.

Marañés, A., Sánchez, J.A., de Haro, S., Sánchez, S., del Moral, F., (1998). Análisis de suelos. Metodología e interpretación. Servicio de publicaciones de la Universidad de Almería.

Morillo, J.A.; Antizar-Ladislao, B.; Monteoliva-Sánchez, M.; Ramos-Cormenaza, A.; Russell, N.J. (2009). Bioremediation and biovalorisation of olive-mill wastes. *Applied Microbiology and Biotechnology* 82: 25-39.

Mulinacci et al., (2001) Mulinacci, N.; Al Romani, Galardi, C.; Pinelli, P.; Giaccherini, C.; Vincie, F.F. Polyphenolic content in olive oil wastewaters and related olive samples. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49 (2001), pp. 3509-3514. View Record in Scopus Google Scholar.

Nacz et al., (1992). Nacz, M.; Wanasundara, P.; Shahidi, F. Facile spectroscopic determination of sinapine acid in *Brassica* sedes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40 (1992), pp. 444-448.

Nasini, L.; Gigliotti, G.; Balduccini, M.A.; Federici, E.; Cenci, G.; Proietti, P. (2013). Effect of solid olive-mill waste amendment on soil fertility and olive (*Olea europaea* L.) tree activity. *Agric. Ecosyst. Environ.* 164, 292–297.

Pankhurst, C., Yu S., Hawke B., Harch B., (2001). Capacity of fatty acid profiles and substrate utilization patterns to describe differences in soil microbial communities associated with increased salinity or alkalinity at three locations in South Australia. *Biol. Fertil. Soil* 32: 204-217.

Pascual, J.A., Ayuso, M., García, C., Hernández, M.T., (1997). Characterization of urban wastes according to fertility and phytotoxicity parameters. *Waste Management & Research* 15: 103-112.

Peel, M. C.; Finlayson, B. L. & McMahon, T. A. (2007). Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11, pp. 1633-1644.

Piperidou et al., (2000) C.I Piperidou., Chidou, C.D. Stalikas, K. Soutli, G.A. Pilidis, C. Balis. Biorremediation of olive oil mill wastewater: Chemical alterations induced by *Azotobacter Vinelandii*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48 (2000), pp. 1941-1948.

Porta J.; López-Acevedo M. *Agenda de campo de suelos*. (2005). Información de suelos para la agricultura y el medio ambiente. Ediciones Mundi-Prensa, 541 pp.

Porta J.; López-Acevedo M.; Roquero C. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. (1994). Ediciones Mundi-Prensa, 807 pp.

Porta J.; López-Acevedo, M.; Poch, R.M. (2014). *Edafología: Uso y protección de suelos*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

Powlson, D.S., Barraclough, D., (1993). Mineralization and assimilation in soil-plant systems. In: Knowles, R., Blackburn, T. H., (eds) *Nitrogen isotope Techniques*. Academic Press, San Diego, pp, 209-242.

Proietti, P., Federici, E., Fidati, L., Scargetta, S., Massaccesi, L., Nasini, L., Regni, L., Ricci, A., Cenci, G., Gigliotti, G., (2015). Effects of amendment with oil mill waste and its derived-compost on soil chemical and microbiological characteristics and olive (*Olea europaea* L.) productivity. *Agric. Ecosyst. Environ.* 207, 51–60.

Proietti, P.; Federici, E.; Fidati, L.; Scargetta, S.; Massaccesi, L.; Nasini, L.; Regni, L.; Ricci, A.; Cenci, G.; Gigliotti, G. (2015). Effects of amendment with oil mill waste and its derived-compost on soil chemical and microbiological characteristics and olive (*Olea europaea* L.) productivity. *Agric. Ecosyst. Environ.* 207, 51–60.

Ranalli, A.; Lucera, L.; Contento S. (2003). Antioxidizing potency of phenol compounds in olive oil mill wastewater. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51 (2003), pp. 7636-7641.

Rinaldelli, E. y Mancuso, S. (1974). Respuesta a corto y largo plazo de plantones de olivo (*Olea europaea* L.) micorrizados y no micorrizados cultivados en substratos salinos. *Olivae* 74:45-49.

P.S. Rodis, V.T. Karathanos, A. Mantzavinou, (2002). Partitioning of olive oil antioxidants between oil and water phases. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50 (2002), pp. 596-601.

Roig, A.; Cayuela, M.L.; Sanchez-Monedero, M.A., (2006). An overview on olive mill wastes and their valorisation methods. *Waste Manage.* 26, 960-969.

Romero, C.; Brenes, M.; Garcia, P.; Garrido, A. Hydroxytyrosol 4- β -D-glucoside, an

important phenolic compound in olive fruits and derived products. (2002). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50 pp. 3835-3839.

Sánchez-Monedero, M.A.; Aguilar, M.I.; Fenoll, R.; Roig, A. (2008). Effect of the aeration system on the levels of airborne microorganisms generated at wastewater treatment plants. *Water Res.* 42 (14), 3739–3744.

Shahidi, F.; Naczki, M. Phenolic in food and nutraceutical. (2004). CRC Press, Boca Raton, FL (pp. 1–558).

Sibbett, G.S. and Osgood, J. (1994). Site selection and preparation, tree spacing, and design, planting, and initial training. In *Olive Production Manual*, 31-37 (Eds L. Ferguson, G.S. Sibbett and G.C. Martin). Publication 3353. University of California, Davis, CA, U.S.A.

Stevenson, F.J., (1994). *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions*. Wiley, New York.

Tardáguila, J.; Montero, F.; Olmeda, M.; Alba, J.; Bernabéu, R. (1996). Análisis del sector del aceite de oliva. *Alimentación, Equipos y Tecnología*, 15(3): 41-47.

Tate, R.L., (1987). *Soil organic matter. Biological and ecological effects*. John Willey & Sons. New York, 291 pp.

Tombesi, A. (1995). Fisiología dell'olivo, tecniche colturali e loro interazione. *Frutticoltura*, 12,15-21.

Tortosa, G.; Torralbo, F.; Maza-Marquez, P.; Aranda, E.; Calvo, C.; Gonzalez-Murua C.; y Bedmar E.J. (2018). En: Albiach, R, Canet, R., Montoya, T., Pérez, A., Quiñones, A., Rojo, P. (Eds). *Gestión integral de residuos orgánicos. Poniendo en marcha la economía circular en la sociedad*. 6^{as} Jornadas de la Red Española de Compostaje, noviembre 2018. Valencia (España) ISBN 978-84-09-09152-2.

Toscano, P.; Montemurro, F. (2012). Olive Mill By-Products Management. In: Muzzalupo, I. (Ed.), *Olive germplasm—The Olive Cultivation, Table Olive and Olive Oil Industry in Italy*. InTech Open Access Publisher, pp. 173–200.

Vlyssides, A.; Loizides, M.; Karlis, P. (2004). Integrated strategic approach for reusing olive oil extraction by-products. *J. Clean. Prod.* 12, 603–611