

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. SUBPRODUCTOS Y RESIDUOS DE LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA	3
1.1.1. Preámbulo	3
1.1.2. Residuos generados. Sus características y composición. Problemática	5
1.1.2.1. Residuos de origen animal	8
1.1.2.2. Residuos de origen vegetal.....	9
1.1.3. Gestión: alternativas para su tratamiento.....	12
1.2. RESIDUOS Y SUBPRODUCTOS ORGÁNICOS GENERADOS POR LA INDUSTRIA OLEÍCOLA. TIPOS, SUS CARACTERÍSTICAS Y APROVECHAMIENTO	15
1.2.1. Procesos utilizados en la industria extractiva del aceite de oliva: evolución histórica	16
1.2.1.1. Sistema discontinuo.....	16
1.2.1.2. Sistema de centrifugación en continuo	17
1.2.2. Residuos generados. Características y composición. Problemática	19
1.2.2.1. Alpechín.....	19
1.2.2.2. Orujo	20
1.2.2.3. Alperujo	21
1.2.2.4. Otros	22
1.2.3. Tratamiento y aprovechamiento: Métodos de valorización	23
1.2.3.1. Alpechín.....	23
1.2.3.2. Alperujo y otros subproductos sólidos	25
1.3. EL COMPOSTAJE, UN SISTEMA DE TRATAMIENTO Y ESTABILIZACIÓN DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS CON FINES AGRÍCOLAS	28
1.3.1. Concepto y funciones del compostaje.....	28
1.3.2. Factores que afectan al proceso	30
1.3.2.1. Parámetros relativos a la naturaleza del sustrato (mezcla de residuos)	30
1.3.2.2. Parámetros de seguimiento del proceso	32
1.3.3. Sistemas de compostaje	34
1.3.4. Calidad del compost. Parámetros a considerar y regulación.....	35
1.3.5. El caso particular del compostaje de alperujo.....	40
1.3.5.1. Materiales utilizados en el co-compostaje del alperujo.....	41
1.3.5.2. Características diferenciales del proceso.....	43
1.3.5.3. Características y calidad de los composts de alperujo.....	45

1.4. APROVECHAMIENTO Y APLICACIONES DEL COMPOST: USOS AGRONÓMICOS Y MEDIOAMBIENTALES	47
1.4.1. Aspectos generales: gestión agronómica	47
1.4.2. Aprovechamiento como enmiendas orgánicas	48
1.4.3. Aprovechamiento como abonos orgánicos y órgano-minerales.....	48
1.4.4. Aprovechamiento como sustratos de cultivo.....	50
1.4.5. Uso para control biológico de agentes fitopatógenos.....	51
1.4.6. Aplicación en la recuperación de suelos contaminados.....	53
1.4.7. Utilización como fuente de materia orgánica soluble.....	56
1.4.8. Otros posibles usos	58
1.5. USO DE COMPOSTS COMO ENMIENDAS O MEJORADORES DEL SUELO. EFECTOS SOBRE EL SISTEMA SUELO-PLANTA	59
1.5.1. Efectos sobre el suelo	59
1.5.1.1. Sobre las propiedades físicas	60
1.5.1.2. Sobre las propiedades físico-químicas y químicas	61
1.5.1.3. Sobre las propiedades bioquímicas y microbiológicas.....	63
1.5.2. Efectos sobre la productividad de los cultivos	65
1.5.3. Efectos del compost de alperujo	68
2. OBJETIVOS	71
3. MATERIAL Y MÉTODOS	75
3.1. MATERIALES UTILIZADOS	77
3.1.1. Materiales orgánicos	77
3.1.2. Suelo calizo	80
3.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICA, FÍSICO-QUÍMICA, QUÍMICA Y BIOLÓGICA DE LOS COMPOSTS DE ALPERUJO A Y A+H	81
3.2.1. Propiedades físicas.....	82
3.2.2. Características físico-químicas	82
3.2.3. Características químicas. Composición	83
3.2.4. Propiedades biológicas	83

3.3. INFLUENCIA DE LOS COMPOSTS A Y A+H EN LAS PROPIEDADES DEL SUELO. ESTUDIO DE LA DINÁMICA DEL NITRÓGENO	84
3.3.1. Experimento 1. Estudio de las propiedades físicas y las características químicas del suelo calizo enmendado con los composts	84
3.3.1.1. Descripción del experimento	84
3.3.1.2. Parámetros físicos, físico-químicos y químicos estudiados	86
3.3.2. Estudio de la dinámica del nitrógeno en el suelo calizo enmendado con los composts (Experimento 2.1)	87
3.3.3. Efectos de la aplicación de los composts sobre parámetros biológicos y bioquímicos en dos suelos con texturas diferentes (Experimento 2.2)	87
3.3.3.1. Materiales utilizados	88
3.3.3.2. Diseño experimental	88
3.3.3.3. Parámetros químicos, biológicos y bioquímicos determinados	88
3.4. EVALUACIÓN DE LOS COMPOSTS A Y A+H COMO ENMIENDAS DEL SUELO. EFECTO DIRECTO Y RESIDUAL SOBRE LOS CULTIVOS Y EL SUELO.....	89
3.4.1. Diseño del experimento de evaluación agronómica	89
3.4.2. Parámetros de crecimiento y productividad controlados	93
3.4.3. Análisis elemental del material vegetal.....	95
3.4.4. Determinación de las características físico-químicas y químicas del suelo cultivado	96
3.5. EFECTOS DE LA MATERIA ORGÁNICA SOLUBLE EXTRAÍDA DE LOS COMPOSTS A Y A+H SOBRE EL CULTIVO DE ALFALFA Y EL SUELO CALIZO.....	96
3.5.1. Planteamiento y diseño del experimento	96
3.5.2. Parámetros controlados en las plantas de <i>Medicago sativa</i>	98
3.5.3. Parámetros determinados en el suelo cultivado y no cultivado.....	98
3.6. ESTUDIO <i>IN VITRO</i> E <i>IN VIVO</i> DE LA SUPRESIVIDAD DE LOS COMPOSTS A Y A+H.....	99
3.6.1. Aislamiento de actinomicetos y evaluación de sus efectos antagonistas frente a agentes fitopatógenos, e identificación de las cepas supresoras ..	99
3.6.1.1. Aislamiento de cepas de actinomicetos	99
3.6.1.2. Evaluación de la inhibición de agentes fitopatógenos por los aislados en ensayos <i>in vitro</i>	99
3.6.1.3. Identificación de las cepas mediante técnicas moleculares	101
3.6.1.4. Caracterización de las cepas de actinomicetos mediante técnicas fenotípicas	104

3.6.2. Bioensayo de supresividad <i>in vivo</i> frente a <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>melonis</i>	106
3.6.2.1. Patosistema utilizado.....	106
3.6.2.2. Preparación del inóculo de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>melonis</i>	106
3.6.2.3. Experimento 1. Ensayo <i>in vivo</i> con los composts A y A+H	107
3.6.2.4. Experimento 2. Efecto del volumen de compost A en la mezcla sobre la supresividad.....	108
3.7. APLICACIÓN DE COMPOST DE ALPERUJO A DOS SUELOS CONTAMINADOS. INFLUENCIA EN LA BIODISPONIBILIDAD DE METALES PESADOS Y ARSÉNICO, Y EN EL CRECIMIENTO DE PLANTAS DE <i>BRASSICA</i>	109
3.7.1. Suelos, compost y especies vegetales utilizadas.....	109
3.7.2. Caracterización física, química y biológica de los suelos	110
3.7.3. Fitotoxicidad potencial. Germinación de semillas de cebada	110
3.7.4. Descripción del experimento	111
3.7.5. Análisis del suelo al final del experimento.....	112
3.7.6. Parámetros controlados en el material vegetal	112
3.8. DISMINUCIÓN DEL pH DEL COMPOST DE ALPERUJO MEDIANTE LA ADICIÓN DE AZUFRE ELEMENTAL	113
3.8.1. Experimento de acidificación con el compost	113
3.8.1.1 Curva de valoración del compost.....	113
3.8.1.2 Ensayo de incubación	114
3.8.2. Aislamiento e identificación de cepas oxidadoras del azufre	116
3.8.3. Evaluación de la eficiencia acidificadora de las bacterias oxidadoras del azufre.....	117
3.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS	118
4. RESULTADOS	119
4.1. CARACTERÍSTICAS, PROPIEDADES Y COMPOSICIÓN DE LOS COMPOSTS A Y A+H	121
4.1.1. Propiedades físicas.....	122
4.1.2. Características físico-químicas y químicas	126
4.1.2.1. Características físico-químicas.....	126
4.1.2.2. Características químicas. Composición.....	127

4.1.3. Propiedades biológicas.....	138
4.1.3.1. Biomasa y actividad microbiana	138
4.1.3.2. Bioensayos de germinación y crecimiento	139
4.1.4. Análisis de Componentes Principales.....	144
4.1.5. Evaluación de la madurez y estabilidad de los composts A y A+H.....	147
4.2. EFECTOS DE LOS COMPOSTS A Y A+H SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, LAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS Y LA DINÁMICA DEL NITRÓGENO DE LOS SUELOS ENMENDADOS.....	155
4.2.1. Experimento 1. Efectos sobre las propiedades físicas y las características químicas del suelo.....	156
4.2.2. Experimento 2. Dinámica del nitrógeno en los suelos tratados con los composts A y A+H. Caracterización química, bioquímica y microbiológica	166
4.2.2.1. Experimento 2.1. Ensayo de incubación con el suelo calizo.....	168
4.2.2.2. Experiment 2.2. Short-term incubation assay with a Spanish clay loam soil and an Italian sandy loam soil	174
4.2.3. Recapitulación.....	189
4.3. EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE LOS COMPOSTS A Y A+H COMO ENMIENDAS ORGÁNICAS. INFLUENCIA EN LOS CULTIVOS Y EN EL SUELO: EFECTO DIRECTO Y RESIDUAL	191
4.3.1. Influencia de los composts y su interacción con la fertilización mineral en el crecimiento, desarrollo y productividad de las tres especies hortícolas. Efecto directo (a corto plazo) y residual.....	192
4.3.1.1. Efecto directo.....	192
4.3.1.2. Efecto residual.....	215
4.3.1.3. Estudio comparativo del efecto directo y residual de la aplicación de compost sobre la rotación rábano-lechuga-judía	233
4.3.2. Influencia de los composts y su interacción con la fertilización mineral en el estado nutricional de las tres especies hortícolas estudiadas. Efecto directo y residual	237
4.3.2.1. Efecto directo.....	237
4.3.2.2. Efecto residual.....	243
4.3.3. Influencia de los composts en combinación con la fertilización mineral y los cultivos en la fertilidad del suelo. Efecto directo y residual.....	251
4.3.3.1. Efecto directo sobre las características físico-químicas y químicas.....	251
4.3.3.2. Efecto residual sobre las características y la composición del suelo	256

4.4. EFECTOS DE LA MATERIA ORGÁNICA SOLUBLE (MOS) EXTRAÍDA DE LOS COMPOSTS A Y A+H SOBRE <i>MEDICAGO SATIVA</i> Y EL SUELO CALIZO	263
4.4.1. Efectos de la materia orgánica soluble (MOS) sobre el cultivo de <i>Medicago sativa</i> y su interacción con la fertilización mineral	264
4.4.2. Efecto conjunto de la materia orgánica soluble (MOS) y el cultivo de <i>Medicago sativa</i> sobre las características físico-químicas y químicas del suelo	284
4.4.3. Efecto de la materia orgánica soluble (MOS) sobre las características físico-químicas y químicas del suelo no cultivado.....	287
4.4.4. Comparación de las características físico-químicas y químicas entre el suelo cultivado y el no cultivado.....	291
4.5. EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES SUPRESIVAS DE LOS COMPOSTS A Y A+H MEDIANTE ESTUDIOS <i>IN VITRO</i> E <i>IN VIVO</i>	295
4.5.1. Experimento de supresividad <i>in vitro</i>	296
4.5.1.1. Aislamiento de cepas de actinomicetos.....	297
4.5.1.2. Ensayo de antagonismo de las cepas de actinomicetos aisladas frente a cinco hongos fitopatógenos	298
4.5.1.3. Estudio de antagonismo de las cepas de actinomicetos aisladas frente a <i>Agrobacterium tumefaciens</i>	300
4.5.1.4. Identificación de las cepas de actinomicetos con mayor supresividad potencial mediante técnicas moleculares y fenotípicas	305
4.5.2. Experimentos de supresividad <i>in vivo</i> frente <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>melonis</i>	310
4.5.2.1. Experimento 1. Ensayo <i>in vivo</i> con los composts A y A+H como componentes de los sustratos de cultivo estudiados.....	310
4.5.2.2. Experimento 2. Efecto del volumen de compost A en la mezcla sobre las propiedades supresivas de los sustratos estudiados	316
4.6. EFECTOS DEL COMPOST DE ALPERUJO SOBRE LA BIODISPONIBILIDAD DE METALES PESADOS Y ARSÉNICO, Y SOBRE EL CRECIMIENTO DE PLANTAS DE BRASSICA EN DOS SUELOS CONTAMINADOS	323
4.6.1. Caracterización de los suelos contaminados y los respectivos controles no contaminados	324
4.6.1.1. Parámetros físicos, físico-químicos y composición	324
4.6.1.2. Contenido y biodisponibilidad de los elementos traza.....	326
4.6.1.3. Poblaciones y actividad microbiana	326
4.6.1.4. Fitotoxicidad potencial.....	328
4.6.2. Efecto de la aplicación de compost de alperujo sobre las características físico-químicas y la biodisponibilidad de los principales contaminantes en los suelos estudiados.....	329

4.6.3. Efectos de la aplicación de compost de alperujo sobre las poblaciones y actividades microbianas en los suelos estudiados	332
4.6.4. Efectos de la aplicación de compost de alperujo a los suelos sobre cinco especies del género <i>Brassica</i>	336
4.6.4.1. Influencia del compost en la supervivencia y el crecimiento de las plantas cultivadas en los suelos estudiados	336
4.6.4.2. Efecto del compost sobre la acumulación de Al, As, Pb y Zn en el vástago de las plantas cultivadas en los suelos contaminados	337
4.7. EL USO DE COMPOST DE ALPERUJO EN LA PREPARACIÓN DE SUSTRATOS DE CULTIVO COMO NUEVA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN. CORRECCIÓN DEL pH CON VISTAS A SU ADECUACIÓN	345
4.7.1. Estudio del proceso de acidificación del compost tratado con azufre elemental micronizado	346
4.7.1.1. Curva de valoración del compost	346
4.7.1.2. Experimento de acidificación: ensayo de incubación	348
4.7.2. Estudio de la eficiencia de acidificación de los microorganismos aislados del compost	357
4.7.2.1. Aislamiento y caracterización de cepas oxidadoras del azufre autóctonas del compost	357
4.7.2.2. Identificación fenotípica y molecular de los aislados seleccionados	359
4.7.3. Eficiencia acidificadora <i>in situ</i> (en el compost) de las bacterias oxidadoras del azufre seleccionadas	362
5. CONCLUSIONES	367
6. BIBLIOGRAFÍA	373
ANEJO I: MÉTODOS ANALÍTICOS	417
ANEJO II: MATRIZ DE CORRELACIÓN	467